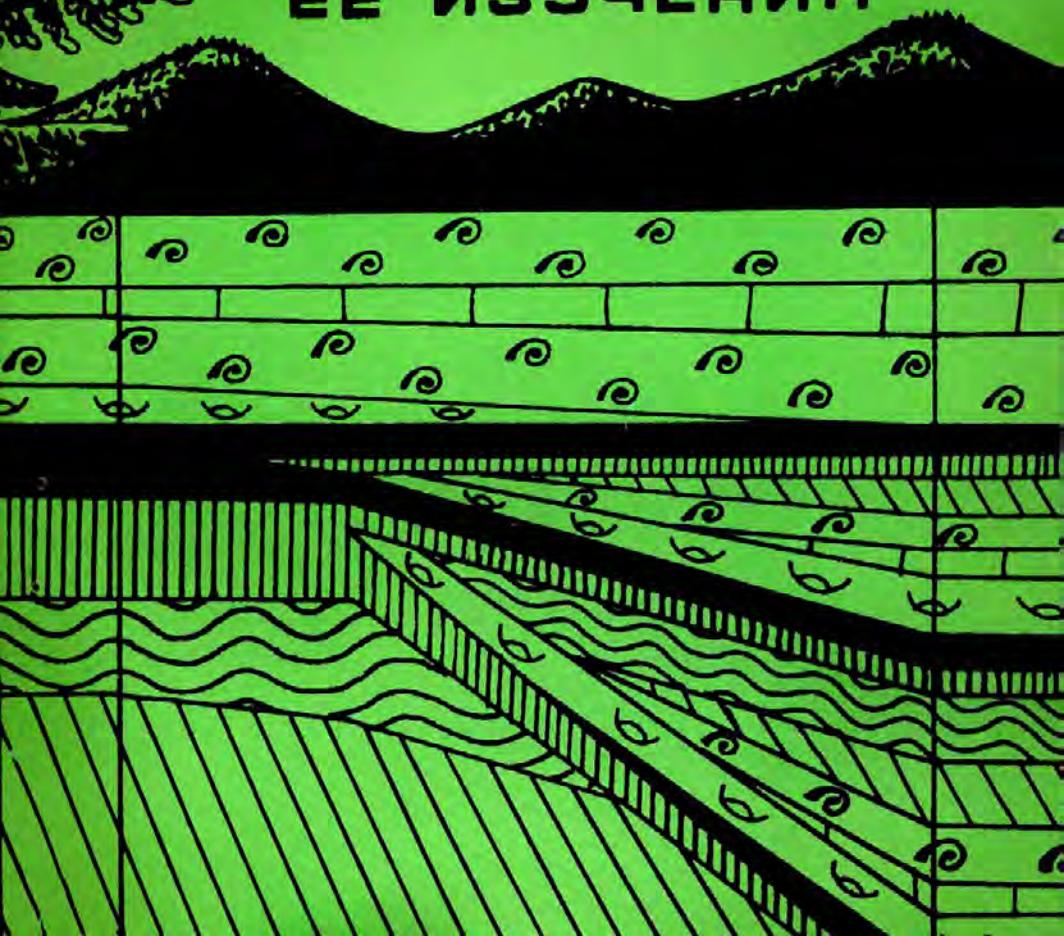


Л.Н.Ботвинкина

В.П.Алексеев

ЦИКЛИЧНОСТЬ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ И МЕТОДИКА ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ



Л. Н. Ботвинкина, В. П. Алексеев

ЦИКЛИЧНОСТЬ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ
И МЕТОДИКА ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ

Свердловск
Издательство Уральского университета
1991

УДК 556.12
Б86

Рецензенты

доктор геолого-минералогических наук, профессор И. В. Хворова;
лаборатория региональной геологии и геотектоники АН СССР

Научный редактор профессор В. И. Якшин

Ботвинкина Л. Н., Алексеев В. П.

Б86 Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения.—
Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991.— 336 с.
ISBN 5—7525—0102—0

В работе освещаются общие вопросы, связанные с изучением цикличности. На конкретных примерах описываются особенности циклической седиментации в осадочных толщах разного состава, формировавшихся в различных условиях: палеогеографических, климатических и тектонических. Разбираются основные закономерности циклической седиментации и причины, ее вызывающие. Дается классификация литоциклов. Рассматриваются различные методы их выделения и изучения. Предлагается методика исследования литоциклов применительно к различным объектам. Указывается возможность использования знаний о цикличности в практических целях: для расчленения и корреляции разрезов, поисков полезных ископаемых и др.

Книга адресована широкому кругу геологов-практиков, научных сотрудников, а также аспирантам и студентам геологических специальностей.

Ил. 75. Табл. 18. Библиогр.: 241 назв.

Редактор С. Г. Галинова

Б 1804020200—24
182(02)—91

ISBN 5—7525—0102—0

© Л. Н. Ботвинкина,
В. П. Алексеев, 1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель данной работы — по возможности кратко осветить основные черты циклической седиментации и условия ее формирования, особенности циклического строения разнообразных осадочных толщ и методы их исследования. Изучение цикличности в настоящее время приняло широкий размах, и это не случайно. Знание строения осадочной толщи и закономерностей ее образования необходимо при выявлении условий формирования и размещения различных полезных ископаемых при их поисках и разведке, разработке и прогнозировании, а также при проведении стратиграфических и ряда других геологических работ. Поэтому знание законов циклической седиментации, как общих, так и частных, необходимо очень широкому кругу геологов. Как выясняется, цикличность седиментации в какой-то мере связана с различными космическими явлениями.

Цикличность, наблюдаемая в толщах осадочных пород, освещается в большей или меньшей степени в многочисленных работах, реже — в трудах, специально посвященных тому или иному аспекту этого явления, и в значительно большей степени — попутно с другими исследованиями. Однако несмотря на обилие публикаций разного рода до сих пор не было еще опубликовано работы, обобщающей одновременно основы изучения цикличности с генетических позиций, специфику ее проявления в различных формациях и методы исследования, рекомендуемые при проведении тех или иных геологических работ, в частности, при полевых наблюдениях различных геологических объектов.

Настоящая работа является попыткой ликвидировать этот пробел, существующий в отечественной литературе. Один из авторов посвятил более 30 лет своей научной деятельности изучению особенностей стратификации осадочных толщ в ее широком понимании на разных уровнях седиментогенеза. На уровне пород это было изучение слоистых и других текстур (Ботвинкина, 1962 б, 1965, 1970 и др.). Следующим этапом подведения итогов таких исследований является данная работа, посвященная циклической стратификации осадочных толщ и методам ее изучения. Вторая часть работы (главы 3—5, а также «Основные выводы и рекомендации» написаны Л. Н. Ботвинкиной; раздел 6.7 главы 6 («Математические методы изучения литоциклов») — В. П. Алексеевым.

Остальные главы и разделы написаны совместно Л. Н. Ботвинкиной и В. П. Алексеевым.

В кратком изложении невозможно охватить в полной мере все дискуссии, проходившие и проходящие по тем или иным вопросам, связанным с цикличностью. Они затронуты лишь в той мере, в какой это было необходимо для разностороннего освещения того или иного положения. Особенно это относится к дискуссии по терминологии. Однако авторы все же стремились не только изложить свою точку зрения и рекомендуемую методику, но и показать многообразие существующих взглядов на различные стороны явления цикличности. Насколько это удалось — судить читателю.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Глава I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

1.1. История изучения цикличности

Изучение цикличности в осадочных породах условно можно разделить на три этапа, далеко не одинаковых по времени.

Первый этап — в основном XIX и первая треть XX столетия*. Уже с первого десятилетия XIX в. (и даже с конца XVIII в.) некоторыми геологами отмечались закономерности в чередовании пород, что связывалось, главным образом, с тектоническими движениями. Начало выделению циклов как таковых было положено Дж. Ньюберри (Newberry, 1872), который более 100 лет назад отметил существование циклов в одной из угленосных толщ в США. В дальнейшем в ряде работ преимущественно зарубежных геологов были описаны конкретные циклы, в основном в угленосных отложениях. В нашей стране повторяемость пород в угленосных толщах отмечали в конце прошлого и начале нынешнего столетия Л. И. Лутугин и П. И. Степанов при картировании отложений Донецкого бассейна.

Таким образом, намечается один из элементов, определяющих циклическое строение — повторяемость, очевидность которой подчеркивается наличием в угленосной толще таких реперов, как угольные пласты. Другое качество, определяющее цикл седиментации — направленность ее изменения и возможность возвращения к исходному положению, было подмечено Н. А. Головкинским в его широко известной работе (1868). Однако указанные авторы не сформулировали понятие о цикличности, хотя и показали ее основную черту — чередование трансгрессивного и регрессивного осадконакопления. Все работы этого этапа были единичны и как бы «нащупывали» подход к данной проблеме.

Второй этап в изучении цикличности начинается примерно с 30-х годов нашего столетия, когда многие геологи и у нас, и за рубежом приступили к систематическому изучению цикличности, в

* Мы не упоминаем отдельные, более ранние работы, где понятия о цикличности только намечались (Стенон, 1669; Геттон, 1795; и др.).

первую очередь — в угленосных толщах. В 1930 г. Дж. Уэллер (Weller, 1930 и др.) выделил и детально описал циклы в угленосной толще карбона в США. Он считал, что возникновение цикличности вызывается колебательными движениями — поднятиями и опусканиями. Почти в то же время Р. Прюво (Pruvost, 1930) также выделил циклы в угленосной толще карбона Франции, но он считал, что их возникновение обусловлено непрерывным и в то же время неравномерным опусканием области седиментации. Впоследствии за рубежом было опубликовано достаточно много работ, посвященных цикличности (исследования отдельных геологов и публикации, являющиеся результатом проходивших совещаний, симпозиумов и конгрессов).

В нашей стране цикличность начала изучаться в первую очередь также в угленосных отложениях, где она была видна наиболее отчетливо. Здесь в первую очередь следует назвать работы Ю. А. Жемчужникова, который уже в 1935 г. выдвинул изучение цикличности как метод исследования осадочных пород. В конце 30-х годов большое внимание данному вопросу уделяют Е. П. Брунс, П. В. Васильев, Г. А. Иванов.

После окончания Великой Отечественной войны цикличность изучается практически почти во всех угольных бассейнах и месторождениях СССР. Она описывалась во многих работах не только указанных ученых, но и их последователей и учеников. Одновременно с описанием циклов в разных угленосных толщах возникла дискуссия по ряду вопросов: по поводу терминологии, о причинах, вызывающих цикличность, о методике ее исследования и др. Помимо отдельных публикаций специальное внимание вопросу изучения цикличности уделялось на Всесоюзных совещаниях, начиная с 1944 г. (Труды Всесоюзного угольного совещания, 1947), затем на Втором угольном совещании (1953) и последующих.

С другой стороны, ведущие ученые нашей страны подходят к выявлению глобального периодического повторения крупных геологических явлений. Так, Л. В. Пустовалов (1940) обратил внимание на периодичность седиментационного процесса, которую он связывал с осадочной дифференциацией вещества. Н. М. Стрехов (1949) выявил крупные циклы в развитии осадконакопления, обусловленные чередованием трансгрессий и регрессий. Представленная им схема привлекла большое внимание геологов различных специальностей. В Средней Азии В. И. Поповым и др. развивается изучение цикличности кайнозойских моласс и на этой основе разрабатываются новые принципы «ритмостратиграфии». Изучается цикличность в осадочных толщах Сибири. Цикличность начинает привлекать внимание при изучении отложений разного состава: карбонатных, соленосных, кремнистых, фосфоритоносных, для горючих сланцев. Начинаются исследования цикличности нефтеносных толщ. Кроме того, на примере флишевых толщ детально

разбирается частая повторяемость мелких элементов разреза (ритмов), разрабатывается методика их изучения.

За рубежом также публикуется много работ, в которых цикличность отмечается попутно, или специально посвященных изучению этого явления, например, «Rhythm in sedimentation» (1950). Выделяются ритмы в отложениях мутевых потоков (Kuennen, 1953; и др.), продолжают исследования терригенных, карбонатных и других пород.

Начало следующего, третьего этапа в изучении цикличности можно считать примерно с 60-х годов нашего столетия, когда, кроме многочисленных отдельных публикаций, появляются крупные монографические работы, в которых делаются обобщения — по существу начинает создаваться теория циклической седиментации. С применением специальных методик изучения цикличности подводятся итоги исследований по крупным угольным бассейнам Советского Союза: Донецкому (Жемчужников и др., 1959—1960), Печорскому (Македонов и др., см.: История угленакопления..., 1965), Карагандинскому (Слатвинская, 1967, 1971 и др.) и ряду других. Большое внимание уделяется цикличности и на последующих Всесоюзных угольных совещаниях (что находит отражение в соответствующих сборниках докладов или их тезисов), а также на секции угленосных формаций Всесоюзных литологических совещаний 1969 и 1974 гг.

Одновременно с этим изучение цикличности все больше выходит за пределы угленосных толщ и начинает применяться как метод исследований на других объектах: красноцветных, меленосных (Л. Н. Ботвинкина, И. П. Дружинин, В. С. Салихов), фосфоритосных (Э. А. Еганов, Р. К. Пауль, К. Т. Табылдиев, Л. Ф. Чербянова и др.), соленосных (С. М. Кореневский, М. П. Фивег и др.), вулканогенно-осадочных (Л. Н. Ботвинкина, Г. М. Власов, М. Н. Щербакова и др.), карбонатных (В. С. Сорокин, Р. Э. Эйнасто и др.). Выявляется цикличность в геосинклинальных отложениях (Н. А. Азербает), в океанических осадках (А. П. Лисицин, И. В. Хворова и др.).

Продолжается изучение цикличности в отложениях мезозоя и докембрия Сибири (И. А. Вылцан, В. П. Казариннов, Г. И. Леонтьев и др.); докембрия Карелии (Л. П. Галдобина, В. З. Негруца, В. А. Соколов и др.). Развивается исследование цикличности кайнозоя Средней Азии (В. И. Попов и геологи его школы). Наконец рядом исследователей изучается цикличность в нефтеносных толщах (Т. А. Ботнева, Ю. Н. Карогадин, С. М. Кунин, А. А. Трофимук и др.). Ритмичность флиша изучается в несколько ином аспекте — с точки зрения определения времени формирования элементов разреза (С. Л. Афанасьев). Кроме литологов, уделяют внимание цикличности также тектонисты (В. Е. Ханн и др.) и стратиграфы (В. В. Меннер и др.).

Таким образом, накапливается огромный материал фактических наблюдений на разнообразных конкретных геологических объектах. Но единства действий среди геологов нет, как нет и обобщающих работ по этой проблеме в целом. Сдвиг в ее изучении происходит начиная с 1975 г., когда в Новосибирске А. А. Трофимук и Ю. Н. Карогодиным была организована комиссия по изучению этой тематики, а также проведено Всесоюзное совещание, труды которого пользуются широкой известностью (Основные теоретические вопросы..., 1977; Цикличность отложений..., 1977). В последующем Ю. Н. Карогодиным совместно с другими геологами ежегодно в разных городах проводились школы и семинары по изучению цикличности. Результаты этой работы отражены в ряде постановлений и опубликованных сборниках статей, посвященных цикличности разных объектов (главным образом, угленосных, нефтеносных и флишевых отложений), а также теоретическим вопросам, связанным с седиментационной цикличностью. Всего в 1976—1985 гг. проведено 17 семинаров и конференций, издано (кроме трудов конференций 1975 г.) 20 монографий и сборников статей. Их полный перечень приводится в сборнике «Теоретические и методологические вопросы седиментационной цикличности и нефтегазоносности» (1988). К сожалению, нередко вместо того, чтобы рассмотреть в сравнительном аспекте особенности цикличности генетически различных отложений, внимание направляется на терминологические споры, которые в конечном итоге принимают схоластический оттенок.

«Вспышка» усиленного интереса к цикличности осадконакопления проходит параллельно с увеличением внимания к периодичности различных иных процессов, изучаемых другими науками, например, биологией (биоритмы). Кроме того, наметилось особое направление — изучение связи периодичности геологических и космических явлений (Балуховский, 1966; Вылцан, 1967; Жемчужников, 1963; Лунгерсгаузен, 1963; Малиновский, 1977; Чижевский, 1976).

Параллельно с этими исследованиями появляется ряд работ по общей геологии, литологии и тектонике, где освещаются крупные глобальные циклы — литогенеза, тектонические, климатические (Ронов, 1964; Страхов, 1963; Тихомиров, 1967; Хайн 1973; и др.).

Начинает формироваться специальное направление в изучении цикличности, связанное с применением различных математических методов. Эти вопросы регулярно обсуждаются на московских совещаниях, начиная с 1982 г.

За рубежом 60—80-е годы также характеризуются усилением работ, направленных на изучение цикличности. Продолжаются исследования Дж. Аллена (Allen, 1974), Дж. Бирбауэра (Beerbover, 1969), А. Боумы (Bouma, 1962), А. Уэллса (Wells, 1960),

Т. Эллиота (Elliott, 1976) и многих других. В 1964 г. проходит специальный симпозиум по изучению цикличности (Symposium on cyclic sedimentation, 1964). Большинство этих работ еще связано с угленосными отложениями, однако ряд из них посвящается уже описанию циклов (циклотем) в других осадочных толщах.

Наконец, в 1967 г. публикуется работа шотландских геологов П. Даффа, А. Халлама и Э. Уолтона, позже изданная в переводе на русский язык (Дафф и др., 1971). В ней обобщены сведения о работах по цикличности зарубежных геологов, но, к сожалению, почти совсем не использована обширная советская литература по этому вопросу. (Имеются упоминания только немногих статей советских геологов, которые были опубликованы на английском языке. Таким образом, указания на советских авторов носят чисто случайный характер.) Этим недостатком в меньшей мере страдает очень интересная сводка польских геологов (Седиментология, 1980).

Изучение цикличности на разных этапах проходило по-разному. Так, на втором этапе среди геологов были не только сторонники, но и противники теории циклической седиментации. Высказывались мнения, что седиментационные циклы не существуют, что «нет такого механизма, который вызывает появление циклов» и т. д. Геологи как бы разделились на «циклистов» и «антициклистов». Однако по мере появления в печати все большего фактического материала по этому вопросу «антициклистов» становилось все меньше, и на последнем, третьем этапе, к концу 70-х годов, существование цикличности осадконакопления и наличие циклов в различных осадочных толщах уже стали считать неоспоримым фактом. На этом третьем этапе, как мы уже указывали, кроме описания цикличности в конкретных геологических объектах в той или иной мере разрешается ряд общих вопросов, связанных с цикличностью. Кроме того, дальше развиваются начатые ранее направления использования цикличности в практических целях: для палеогеографических и палеотектонических построений, использования циклов в качестве стратиграфических единиц разного ранга, для расчленения и корреляции разрезов. Выявляются особенности формирования циклов в различных тектонических условиях седиментации (на платформах, в геосинклиналях), в различных климатических обстановках и т. д. В ряде работ отмечается связь цикличности с полезными ископаемыми. (А для угленосных толщ, в которых цикличность наиболее изучена, выявление циклов стало неотъемлемым элементом их изучения.)

Огромный материал накоплен по вопросу взаимной связи фациального и циклического анализов. Выделены циклы разных порядков, масштабов и типов. Многими авторами предложены различные типизации и классификации циклов, разные методы изуче-

ния и графического изображения цикличности. Но поскольку все эти исследования проводились разрозненно, среди геологов намечались еще большие расхождения по вопросам разного рода. Прежде всего это относится к применяемой терминологии. Споры идут также по вопросам, как выделять циклы разных рангов, как их классифицировать, что считать началом цикла, какие его признаки являются определяющими, основными, какие причины их вызывают и т. д. Всех этих вопросов и связанных с ними дискуссий мы коснемся в соответствующих главах данной работы.

На первом и втором этапах исследований основным материалом для изучения цикличности служило преимущественно осадконакопление на континентах, в эпиконтинентальных морях и на шельфе. На третьем этапе более глубокому пониманию цикличности способствовали развивающиеся работы по изучению глубоководных осадков морей и океанов и на разнообразных типах шельфов. Эти работы помогли более широкому пониманию строения и причин возникновения седиментационных циклов разного рода, изучаемых в ископаемых толщах. Намечаются крупные группировки циклов по разным принципам. Определяются типы циклов в зависимости от динамических режимов осадконакопления (Романовский, 1985), намечаются ксеноциклы (Ботвинкина, 1974), выделяются циклы, связанные с инъекцией иного материала (Циклическая и событийная седиментация, 1985). Публикуется сборник под редакцией Н. В. Логвиненко «Периодические процессы в геологии» (1976), где цикличность рассматривается в различных аспектах, в том числе в связи с периодичностью космических процессов. Появление столь разнообразного нового материала приводит к выводу о необходимости его объединения и осмысливания в целом.

1.2. Основные термины «цикл» и «ритм» и связанная с ними дискуссия

Почти с самого начала изучения повторяющихся в геологических разрезах сходных комплексов отложений для их обозначения были предложены два термина — «цикл» и «ритм» и как их производные, обозначающие явления — «циклическость» и «ритмичность». Сторонники слова «ритм» оправдывали его тем, что слово «цикл» якобы обозначает движение по кругу, замкнутый процесс, и не отражает эволюционного развития (указывая на точный перевод слова с греческого языка *kuklos* — колесо или с латинского *circle* — круг).

Так, Д. В. Наливкин (1955, с. 79) писал: «В литературе часто употребляются также названия «циклическая седиментация»,

«циклы осадков», «ритмы осадконакопления» и др. Термин «ритм» более правильно отражает сущность явления, так как цикл в буквальном переводе обозначает круг, т. е. такую последовательность явлений, которая кончается в той же точке, где началась». Но далее он указывает, что «такое буквальное понимание термина «цикл» не применяется и циклом называется последовательность явлений, кончающаяся той же категорией явлений, которой она началась, но в другой точке». Такая последовательность названа ритмом, однако «не будет, конечно, ошибкой и применение названия «цикл», но не в буквальном смысле, а в том понимании, которое охарактеризовано выше».

В угольной геологии Г. А. Иванов, который ранее употреблял термин «цикл», впоследствии отказался от него и предпочел говорить о ритмах в угленосной толще, считая при этом, что вопрос о том, как называть явление: цикличностью или ритмичностью — не является принципиальным. Он писал (1956, с. 127): «ритмическое или циклическое строение угленосных отложений в более или менее отчетливом виде устанавливается во всех угленосных отложениях», подразумевая эти термины синонимами. Того же мнения придерживался и А. В. Македонов (История угленакопления..., 1965 и др.).

В. И. Полов (1954, с. 81) указывал: «По методологическим соображениям термин «цикличность» кажется нам менее приемлемым, чем термин «ритмичность». Возможно, что предпочтение последнему термину он отдал потому, что сравнивал изучаемые им молассы с флишем (в котором выделялись ритмы). Однако он также считал, что понятия «ритмичность» и «цикличность» тождественны. Эту же точку зрения он высказал и в более поздних работах (1979 и др.).

Между тем, как показал Ю. А. Жемчужников (1955 а), ссылаясь на толковые словари и употребление понятий «ритм» и «цикл» в других областях знания, эти понятия в чем-то близкие, но не одинаковые. Понятия «ритм» и «ритмичность» обязательно требуют равномерного периодического повторения какого-либо явления (например, сезонности), в то время как цикличность обычно неравномерна: циклы одного и того же разреза могут сформироваться в разные интервалы времени. Вместе с тем понятие «цикл» отнюдь не означает замкнутое развитие «по кругу»; так как циклы, следующие один за другим в геологическом разрезе, всегда имеют не только черты сходства, но и черты различия, отражающие эволюционную направленность процесса осадконакопления. Одним из авторов данной работы давно было показано, что понятие, вкладываемое в термин «цикл», следовало бы сравнивать с витком спирали (Ботвинкина, 1952 б; 1953; 1975 а), а не с кругом. Но, несмотря на это, ряд геологов (в основном ленинградской и среднеазиатской школ) продолжали (и до сих пор продол-

жают) употреблять термин «ритм» для обозначения тех же явлений, которые другие геологи обозначают термином «цикл».

Таким образом, несмотря на различие этих двух понятий, практически оба термина стали синонимами, что приходится учитывать при знакомстве с литературой. Более того, в ряде работ они употребляются одновременно. Так, например, некоторые геологи пишут: «цикличность (ритмичность)...». Обозначая по сути одно и то же, термины много лет мирно сосуществовали в геологической литературе (и в отечественной, и в зарубежной), а результаты их изучения были при этом вполне сопоставимы.

Кроме угольной геологии, термин «ритм» был введен при изучении флиша Н. Б. Вассоевичем (1948, 1951) для обозначения несколько иного явления — сочетания двух или трех элементов разреза (слоев), *однотипно* и многократно повторяющихся во флишевой толще. В дальнейшем геологи, изучавшие флиш, неизменно придерживались этого термина, так как он хорошо отражал существо дела.

Таким образом, в изучении периодической повторяемости пород наметилось двойственное понимание термина «ритм» — как *синонима* термина «цикл» и как понятия близкого, но *более узкого*, обозначающего равномерное и однотипное повторение несложно построенных элементов разреза. При этом и в том и в другом понимании термин «ритм», так же как и термин «цикл», имеют один и тот же недостаток: они определяют одновременно и сам процесс, и его результат, выраженный в комплексе пород, образующем элемент осадочной толщи, т. е. стратификационную единицу. На это обстоятельство обратили внимание американские геологи (Wanless, 1936; и др.), предложившие для обозначения седиментационного цикла, наблюдаемого в разрезе, термин «цикло-тема» (cyclotheme), который в нашей литературе не привился.

К исправлению создавшегося положения обратился Н. Б. Вассоевич (1973, 1977). Утверждая, что в терминологии, связанной с цикличностью, царит «несусветный хаос», он взялся за ликвидацию последнего. Прежде всего он отказался от предложенного им ранее термина «ритм», несмотря на то, что последний уже прочно укоренился в обиходе геологических работ и безоговорочно был принят при изучении ряда осадочных пород, особенно флиша. Все проявления периодического повторения сходных элементов разреза Н. Б. Вассоевич стал относить к единому ряду явлений, различающихся только масштабом и временем формирования — от сезонных ритмов ленточных глин до крупных циклов, соответствующих по времени формирования периодам и даже эпохам. Далее он предложил элемент цикличности построенного разреза вместо «цикл» назвать «циклосома» (от гр. soma — тело) или — сокращенно — «циклома» или «циклом». Однако последний термин нехорош потому, что не несет смысловой нагрузки (никто не догадается,

что это сокращенное слово), а также по созвучию с другими словами, далекими по смыслу (например, циклон, циклоп).

В результате проведенной Н. Б. Вассоевичем критики существующего в терминологии положения, уже начиная с первого же совещания по цикличности, словотворчество (терминотворчество) захватило очень многих геологов. Термин «цикл» стали заменять массой других слов. Так, Ю. Н. Карогодин (1974) вначале предложил термин «циклокомплекс». Были предложены и другие: «цикломинералон» или «цикломинерон» Ю. П. Смирновым и «циклолитон» В. Е. Хаиным (Цикличность осадконакопления..., 1975). С. Л. Афанасьев выдвинул термины «пульсит» и «циклит». Последний, несмотря на его недостаток (окончание «-лит» обычно присуще названию породы или минерала, но не группе слоев пород), был одобрен на одном из совещаний по цикличности и начинал внедряться в литературу даже в принудительном порядке (что уж вовсе недопустимо). Между тем терминотворчество продолжалось и с течением времени изменилось. Н. Б. Вассоевич в более поздней работе (1978) предложил разбить цикломы на три категории понятий: циклиты, циклотемы и полициклиты. При этом термин «циклит» получал уже иной смысл, примерно соответствующий бывшему термину «ритм» в употреблении данного автора.

А. А. Трофимук и Ю. Н. Карогодин (1977 а, с. 35), развивая далее терминологию, связанную с понятием «циклит», дают ему следующее определение: «Под элементарным циклитом понимается простейшая слоевая система, элементы (слои) которой, следуя друг за другом или чередуясь, связаны между собой (сонахождением и соотносхождением), образуют единое целое, т. е. это природное тело, не делимое на более дробные целые части (циклиты)». По поводу этого определения, кроме того, что оно очень громоздко и трудно для восприятия, можно еще заметить: циклит не может состоять из циклитов, прежде всего, по законам логики, и таким образом это не является признаком для определения (любая единица не может состоять в то же время из единиц, ей равных).

Переходя к разным уровням цикличности (т. е. к разным порядкам циклов.— Л. Б., В. А.), А. А. Трофимук и Ю. Н. Карогодин предлагают в той же статье (с. 25) элементарные циклиты называть циклитанами, а мезоциклиты — просто циклитами (что также противоречит законам логики — целое и его часть нельзя называть одним термином), мегациклиты — циклитинами, суперциклиты — циклититами и т. д. Не говоря уже о сложности и трудности восприятия подобной терминологии, следует еще отметить, что указанный автор предложил за очень короткое время для обозначения одного и того же явления три различных термина: «циклокомплекс», «элементарный циклит» и «циклитан».

Можно привести еще целый ряд примеров предложений новых

наименований того явления, которое ранее обозначалось одним словом «цикл». Таким образом, в результате в терминологии действительно возник полный хаос, так как вместо двух понятий и привычных терминов появилось их бесконечное количество, и если так будет продолжаться, то геологи скоро совсем перестанут понимать друг друга.

Однако в силу того, что все же надо как-то разделить понятия процесса и его результата, причем по возможности с учетом права приоритета, на одном из совещаний (Таллинн, 1978) в докладе, сделанном Л. Н. Ботвинкиной, для обозначения цикла как элемента разреза был предложен термин «*литоцикл*» как наиболее близкий существовавшему более 100 лет «циклу». Этот термин имеет преимущества еще и по ряду других признаков: 1) он прост в употреблении и краток по написанию; 2) коррелируется со словами, где корень — общее понятие, а «лит-» — приставка, указывающая на связь с породами (литология, литофация, литогенетический тип и др.); 3) коррелируется с такими словами, где *цикл* является основой слова, а приставка указывает, в каком аспекте он рассматривается (литоцикл, биоцикл, хроноцикл и т. д.); 4) легко сочетается с приставками, обозначающими порядок (ранг) цикла (мегалитоцикл, макролитоцикл и т. д.); 5) состоит из привычных слов, давно вошедших в русский язык и в геологическую терминологию; 6) легко поддается переводу на иностранные языки.

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

Что же касается употребления термина «ритм» в смысле равномерно правильно повторяющегося элемента осадочной толщи, то, возможно, его и следовало бы заменить каким-то иным, но во избежание добавления все новых и новых терминов мы оставляем его в данной работе и аналогично «литоциклу» используем термин «литоритм» в тех случаях, когда необходимо подчеркнуть его понимание как элемента разреза. Использование же термина «ритм» как синонима «цикла» действительно не очень удачно. К сожалению, сложившееся положение вряд ли можно поправить «в приказном порядке».

Необходимо еще кратко остановиться на понятиях «периодичность» и «повторяемость», тесно связанных с изучением цикличности. Как показал Ю. А. Жемчужников (1955 а, с. 74—75), пе-

риод «означает промежуток времени, в течение которого заканчивается какой-нибудь повторяющийся процесс, а «периодичность» — повторяемость какого-нибудь явления через определенные промежутки времени». Очевидно, следует считать, что повторяемость может быть через различные промежутки времени (циклическая повторяемость или цикличность) или через более или менее равные (ритмическое повторение — ритмичность). В данной работе под периодичностью осадконакопления понимается сложная повторяемость условий седиментации, проявляющаяся в том, что сформированная этим процессом осадочная толща оказывается состоящей из литоциклов разных рангов.

Глава 2. ЦИКЛИЧНОСТЬ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗНОГО СОСТАВА И ВОЗРАСТА, СФОРМИРОВАННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ, КЛИМАТИЧЕСКИХ, ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

2.1. Общие замечания

В настоящее время, на основании многочисленных материалов, можно считать, что *цикличность седиментации* — явление *всеобщее*, присущее разнообразным отложениям различного генезиса, формируемым различными процессами.

При изучении слоистости (слойчатости) осадочных пород было отмечено, что их текстуры представляют собой форму, содержанием которой является формирующий ее процесс. Это обстоятельство позволяет на основании изучения текстур осадочных пород выявлять генезис последних.

Циклическое строение осадочной толщи (т. е. ее особая стратификация) — также форма, содержанием которой является сформировавший ее процесс. Но последний в ряде случаев определяется не одним, а несколькими факторами, действовавшими одновременно. Естественно поэтому, что изучение циклической стратификации — дело достаточно сложное: в зависимости от вида различных причин образуются седиментационные циклы разного характера, масштаба и порядка. Понятно, что дать исчерпывающую характеристику всем циклически построенным разнообразным толщам в рамках данной книги невозможно. Мы ограничимся рядом примеров, характеризующих специфику цикличности в различных условиях.

Изложение материала этой части работы затруднялось тем, что сгруппировать его можно было по разным признакам: по составу

пород, их происхождению, механизму образования; по палеогеографическим, климатическим и тектоническим условиям формирования; наконец — по наличию того или иного полезного ископаемого. Авторами принята наиболее простая и вместе с тем (что очень существенно) наиболее объективная группировка толщ, имеющих циклическое строение, а именно — по преобладающему составу пород и месту их формирования в его широком понимании. Выделены три главные группы циклически построенных отложений.

1) Преимущественно терригенные, сформированные в наземной и прибрежно-морской обстановке.

2) Преимущественно биогенные и хемогенные, сформированные в водной среде на разных уровнях седиментации, кроме глубоководных.

3) Терригенные и биогенно-терригенные глубоководные морские и океанические. Выделение этой самостоятельной группы стало возможным лишь в последние годы, в связи с широко развернувшимися работами по глубоководному бурению и изучению океанических и глубоководных морских осадков.

Кроме того, в сравнительном аспекте коснемся особенностей цикличности, сформированной в специфических условиях: в отложениях докембрия; в областях активного вулканизма; в нефтегазоносных толщах (где полезное ископаемое является мигрирующим компонентом осадочных толщ).

Рассмотрение литоциклов в отложениях столь широкого диапазона затруднительно еще и тем, что они выделялись не только в разных формациях, но и различными авторами, часто с применением различных методов исследования. Тем не менее мы стремились дать описание литоциклов по единой схеме с указанием набора характерных признаков, определяющих литоциклы, возникающие в разных условиях. При этом особое внимание обращалось на связь полезных ископаемых с определенными родами литоциклов, а также на место, занимаемое ими в строении литоцикла.

2.2. Литоциклы в осадочных толщах, сложенных преимущественно терригенным материалом и сформированных при различных климатических условиях в наземной и прибрежно-морской обстановках

Спектр пород, слагающих такие литоциклы (ЛЦ), невелик — это в основном кластогенные отложения, различающиеся по гранулометрическому составу: от конгломератов и песчаников до алевролитов и аргиллитов (или глин). Поэтому многие исследователи намечают ЛЦ прежде всего именно по этому признаку — от более грубозернистых пород до более тонкозернистых и обратно.

Однако, как мы покажем ниже, этот признак в большинстве случаев является недостаточным, несмотря на его наиболее отчетливое выражение. Подчиненными компонентами литоциклов данной группы являются биогенные (угли, горючие сланцы, известняки) и в меньшей степени — хемогенные породы.

Вместе с тем диапазон палеогеографических и климатических условий их формирования, пожалуй, наиболее широк и разнообразен именно в этой группе. В наземной обстановке циклическое строение было отмечено в отложениях крупных речных долин, предгорных и межгорных долин, а также разного рода озер. На фоне таких крупных элементов наземного ландшафта отмечены подчиненные им различные фациальные обстановки. При циклическом характере осадконакопления все эти отложения в разных вариантах чередуются с бассейновыми: дельтовыми, лагунными и разного рода прибрежно-морскими и мелководно-морскими (в какой-то мере удаленными от береговой линии). Кроме того, к этой же группе следует отнести специфическую цикличность, образующуюся *in situ* — в лёссах и корах выветривания. Особое положение здесь занимают биолитоциклы и экоциклы.

Уже один краткий перечень циклически построенных образований этой группы показывает, что одним из факторов, влияющих на их специфику, является не только палеогеографическая обстановка, но и климат, а также его изменения. Например, угленосные циклы формируются только в гумидном климате, лёссовые — преимущественно в аридном.

2.2.1. Угленосные толщи

Рассмотрение цикличности мы начинаем с угленосных отложений, во-первых, потому, что их циклическое строение изучено наиболее разносторонне. Ведь, по существу, цикличность как особое геологическое явление впервые была выделена именно в них (Жемчужников, 1947; 1955 б). Она здесь выявляется особенно отчетливо благодаря наличию такого «репера», как угольный пласт. Во-вторых, они формируются в разных палеогеографических и тектонических обстановках, но всегда в гумидном климате. И наконец (что тоже очень существенно), они в большинстве своем изучены в общем-то по единой (или сходной) методике, в основе которой лежит фациальный анализ отложений.

Хорошая изученность цикличности угленосных толщ позволяет также на их примере рассмотреть многие теоретические, практические и методические аспекты исследования. Прежде всего рассмотрим пример циклически построенного разреза из сложной терригенной угленосной толщи среднего карбона Донецкого бассейна, сформировавшейся в паралической обстановке

(т. е. содержащей наземные и морские отложения) в условиях краевого прогиба (авлакогена). Цикличность в этих отложениях была детально изучена методом фациально-циклического анализа.

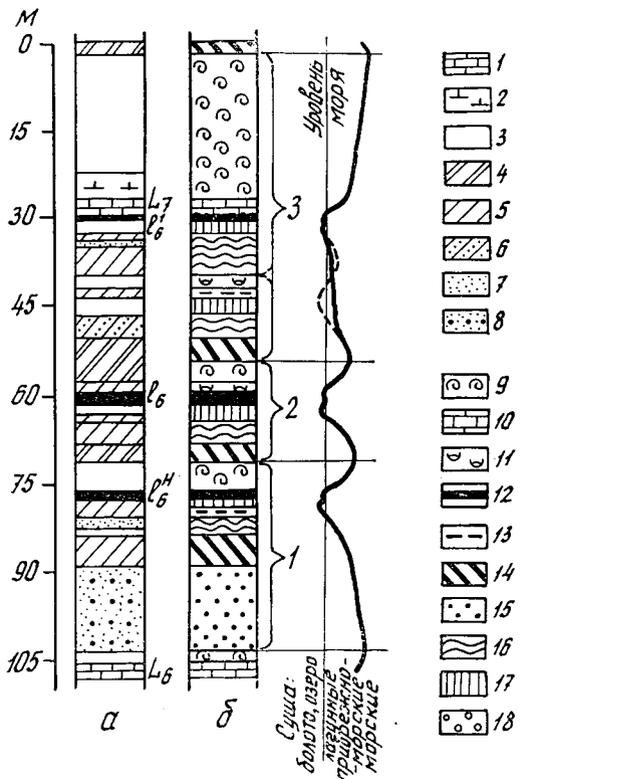


Рис. 1. Циклическое строение небольшой части угленосных отложений Донбасса (Должанский район):

колонка «а» (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 «б» (отложения разного происхождения): 9 — морские глинистые, 10 — морские известковистые, 11 — лагунные глинисто-алевритовые, 12 — торфяного болота, 13 — озерные, 14 — морские алевроитовые зоны волнений, 15 — морские песчаные зоны течений, 16 — лагунные алевроитово-песчаные зоны волнений, 17 — болотные, 18 — речные русловые.

1, 2, 3 — циклы осадконакопления; L_6^H , L_6^I , L_6^I — угольные пласты; L_6 , L_7 — пласты известняка; справа — кривая цикличности

На рис. 1 приведены две колонки свиты S_2^6 в интервале между известняками L_6 и L_7 (средний карбон). Мы видим чередова-

ние пород разного гранулометрического состава, причем обращает на себя внимание неоднократное повторение угольных пластов, хотя в этом повторении трудно выявить какую-либо закономерность. Но как только мы переходим к детальным генетическим определениям каждого слоя пород, сразу становится очевидной их закономерная смена, подчиненная определенной направленности. Справа от литологической колонки дана колонка фациального состава этих отложений*. Здесь мы видим, что на смену лежащим внизу глинистым морским отложениям приходят песчаники зоны морских течений, указывающие на усиление динамики среды седиментации и увеличение поступления материала с суши. Их сменяют отложения прибрежной зоны волнений сначала открытого моря, затем — лагун и заливов, и, наконец, наземные отложения болот, почва угольного пласта с корневыми остатками и сам угольный пласт. В кровле последнего мы видим аргиллиты с фауной открытого моря. Таким образом, налицо последовательное направленное изменение обстановки отложений от условий открытого моря до наземных, а затем снова до морских. Это отражено кривой, помещенной справа от колонки фаций.

На смену относительно глубоководным, глинистым осадкам вновь приходит последовательность фаций, сходная с уже описанной выше: отложения зоны волнений сначала открытого моря, потом лагун и заливов, затем наземные образования болот с угольным пластом, в кровле которого залегают сначала тонкие илистые осадки лагун, сменяющиеся морскими отложениями. Так сформирован второй цикл седиментации, что также отражено кривой справа. Аналогично построен и третий, верхний цикл, имеющий, однако, специфические черты. В его нижней части видно усложнение, выразившееся в появлении болотных отложений среди лагунных, образующих таким образом как бы «подцикл». Кроме того, более мощные, чем в предыдущих циклах, морские отложения в надугольной части содержат еще и значительной мощности пласт известняка, непосредственно налегающий на угольный пласт (явление вообще характерное для угленосных циклов Донбасса).

Таким образом, мы видим, что часть разреза угленосной толщи, представленная на рис. 1, состоит из трех циклов, построенных сходно, но не тождественно. Подугольная часть всех трех циклов образуется *регрессивным* рядом фаций от морских до все более близких к суше, надугольная — наоборот, слагается все более и более мористыми отложениями, что указывает на нарастающую трансгрессию моря в данном месте, почему эта часть цикла и названа *трансгрессивной*. Угольные пласты и их почва образуют

* Методика определения фаций детально разработана в ряде руководств и монографий. Основ методики, принятой в данной работе, мы коснемся ниже в специальной части.

как бы нейтральные части циклов, так как формируются при относительно стабильном положении береговой линии моря.

При этом у нижнего цикла наиболее развита нижняя, регрессивная часть, у верхнего — наоборот, морская, трансгрессивная. Средний цикл имеет довольно симметричное строение, а осадконакопление в наземных условиях в этом цикле было наиболее длительным (так как в его составе везде прослеживаются наиболее мощные болотные образования, в том числе угольный пласт). Следовательно, эти три цикла, в свою очередь, образуют цикл, но уже более крупного порядка (что отражено второй, обобщающей кривой). Этот цикл имеет те же части, что и цикл 1-го порядка (регрессивную, нейтральную и трансгрессивную), но представлены они уже не фациями, а циклами 1-го порядка соответствующего типа.

На рис. 2 показаны колонки того же стратиграфического интервала, «закрепленного» между известняками L_6 и L_7 (прослеженными по всему Донецкому бассейну). Расстояние между разрезами на рис. 1 и 2 примерно около 100 км. Литологическая колонка представлена в основном алевролитами с подчиненными прослоями аргиллитов. Из угольных пластов, подчеркивающих смену отложений, здесь наблюдается только один. Очевидны, во-первых, неясность циклического строения, во-вторых, трудность сопоставления этого разреза с разрезом на рис. 1 и, в-третьих, неясность определения «места» угольного пласта.

Однако, как только мы переходим к разбору генетических признаков пород и определению их фациальной принадлежности, мы видим, что и здесь в рассматриваемом интервале сформировано три цикла, но представленных иным набором фаций. Так, в нижней части первого цикла отмечен речной песчаник, лежащий с размывом, в результате которого частично были уничтожены морские отложения регрессивной части. Длительное осадконакопление в наземных условиях указывает на регрессивный тип цикла. Средняя часть второго цикла представлена только озерными и болотными отложениями с большим количеством растительных остатков. Сам он имеет строение, близкое к симметричному, и небольшой диапазон изменения фаций. Третий цикл имеет усложнение в регрессивной части, но в условиях более мористых, и завершается он осадконакоплением в обстановке более глубоководной, чем отложения, сформировавшиеся в его начале; это обстоятельство указывает на его общий трансгрессивный характер.

Направленность изменения фаций схематически выражена кривой. Сравнивая рис. 1 и 2, мы видим, что, несмотря на отличия в деталях строения разреза и несколько более мористую обстановку формирования второго и третьего циклов, общий характер изменения фаций каждого цикла выдерживается на площади. И в данном случае выделенные три цикла образуют один цикл

следующего порядка. Значит, несмотря на различие не только состава пород, но и обстановок формирования отложений, их изменение подчиняется единой общей направленности, прослеживаемой на достаточно большом расстоянии. Это позволяет не только расчленять разрезы, но и сопоставлять их между собой на

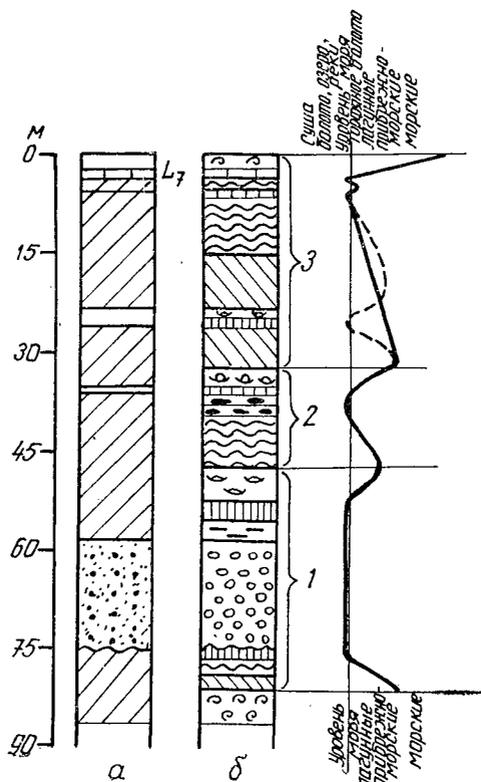


Рис. 2. Циклическое строение части свиты S_2^6 угленосных отложений Донбасса (Семикаракорский район).

Обозначения см. на рис. 1

основе прослеживания циклов с учетом особенностей каждого из них. При этом определяется место в цикле, где может быть встречен угольный пласт.

Из приведенного анализа можно сделать вывод, что для определения истинных циклов седиментации необходим анализ различных генетических признаков пород (а не только одной granulometрии) и определение обстановок формирования отложений,

т. е. проведение фациального анализа с той или иной степенью детальности, определяемой целью работы, масштабом исследований и рядом других конкретных обстоятельств.

Особенности цикличности в отложениях среднего карбона всего Донецкого бассейна детально изучены и описаны в коллективной монографии (Жемчужников и др., 1959—1960). Вкратце характеристику ЛЦ можно свести к следующему. Характерна довольно относительно высокая мощность ЛЦ 1-го порядка, изменяющаяся преимущественно в пределах 10—20 м (к юго-востоку, где возрастает общая мощность угленосной толщи, увеличивается количество литоциклов, но не их мощность). Диапазон изменения не только пород (от конгломератов до аргиллитов), но и фаций в целом по бассейну довольно широк (с более ограниченным их набором в краевых частях последнего).

Циклы имеют обычно обе части — и регрессивную и трансгрессивную, но с преобладанием то одной, то другой. С циклами нейтрального типа связано, как правило, максимальное угленакпление. Строение циклов от простого (главным образом в западной части Донбасса) до сложного (особенно в его юго-восточной части). Часто отмечаются размывы в основании аллювиальных отложений, особенно в западной части бассейна, прилегающей к Украинскому щиту. Прослеживаются циклы как в пределах месторождений, так и по всей территории Донбасса.

Обратимся к изменению циклов не только во времени, но и на площади. Рассмотрим один из примеров, полученных при изучении угленосной толщи Донецкого бассейна (свита C_2^6). На рис. 3 мы видим восемь схематизированных палеогеографических карт, каждая из которых построена для регрессивной (слева) и трансгрессивной (справа) части четырех угленосных циклов, последовательно идущих один за другим. Ширина территории около 300 км. При анализе карт выявляются закономерности развития данной территории в течение достаточно длительного времени.

Прежде всего очевидно сохранение общего плана: моря на северо-востоке территории и суши на западе и юге. Однако на картах, построенных для регрессивных частей циклов, видно, что площадь залива то меньше (*I* и *III*), то больше (*II* и *IV*). Речные долины то шире (причем на них развивается и более мощный угольный пласт), то уже. На картах, построенных для трансгрессивных частей, территория, занятая чисто морскими отложениями, то меньше (*I* и *III*), то увеличивается так, что суша совсем исчезает, а мощность известняка возрастает (*II* и *IV*). Итак, мы видим сходство палеогеографических условий циклов первого с третьим (они более связаны с наземной обстановкой и поднятиями) и второго с четвертым, для которых более характерно влияние морских условий и тенденция к опусканию. На границе второго и третьего циклов происходит как бы качественный «скачок».

Направленность в изменении характера циклов, обнаруженная при построении ряда таких карт, также дает основание для выделения циклов более высокого — 2-го порядка. В данном примере

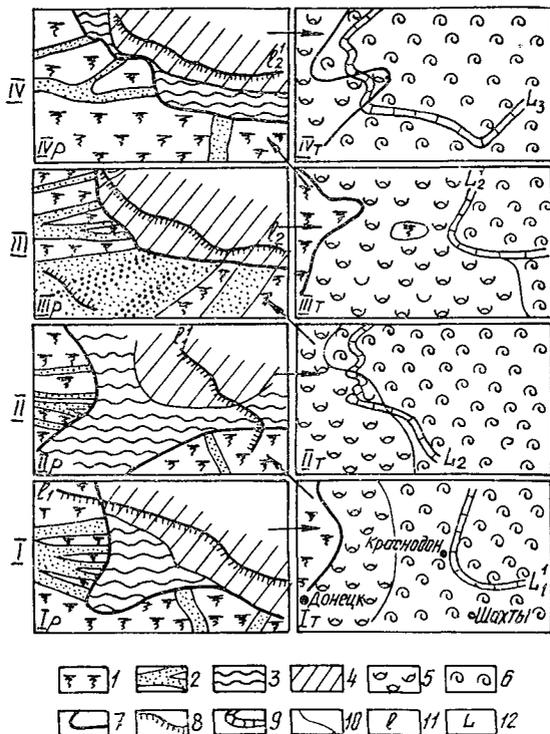


Рис. 3. Сопоставление ряда карт, построенных для регрессивных (левый ряд) и трансгрессивных (правый ряд) частей четырех угленосных циклов (I—IV) Донбасса:

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)

они состоят из двух, но могут состоять из трех и более циклов 1-го порядка. В каждом из них снизу вверх намечается смена литоциклов, формировавшихся в условиях более близких к суше, циклами более «мористыми». Они образуют циклы следующего порядка, на границе которых происходит более резкое изменение

общего палеогеографического плана. Таким образом, в результате анализа фациальных профилей и палеогеографических карт выделены циклы высших порядков — от 2-го до 5-го, причем циклы 5-го порядка примерно соответствуют свитам, выделенным ранее исследователями Донецкого бассейна. Последовательность этих свит, в свою очередь, образует еще более крупный цикл следующего порядка, равный среднему карбону в целом, с той же закономерностью изменения фациального состава отложений: от преимущественно морских (свиты C_2^3 , C_2^4) через свиту C_2^5 с наибольшим развитием наземных отложений до все более и более мористых: свита C_2^6 (угленосная) и свита C_2^7 (с более слабой угленосностью).

Сопоставление литоциклов в пространстве показало, что литоциклы можно (и нужно) рассматривать как объекты стратиграфии, как стратификационные единицы геологических разрезов, что впервые было выявлено на примере угленосных толщ (Ботвинкина, 1952 а, 1953). В целом намечается вывод о применимости литоциклов для *корреляции разрезов*.

Некоторое осложнение при корреляции разрезов может появиться там, где проявляется *расщепление* литоциклов. При определенных тектонических условиях, синхронных осадконакоплению, элементарный цикл, обнаруженный в одном районе, на достаточно большом расстоянии (десятки и сотни километров), может за счет расщепления превратиться в литоцикл следующего порядка, состоящий из нескольких элементарных литоциклов. Такое явление было прослежено и описано на материале угленосной толщи Донецкого бассейна почти во всех циклах свиты C_2^6 , для которой, так же как и для других свит среднего карбона Донбасса, характерно значительное увеличение как ее общей мощности, так и отдельных ее частей, а также появление все большего количества угольных пластов в направлении с запада на восток.

На рис. 4 показаны литоциклы в интервале между двумя маркирующими известняками (Донбасс). Расстояние по горизонтали между крайними пунктами — около 200 км. За горизонтальную линию принята почва угольного пласта I_5 . В правой, V колонке (Зверевский р-н) мы отчетливо видим три литоцикла. Маркирующим является верхний литоцикл с ярко выраженной трансгрессивной частью, содержащей известняк L_6 ; регрессивная его часть небольшой мощности. Средний литоцикл характеризуется широким развитием континентальных условий: он содержит угольный пласт и речные отложения значительной мощности (однако бывают и другие варианты). Нижний литоцикл имеет регрессивную часть, фации которой изменяются (снизу вверх) от глинистых морских отложений через прибрежно-морские до наземных —

болотных. Его трансгрессивная часть маломощна и представлена лишь алевритово-глинистыми лагунными отложениями. Эти три цикла по изменению их фаций имеют явно выраженный характер: нижний — регрессивного типа, средний — близок к нейтраль-

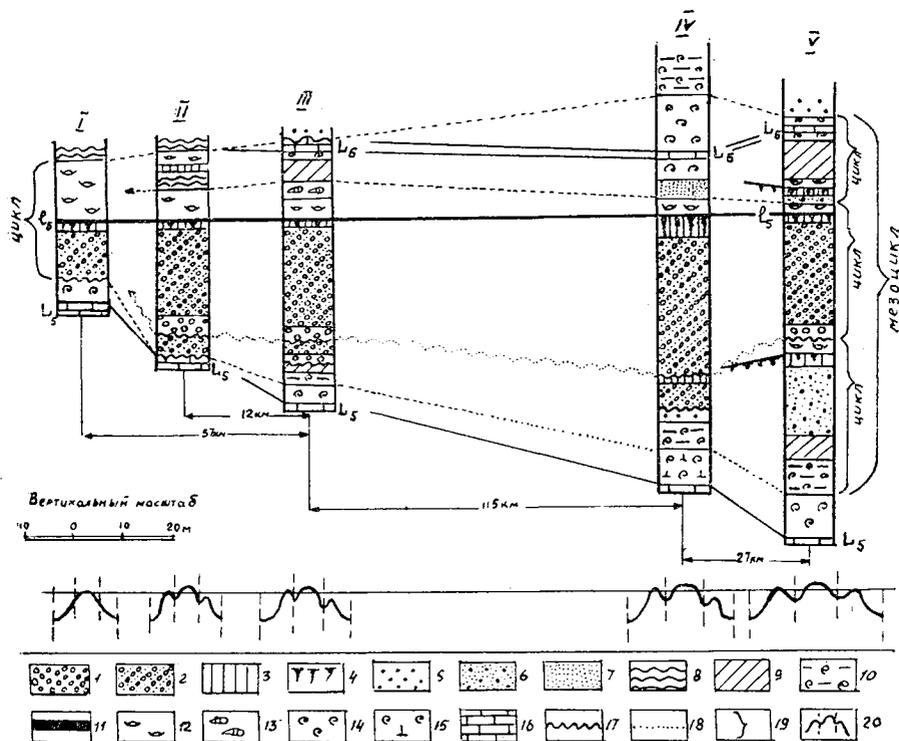


Рис. 4. Расщепление элементарного цикла 1-го порядка и постепенное превращение его в цикл 2-го порядка, состоящий из трех самостоятельных элементарных циклов (средний карбон Донбасса):

отложения: 1 — грубозернистые в основании аллювия; 2 — речные; 3 — болотные и ископаемой подпочвы; 4 — почвы угольных пластов; 5 — подводной части дельты; 6 — баров, пересылей, кос; 7 — донных морских течений; 8 — прибрежного мелководья лагун и заливов; 9 — морские зоны волнений; 10 — алевритовые открытого моря; 11 — торфяного болота (угольный пласт); 12 — глинистые лагун с солоноватоводной фауной; 13 — то же заливов; 14 — глинистые с морской фауной; 15 — известково-глинистые с морской фауной; 16 — известняки; 17 — линия размыва; 18 — границы циклов на площади; 19 — объем циклов в разрезе; 20 — сложная кривая мезоцикла, состоящего из трех циклов.

Внизу кривыми показано постепенное усложнение разреза

ному, верхний — явно трансгрессивного типа. Таким образом, они отчетливо формируют литоцикл 2-го порядка.

В левой, I колонке в том же интервале разреза мы видим лишь один отчетливо выраженный литоцикл, регрессивная часть которого в основном представлена речными песчаниками, а транс-

грессивная — глинистыми лагунными отложениями. Однако при прослеживании этого литоцикла от одного пункта к другому мы видим, как строение его нижней и верхней частей постепенно усложняется и литоцикл 1-го порядка превращается в литоцикл 2-го порядка («мезоцикл» по терминологии, принятой в работе по Донбассу), причем последний, естественно, значительно большей мощности.

Направленность изменения фаций относительно уровня моря схематически изображена кривыми, помещенными под каждой колонкой. Слева это просто построенная кривая, состоящая из трех частей. Затем ее боковые ветви все более усложняются и, женные кривые, каждая из которых имеет регрессивную, нейтрально-наконец, под крайней правой колонкой мы видим три явно выраженные и трансгрессивную части. В данном примере налицо усложнение и последующее расщепление как нижней, регрессивной, так и верхней, трансгрессивной частей литоцикла.

Вообще расщепление пластов и даже целых толщ известно давно, но расщепление циклов с переходом их из одного ранга в другой впервые было описано одним из авторов (Ботвинкина, 1956 а, 1958, 1977 а). При этом замечено, что обычно расщепление идет за счет усложнения строения нейтральной части литоцикла 1-го порядка.

Расщепления затрудняют задачу корреляции циклически построенных разрезов, если прослеживание литоциклов необходимо провести на достаточно большом расстоянии. Это проявляется лишь в определенных тектонических условиях. Расщепление литоциклов и постепенное превращение одного литоцикла в несколько самостоятельных (по своему характеру образующих литоцикл следующего порядка) происходит при значительном увеличении мощности одной и той же циклически построенной осадочной толщи, в связи с колебательными движениями на фоне большего прогибания на одном конце обширной территории.

В угольных бассейнах, сформировавшихся в других обстановках, цикличность, при сохранении общих черт в деталях, имеет и отличия. Так, угленосная толща нижнего карбона Подмосковного бассейна (залегающая на морских отложениях турнейского яруса, а местами на девонских) сформировалась на Русской платформе, также в условиях чередования наземных и морских фаций. Наиболее развиты здесь отложения речных долин и болот и в меньшей степени — морские, отмечаемые преимущественно в литоциклах верхней части угленосной толщи. Угольный пласт (торфяник) формируется также после регрессивного ряда отложений, образуя начало трансгрессивного ряда фаций, причем последние обычно играют подчиненную роль.

В целом по бассейну угленосность не высока, литоциклы большей частью отчетливо асимметричного строения. Характерны ЛЦ,

верхняя часть которых уничтожена в результате широкого развития речных долин, врезающихся в ранее отложенные осадки (циклы «урезанные»).

Вообще размывы играют очень большую роль, затрудняя сопоставление разрезов (особенно для циклов 1-го порядка, а иногда возникают трудности даже при прослеживании циклов 2-го порядка).

Отмечены литоциклы от 1-го до 3-го порядков, последние по своему объему соответствуют выделяемым стратиграфическим горизонтам весьма изменчивой мощности — от единиц и до десятков метров. Мощность седиментационных ЛЦ 1-го порядка — в пределах от единиц до 10—15 м. Общее количество литоциклов, выделенных в угленосной толще, значительно меньше, чем это отмечено в среднем карбоне Донецкого бассейна. Выделяемые здесь исследователями литоциклы 1-го порядка в основном обусловлены меандрированием речных русел, поэтому естественно, что они очень неустойчивы по протяженности и должны рассматриваться не как самостоятельные единицы разреза, но подчиненные элементарному циклу. По существу, выделяемые здесь ЛЦ 2-го порядка в таком случае следует рассматривать как основную первичную единицу циклически построенного разреза, т. е. как элементарный литоцикл (1-го порядка), возникновение которого обусловлено миграцией различных фаций и связано, очевидно, с колебательными движениями на фоне общего прогибания (но значительно меньшего, чем в Донецком бассейне). На невыдержанность угольных пластов в Подмосковном бассейне влияла также неодинаковая «жизнь» различных участков, где осадконакопление подчинялось доугленосному рельефу местности. В Донбассе же основные угольные пласты, как и содержащие их циклы, прослеживаются на очень больших расстояниях.

Если мы обратимся к рассмотрению особенностей цикличности в угленосных отложениях межгорных прогибов и впадин, то увидим следующие черты, отличающие ее от кратко рассмотренных выше. В аналогичном общем наборе пород более часты конгломераты и галечники. Набор фаций при сходстве, определяющемся условиями формирования именно угленосной толщи, имеет и отличительные черты. В наземном комплексе в ряде случаев появляются отложения предгорий — конусов выноса, пролювия и делювия. Среди морских или бассейновых широко развиты отложения дельт — как наземные, так и подводные. В ряде случаев морские отложения вообще отсутствуют. Мощности литоциклов и толщ в целом изменчивы и могут достигать больших величин (до нескольких километров). При этом строение циклов довольно простое. Характерно мощное торфонакопление и формирование мощных угольных пластов наряду с изменчивой мощностью отдельных пластов.

Эти признаки в значительной степени зависят от тектонической обстановки, синхронной угленакоплению: устойчивого прогибания области седиментации (причем часто блокового) и активного поступления материала из области сноса с окружающих возвышенностей. Все это влияет на строение литоциклов и затрудняет их сопоставление на площади. В результате изменения темпов сноса возможно появление особо сложной цикличности, объясняемой своим формированием тектоническому режиму не только в области седиментации, но и в областях питания, окружающих данную территорию.

Вообще сравнение особенностей осадконакопления (а следовательно, и образования циклов) в разнообразных угленосных толщах — особая тема, требующая приведения значительно большего сравнительного материала. Здесь же мы хотели только показать, что набор как пород, так и различных фаций в угленосных литоциклах довольно сходен в разных угольных бассейнах и определяется в основном ландшафтной обстановкой угленакопления (Ботвинкина и др., 1973).

Однако *строение* как элементарных циклов, так и всей циклически построенной угленосной толщи имеет свою специфику, зависящую от той тектонической обстановки, в которой происходит осадконакопление. А отсюда следует, что типизация циклов должна осуществляться по их строению: с одной стороны, этот признак — один из наиболее существенных, а с другой — и наиболее объективный. Типизацию литоциклов по признаку их строения см. ниже, во II части.

Прежде чем перейти к рассмотрению цикличности в иных отложениях, остановимся на некоторых специфических литоциклах, связанных с особенностями именно угленосных толщ. В угленосной толще Донецкого бассейна были выделены своеобразные сложно построенные литоциклы преимущественно алевритового состава (Ботвинкина, 1965) с преобладанием болотных фаций. На рис. 5 мы видим литоцикл сложного строения: его нижняя регрессивная часть представлена маломощными алевритами прибрежно-морской фации. Далее по разрезу идет относительно мощная (около 20 м) нейтральная часть ЛЦ, представленная многократным попарным чередованием подпочв и почв, иногда еще и с озерными отложениями, обогащенными растительными остатками. Это, по-видимому, было связано то с большим, то с меньшим обводнением территории. Такие пары (от «а» до «к») образуют как бы «зародыши» элементарных литоциклов мощностью 1—3 м. Завершается нейтральная часть литоцикла лагунами аргиллитами небольшой мощности, образующими его трансгрессивную часть. Очевидно, такое сложное строение средней части ЛЦ возможно в результате чередования более сухих и более влажных условий, т. е. климатическая цикличность влияет на

седиментацию в данной области во время ее относительно стабильного в тектоническом отношении положения. Не исключено, что такой принцип седиментации мог возникнуть и при погружении, периодически компенсирующемся приносом осадочного материала. Но изменение количества последнего, в свою очередь, также может обуславливаться климатическими колебаниями.

Характерная черта, присущая цикличности угленосных толщ, выявлена при изучении мощных угольных пластов различных формаций. Известно, что подобные залежи, зачастую измеряемые десятками метров по мощности, обычно представляют собой чередование углей разных типов с прослоями преимущественно глинисто-алевритового состава. Тем самым мощный пласт угля в фациальном отношении представляет собой результат смены обстановок торфяного болота и озерных (пойменных), а «внутри» болотных осадков — изменений условий накопления растительного материала, на что указывает смена углей разных типов.

Учитывая, что при уплотнении угленосных отложений в процессе постседиментационных преобразований, по данным многочисленных исследований, уголь сокращается по мощности в 2—3 раза интенсивнее, чем терригенные породы, получим, что пара торфяник — озеро формировала своеобразный *торфоцикл*, требующий особого соизмерения с другими литоциклами угленосной толщи, где угольный материал не имеет решающего значения в разрезе. При этом имеется в виду, что торфоцикличность характерна именно для мощных угольных пластов, формировавшихся в особом сочетании палеогеографических и палеотектонических условий, и прежде всего — при соответствии скорости прогибания ложа торфяника скорости накопления растительного материала.

Примером может служить строение пласта Мощного Нерюнгринского месторождения (Южно-Якутский бассейн) — рис. 6. В зоне нерасщепленного, слитного строения пласта (скв. 1817) по чередованию угольных фацций выделено три торфоцикла (Алексеев, 1979 а, в). Основание нижнего

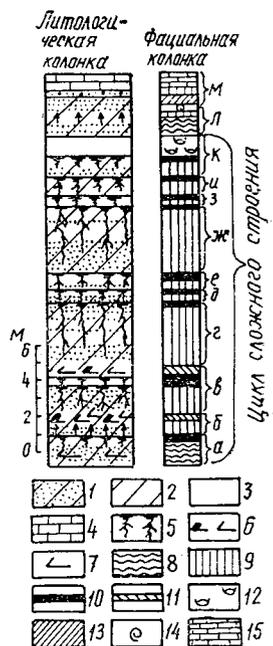


Рис. 5. Сложное строение седиментационного цикла:

ритмы: а — в — нижней, г — з — средней, и, к — верхней части цикла; л, м — «зародыши» трансгрессивных элементарных циклов; 1 — крупнозернистые алевролиты; 2 — мелкозернистые алевролиты; 3 — аргиллиты; 4 — известняки; 5 — корневые остатки; 6 — обугленные растительные остатки; 7 — растительный детрит; 8 — отложения разного генезиса: 8 — прибрежного мелководья лагун и заливов, 9 — застойных водоемов, 10 — ископаемых почв, 11 — озер, 12 — опресненных лагун, 13 — прибрежно-морского мелководья, 14 — тонкозернистые морские с фауной, 15 — карбонатные морские

торфоцикла представлено терригенными периодами, сменившимися витринитовыми углями, сформировавшимися в условиях застойного непроточного болота (торфоцикл 1). Дестабилизация процесса

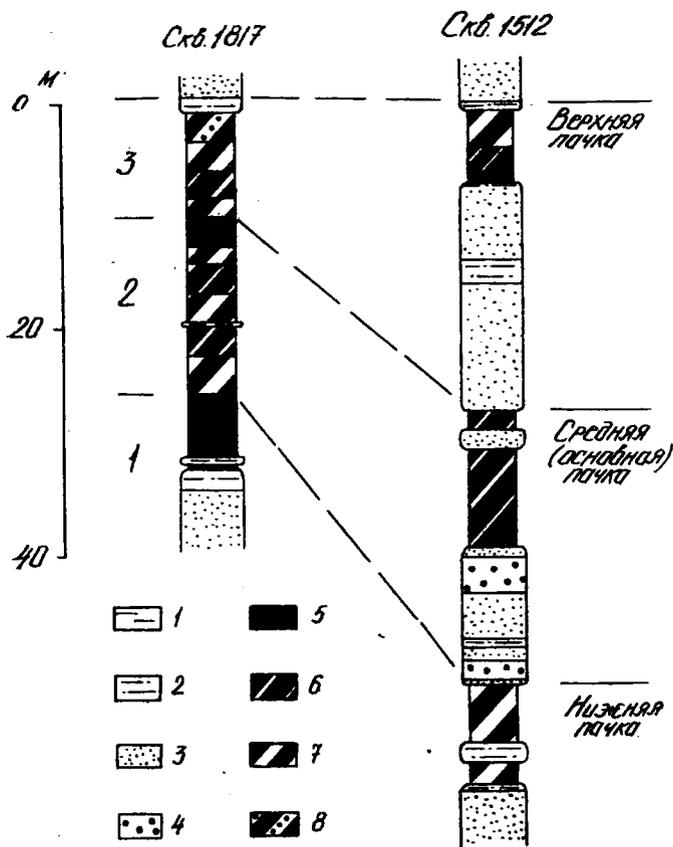


Рис. 6. Строение пласта Мощного Нерюнгринского месторождения (Южная Якутия):

1 — аргиллит; 2 — алевролит; 3 — песчаник; 4 — гравелит; фации торфяных болот: 5 — непроточных застойных, 6 — слабопроточных обводненных, 7 — проточных обводненных, 8 — проточных слабообводненных, «сухих».

1—3 — торфоциклы, расстояние между скважинами 1,5 км

торфонакопления выражена в последующем формировании отложений проточных болот, представленных различными типами углей (основание торфоцикла 2), последовательно сменяющихся стабильным торфонакоплением. Оба торфоцикла имеют общий регрессивный облик. Еще более отчетливую регрессивную направленность имеет 3-й торфоцикл, завершающийся формированием фюзинитовых углей в условиях наиболее проточных болот и захватывающий вы-

шележащий тонкозернистый озерно-пойменный породный слой. В зоне расщепления пласта (скв. 1512) торфоциклы переходят в обычные литоциклы с безугольным породным основанием и завершаются формированием самостоятельных угольных пачек.

В приведенном примере логично предположить, что сумма элементарных торфоциклов формирует торфоцикл более высокого порядка мощностью около 40 м с общей регрессивной направленностью (скв. 1817). В расщепленной части он переходит в обычный литоцикл более высокого порядка мощностью свыше 70 м, состоящий из трех обычных литоциклов.

Нижние части торфоциклов, помимо формирования углей в более проточных обстановках, характеризуются повышенными значениями радиоактивности на каротажных диаграммах, а также фиксируются изменениями геохимической обстановки, определяемыми, например, повышенными значениями кремний-алюминиевого модуля (отношение $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ в золе углей — Алексеев, 1979 б). Все перечисленное существенно помогает при корреляции разрезов, особенно при расщеплении угольных пластов, а также вмещающих их литоциклов, с переходом в лито(торфо)циклы следующих, более высоких порядков.

В терригенных толщах, особенно в тех, которые связаны с угленосными, могут быть выделены также особые биолитоциклы, в частности фитоциклы. Основой для их выделения могут служить разные признаки, характеризующие циклическое изменение растительного материала: смена видового состава флоры; наличие в породах то одних, то других частей растений; изменение степени сохранности остатков растений. Часто эти признаки совмещаются.

Например, М. В. Ошуркова (1981) в терригенных отложениях карбона Центрального Казахстана, в карагандинской свите, представленной чередованием обломочных пород, выделила циклы по изменению состава остатков флоры, назвав их *экоциклами* (от греч. *oikos* — местопребывание, буквально — дом, жилище). Ею были намечены экофазы: регрессивная (E_{reg}), переходная (E_{ps}) и трансгрессивная (E_{tr}). Более того, этим автором предложена формула эталонного элементарного экоцикла, где каждый тип растительных остатков обозначен соответствующим индексом:

$$E = E_{reg}(Dt_1 + St) \rightarrow E_{ps}(R + Ap + Lc + Cl) \rightarrow E_{tr}(Pt + Dt_2).$$

Как видим, цикл начинается с регрессивной фазы, которая характеризуется наличием более грубозернистого терригенного материала с присутствием растительного детрита (Dt_1) и стволов растений (St), переходная фаза — наличием вторичных корней членистостебельных (R), стеблей (Lc) и аппендиксов (Ap) лепидодендровых, а также присутствием неопределимых растительных остатков (Cl) во вмещающих их осадках. Для трансгрессивной фазы характерно наличие измельченного растительного детрита (Dt_2)

в аргиллитах и алевролитах, а также рахисов птеридосперм (*Pt*). Мощность таких циклов — десятки метров. Указанный автор отмечает повторяемость эоциклов или последовательную смену биоценозов. По мнению М. В. Ошурковой, она обусловлена колебательными тектоническими движениями и является чутким критерием для расчленения осадочных толщ. Однако тут налицо не только собственно смена биоценозов, но и очевидная зависимость смены от изменения фациальных условий осадконакопления и ее направленности: регрессивная фаза соответствует мелеющей прибрежной части водного бассейна (в связи с его регрессией), куда заносились продукты размыва суши. Переходная (по нашей терминологии — нейтральная) фаза — это осадконакопление на суше (где существенно в осадках наличие корней растений), трансгрессивная фаза связана с наступлением водного бассейна и осаждением илистого материала с мелким растительным детритом.

Тем самым выделяемые эоциклы связаны не столько с изменением видового состава флоры, сколько с изменением характера растительных остатков, возникающим в связи с миграцией фаши. Так что правильнее их было бы назвать более неопределенным термином «фитоциклы», оставив термин «эоцикл» лишь для периодического закономерно-направленного чередования видового состава растений, указывающего на различие условий их существования в неизменной ландшафтной обстановке. (Например — при периодической смене влажных и сухих периодов в области осадконакопления). Сказанное отнюдь не снижает значения выделения фито- и эоциклов, которые могут дать дополнительные сведения для расчленения разрезов, их корреляции, уточнения границ литоциклов, выделяемых по фациальным и другим признакам. Такая работа была проделана для одного из разрезов Тургайского бурогоугольного бассейна (Парченко, Алексеев, 1985). Интересующихся более детально этим методом можно отослать к разработанным М. В. Ошурковой методическим рекомендациям (1981).

Выше мы проанализировали колонки детально изученных в основном терригенных угленосных отложений Донбасса, сформированных в гумидном климате. Рассмотрим теперь отрезок терригенной толщи, сформировавшейся также в паралической обстановке, но, в отличие от угленосных, в иных климатических условиях — аридных.

2.2.2. Меденосные отложения

На рис. 7 приведена колонка небольшой части разреза отложений Джекказгана (Ботвинкина, 1963). Нижняя их часть представлена преимущественно песчаниками, верхняя — преимущественно

алевролитами. По гранулометрическому составу здесь трудно установить какую-либо закономерность в развитии осадконакопления. Но она сразу обнаруживается, как только мы переходим к анализу генетических признаков и выявлению фациальных условий. Последние отражены в колонке фаций и подписях к ней.

По смене фаций отчетливо выделяются три литоцикла. Их нижние части представлены песчаником, исходный материал которого оседал на мелководье в водном бассейне — видимо, в заливе, в значительной степени отгороженном от моря. В нижнем литоцикле песчаник залегает на красноцветных наземных образованиях почвы. В основании его, как и внутри, — следы размывов, встречены гальки. По ряду признаков это отложения речных выносов подводной части дельты. Он завершается чередованием мелкозернистого песчаника с алевролитами, содержащими конкреции. Это отложения полуизолированного водоема. Они сменяются достаточно мощной (более 20 м) толщей песчаника разной зернистости с многочисленными внутренними следами размывов и прослоями гальки. Но, как показал детальный фациальный анализ и сопоставление с соседними разрезами, эти внутренние размывы отнюдь не являются границами литоциклов, а указывают лишь на миграцию отдельных потоков и внутренние перемены в области накопления выносов подводной части дельты. Этот песчаник является меденосным. Он сменяется вначале озерными отложениями, затем их чередованием с образованием подпочв и почв и, наконец, более чем 15-метровой толщей красноцветных почв, содержащих известковистые конкреции. На эту почву налегает песчаник, но только уже мелкозернистый с волновой рябью и другими признаками, указывающими на его формирование в водоеме со слабеющей гидродинамикой. Мощность его невелика, и завершается он чередованием подпочвы и почвы с возрастающим значением последней. Верхняя часть этого литоцикла смыта при последующем размыве. Таким образом, нижний литоцикл весь сформировался в подводных условиях регрессирующего водоема, второй — в обстановке длительной активности рек (давших мощные речные выносы) и длительных же континентальных условий. У верхнего литоцикла регрессивная стадия и континентальный этап были значительно короче.

Верхние части второго и третьего литоциклов представлены наземными образованиями почв и подпочв. Следовательно, смена фаций в каждом литоцикле происходит от бассейновых отложений к наземным, т. е. имеет явно регрессивный характер. Трансгрессивные части циклов отсутствуют. Это обстоятельство, а также резкость границ наземных и бассейновых отложений указывают на относительно небольшие, но, очевидно, очень быстрые и резкие изменения обстановки осадконакопления в связи с усилением погружения. Формировались литоциклы, представленные только своей регрессивной частью (полуциклы или гемициклы).

Направленность же изменения фациальной состава от цикла к циклу намечает их объединение в один более крупный литоцикл 2-го порядка, причем и для последнего сохраняется регрессивный характер развития: нижний литоцикл начинается в условиях открытого водоема, средний отвечает смене водных условий континентальными, в завершающей его части отчетливо проявляется ритмичность осадконакопления, обусловленная климатическими изменениями. Верхний литоцикл наиболее прибрежно-континентальный, также с наложением ритмичности.

Мы видим, что несмотря на ряд существенных различий, как в наборе фаций, так и в характерных чертах литоциклов, выделенных в разных толщах, есть общие закономерности циклического осадконакопления. С другой стороны, существуют и частные особенности, возникшие в разных условиях. Этот вопрос был детально разобран в специальной статье (Ботвинкина, 1963).

Кратко полученные выводы можно свести к следующим положениям.

В литоциклах, формирующихся в сходных палеогеографических условиях, выделяется ряд одинаковых фаций, которые в основном связаны с морской обстановкой. Но, в зависимости от климата, появляются отложения, возникающие в одних и тех же палеоландшафтных условиях и, таким образом, относимые к одной и той же фации, несмотря на различия своих признаков, в зависимости от принадлежности к той или иной климатической зоне. Это ископаемые почвы и подпочвы, отложения лагун и другие образования. Наконец, могут быть отмечены фации, встречающиеся лишь в определенных климатических условиях и отсутствующие в иных (например, отложения торфяных болот гумидного климата).

Цикличность, как в угленосной толще Донбасса, так и в меденосной толще Джекказгана, обуславливается изменением фациальной обстановки в связи с миграцией береговой линии. Причина

Рис. 7. Пример строения меденосной толщи джекказганской свиты:

1 — литологическая колонка: 1 — конгломерат; 2 — «Раймундовский» конгломерат с разноцветной галькой; 3 — глинистая галька подстилающих пород; 4 — песчаник среднезернистый; 5 — песчаник мелкозернистый; 6 — переслаивание песчаника с алевролитом; 7 — алевролит крупнозернистый; 8 — переслаивание алевролитов; 9 — то же с прослоями песчаника; 10 — алевролит мелкозернистый; 11 — аргиллит; 12 — гипс; 13 — контакт размыва; 14 — контакт осушения и растрескивания; 15 — включения конкреций; 16 — растительные остатки плохой сохранности; 17 — цветочная колонка; 17 — красноцветная порода; 18—20 — чередование красноцветов и сероцветов с различным соотношением в слое тех и других; 21 — пятилетняя расцветка; 22 — сероцветная порода; 23 — порода зеленого цвета; 24 — присутствие медного оруденения; 111 — колонка текстур: слоистость: 25 — косая отчетливо разнонаправленная, 26 — косая крупная, 27 — косая мелкая, 28 — косоволнистая, 29 — волнистая, 30 — пологоволнистая, 31 — неправильно-горизонтальная, 32 — горизонтальная; 33 — неслоистая текстура; 34 — комковатая текстура; 1V — колонка генетических типов отложений: 35 — песчаных подводной части дельты, 36 — песчаных в водоемах с волновой рябью и замирающими движениями воды, 37 — периодически заливаемых водоемов, 38 — лагун и полуизолированных водоемов с периодически привносом материала, 39 — озерных и озерно-лагунных в условиях спокойной седиментации; 40 — образования «подпочвы»; 41 — образования почвы, преимущественно глинисто-алевритовые, с большим количеством известковых конкреций.

Скобкой справа показаны границы литоцикла 2-го порядка

этого процесса заключается в колебательных движениях, происходящих на фоне погружения, в результате чего накопились достаточно мощные осадочные толщи. При этом в Джекказгане опускания были резкими, «скачкообразными», делавшими континентальные образования сразу дном водоема.

В результате переход от одного ряда фаций к другому совершается то постепенно (внутри цикла), то резко — на границе литоциклов. Итак, тектонические движения определяют строение литоциклов, направленность изменения фаций и многопорядковость литоциклов. Палеогеографическая обстановка и климат определяют породный и фациальный состав литоциклов и их генетические признаки. Кроме того, влияние климата сказывается в наложении ритмичности на цикличность осадконакопления в той фазе, когда тектоническое движение, как более сильный определяющий фактор, уже затухает, а движение противоположного знака еще не набрало силу.

2.2.3. Отложения лёссов

Эти отложения, иногда довольно мощные, формируются в типично аридных климатических условиях. Им также присуща своеобразная цикличность, выражающаяся в периодическом появлении в них прослоев подпочв и почв. Лёссовые толщи описаны рядом авторов во многих местах Америки, Азии и Европы, в том числе на территории СССР. В четвертичных отложениях они связаны большей частью с ледниковыми образованиями, а также с отложениями моласс, в которые они иногда входят как составная часть.

Строение каждого лёссового литоцикла простое, двучленное: основную часть составляют отложения собственно лёсса преимущественно алевритового состава, формировавшиеся эоловым переносом в условиях более сухого и холодного климата в пустынном, степном или предгорном ландшафте. В верхней части этот слой становится более тонкозернистым, в нем появляются следы зарастания, а затем он переходит в образования почв разного характера, формировавшихся в более теплом и относительно влажном климате, но на том же лёссовом субстрате. Таким образом, цикличность лёссовых толщ целиком определяется непосредственным влиянием климата и его изменений. Образование почв указывает на перерыв или ослабление осадконакопления, что подчеркивает границу между почвой и следующим лёссовым слоем. Переходы от лёсса к почве обычно постепенные или отчетливые. Учитывая все сказанное, не следует считать началом цикла подошву почвенного слоя, так как он непосредственно и генетически связан с подстилающим его слоем (от которого его нельзя отрывать).

По направленности изменения фаций лёссовые циклы можно условно относить к своеобразному нейтральному (или слаботрансгрессивному) типу. Условно потому, что, как справедливо заметил С. И. Романовский (1985), эти циклы по существу не являются чисто седиментационными, а седиментационно-диагенетическими.

Я. Э. Шаевич (1975, 1987) указывал, что в обнажениях лёссовые толщи производят впечатление однообразного строения, так как погребенные почвы очень чувствительны к агентам выветривания и в естественных обнажениях теряют свою индивидуальность. Однако результаты, полученные им при лабораторных исследованиях различных свойств породы, в том числе минерального состава, поражают той упорядоченностью, которая наблюдается в чередовании погребенных почв и подстилающих пород, отражающих строгую цикличность осадконакопления (1975, с. 190). Я. Э. Шаевич также подчеркивает необходимость фациального анализа при изучении «циклёссов» (термин этого автора), несмотря на то, что они хорошо выявляются изменением гранулометрической кривой, с которой обычно коррелируется также и изменение других признаков породы.

Мощность отдельных лёссовых циклов невелика: измеряется метрами, реже — первыми десятками метров. При этом чем крупнее лёссовые циклы, тем на большей площади они могут быть прослежены. Количество «лёссоциклов» бывает различным, в зависимости от общей мощности лёссовой толщи. Время образования лёссовых циклов — десятки тысяч лет. Изучение лёссовой цикличности может помочь при расчленении разрезов, их корреляции, определении свойств породы и решении других задач.

2.2.4. Ледниковые отложения

Цикличность здесь формируется в особой климатической обстановке и выражается в чередовании моренных глин, флювиогляциальных песчано-гравийных и более тонкозернистых озерных отложений, обусловленном продвижением и отступлением ледника в связи с похолоданием и потеплением климата. Таким образом, эти литоциклы в основном имеют климатическую породу и отражают полный период изменения климата. По мнению С. И. Романовского (1985), все ледниковые литоциклы резко индивидуализированы. Продвижение ледника может быть то дальше, то меньше, поэтому в одних разрезах мы видим целиком моренные глины; в других, более удаленных от ледника — чередование ледниковых фаций; в-третьих, еще больше удаленных — флювиогляциальные отложения, переходящие на площади в аллювиальные. При этом на продолжении «языков» морены отмечается погрубение материала до конгломератов (Рухина, 1973). Тем самым здесь начало

цикла целесообразно считать с подошвы морены, часто лежащей на эродированные предыдущие осадки. В полном ледниковом цикле морена сменяется вверх по разрезу сначала флювиогляциальными, а затем озерными отложениями, однако последние могут отсутствовать. Все эти компоненты крупного ледникового цикла имеют сложную внутреннюю слоистую текстуру (Ботвинкина, 1962 б, с. 295—311). Каждый из них может состоять из подчиненных субциклов, обычно не выдержанных на площади. Отложения ледниковых озер имеют характерную ритмично-слоистую текстуру, связанную с сезонными изменениями. Ледниковые литоциклы могут достигать (в понижениях предшествовавшего рельефа) больших мощностей, вплоть до сотен метров. В других местах их мощность может резко сокращаться. Надо учитывать также, что каждое последующее продвижение ледника может урезать, а то и целиком уничтожать циклы, сформированные ранее. Поэтому корреляция разрезов для таких отложений целесообразна лишь по крупным литоциклам.

2.2.5. Молассы

Данные отложения обычно представлены мощными толщами и сложены как чисто континентальными, так и чередующимися континентально-морскими фациями. В них рядом исследователей также отмечается особое циклическое строение. Последнее, на первый взгляд, резко всего выявляется по направленному изменению гранулометрического состава отложений. Так, например, в миоценовых молассах предкарпатского краевого прогиба Т. А. Денисова (1975) отмечает ритмичное (по нашей терминологии — циклическое) строение. Эти «ритмы» представляют собой направленную смену пород от песчаников до аргиллитов. Так же, по преобладанию грубозернистых или тонкозернистых пород, построены «ритмы» следующих порядков, вплоть до 800-метрового «ритма», равного по объему добротовской свите, у которой песчаники характерны для нижней части, алевролиты свойственны средней, аргиллиты преобладают в верхней. Таким образом, эта циклическая связывается с изменением гранулометрического состава осадочной толщи.

Причина циклического строения заключается в самом механизме подачи обломочного материала в область седиментации: движения разного знака в области сноса, погружения в прогибе, а также в изменениях отношений скоростей тектонических движений и осадконакопления (компенсация). Интересно, что на фоне общей картины периодического изменения материала внутри пачек песчаников наблюдаются отклонения от этой закономерности, обусловленные воздействием на осадочный материал динамики среды.

Кроме того, в верхних частях литоциклов отмечен ряд признаков, указывающих на выход из-под воды поверхности седиментации и даже на частичные размывы, после чего опять восстанавливаются условия накопления песчаного матернала.

Более детальное изучение строения моласс и генезиса слагающих их пород показало, что литоциклы, формирующиеся в отложениях континентальных моласс, могут быть сложены различными фациями: ближе к области поднятий — коллювием (в том числе оползневыми образованиями), частично — элювием и делювием. Характерны отложения селей и фангломераты. Встречаются отложения лёссов, такыров, солончаков, а также речных долин (русловый и пойменный аллювий). Могут быть встречены отложения болот и соляных озер. Как видим, «спектр» фаций весьма разнообразен: понятно, что набор фаций зависит в большей степени от той климатической обстановки, в которой находится область седиментации. В молассах прибрежных, естественно, добавляются отложения фаций прибрежно-морских, лагун и заливов и особенно дельт. Направленное чередование каких-либо из этих фаций и образует литоциклы разных порядков.

Матернал по цикличности кайнозойских моласс Средней Азии был детально изучен геологами среднеазиатской школы во главе с В. И. Поповым. Ими разработана многопорядковая соподчиненность литоциклов, которые они называют «ритмами». При этом надо заметить, что основоположник школы В. И. Попов считает термины «ритмичность» и «цикличность» синонимами, о чем он неоднократно заявлял в своих работах. Поэтому мы считаем возможным при описании материала этих исследователей наряду с термином «литоцикл» употреблять термин «ритм», чтобы не нарушать их терминологию.

Началом ритма В. И. Попов считает максимальное проявление энергии процесса. С нашей точки зрения, это, безусловно, правильно для отложений континентальных. Но для морских более точным будет считать начало усиления этой энергии (т. е. начало регрессивного ряда отложений). Несмотря на достаточно четкую выраженность направленного изменения гранулометрического состава молассовых образований, при изучении моласс Средней Азии их исследователи подчеркивали недостаточность одного этого признака и обязательную необходимость применять фацциальный анализ изучаемых толщ. Например, если на волноприбойные гравелиты налегают аллювиальные песчаники, то за подошву ритмической серии принимается подошва последних как указание на смену отложений разных динамических фацциальных поясов и, следовательно, на качественную смену процессов, порождающих осадки разных ритмических единиц разреза.

Элементарному литоциклу (1-го порядка), по этой терминологии, соответствует ритмопачка, представляющая собой пачку

пород направленно сменяющихся фаций. Следующий порядок — ритмосвита, затем ритмотолща и ритмокомплекс. В каждой ритмосвите выделяется от 2 до 10 ритмопачек, мощность которых обычно измеряется несколькими десятками метров. Термин «ритмосерия» считается термином свободного пользования и может применяться к образованиям любого масштаба.

Ритмопачка (или «миниритм») включает в себе ряд осадков смежных динамических фациальных зон. Например: 1) подвижной обломочной (отложения склонов и их подножий, конусов выноса); 2) умеренно подвижной пелитовой (мелкоземистой) в наземных осадках и иловой в подводных; 3) условно-застойной — осадки коллоидных и истинных растворов и органогенные. В этой зоне формируются и полезные ископаемые. Таким образом, каждая пачка сложена породами нескольких фаций, различных в зависимости от того, в какой фациальной зоне происходит осадконакопление, но с одной и той же направленностью их изменения. Это и позволило геологам данной школы уже давно и успешно проводить корреляцию разрезов, основанную на ритмостратиграфических (по нашему — циклостратиграфических) принципах, причем в сложно построенных толщах, что особенно существенно для изучения древних отложений моласс.

При этом (так же как и для литоциклов угленосных толщ) отмечается, что чем крупнее порядок ритмоединицы, тем на большем расстоянии она может быть прослежена. Также было установлено, что в ряде случаев ритмостратиграфические подразделения дальше распространяются по простирацию активных тектонических поясов и структурно-формационных зон, чем вкрест их простираания.

Судя по конкретным разрезам, для отложений моласс более характерны литоциклы несимметричного строения.

Причиной появления циклической седиментации для более крупных ее градаций считается наличие тектонических циклов (в менее крупных проявляются и климатические изменения). Но так как оба эти процесса идут параллельно, то на данном этапе указанные исследователи (Попов и др., 1979) не считают возможным разделить их достаточно четко. Надо заметить, что на циклическую эту группу отложений активно влияют также и тектонические движения в области сноса, сопряженной с областью седиментации, но часто пространственно удаленной от нее. Это отличает молассы от паралических угленосных толщ, но сближает их с угленосными отложениями внутренних прогибов. С последними их сближает также и набор фаций.

В отложениях моласс возможно выделение крупных ЛЦ n -го порядка; каждый из них характеризуется определенным набором фаций в зависимости от изменения ландшафта. Последовательность этих фаций формирует литоциклы более высших порядков разных

фациальных типов (выраженных в соответствующих породных ассоциациях). При этом имеют значение не только тектонические движения и климат, но и такие, как расчлененность рельефа, т. е. морфологический фактор.

Итак, подведем некоторые итоги. Литоциклы моласс могут быть представлены разнообразным набором фаций, зависящих от ландшафта и климата, но строение каждого из них в общем однозначно — отложений, формируемых при активной динамике осадконакопления, до все более пассивной. Мощности литоциклов — десятки метров. Характерна асимметричность строения. Границы ЛЦ обычно четкие, резкие, часто с размывом в основании. Мощности толщ довольно сильно варьируют. В то же время и сами литоциклы также могут значительно изменяться по мощности в зависимости от положения данной точки, в частности — относительно области сноса.

Корреляция разрезов по ЛЦ возможна и практически применяется. Формирование ЛЦ обуславливают как тектонические движения (причем не только в области седиментации, но и в области сноса), так и климатические изменения, образующие в ряде случаев ритмическое (в нашем понимании) строение осадков внутри литоцикла.

Особенно большое практическое значение имеет изучение цикличности моласс в связи с их ролью в качестве коллекторов нефти и газа. При этом породы, одинаковые по гранулометрическому составу, могут иметь разные коллекторские свойства в зависимости от того, в каких фациальных обстановках они формировались. Поэтому при изучении цикличности нефтесодержащих молассовых толщ недостаточно ограничиваться показом только изменения гранулометрического состава и выделять литоциклы только по данному признаку.

2.2.6. Дельтовые отложения

Отложения подводных частей дельт (речных выносов в бассейн) широко развиты как в молодых, так и в древних формациях. В зависимости от величины рек и длительности существования они могут формировать толщи различной мощности, вплоть до измеряемых сотнями и даже тысячами метров. А. П. Лисицин (1974, 1983) считает области крупных дельт одним из основных аккумуляторов осадочного вещества (так называемый 1-й глобальный уровень осадконакопления), причем указывает, что «ураганные» темпы здесь сменяются этапами замедления седиментации, а иногда и прекращения ее, в зависимости от изменения положения уровня моря (или океана).

Вследствие этого возникает крупная цикличность осадочных толщ (характерная для всех отложений области «лавиной седи-

ментации»): большие объемы осадочных масс под влиянием возникающего неустойчивого равновесия на склоне дна смещаются вниз, к его основанию (особенно если дельта формируется в верхней части материкового склона). Такие крупные циклы, как это установлено А. П. Лисициным для кайнозоя, по времени отвечают палеоцену, эоцену и позднему олигоцену — среднему миоцену, т. е. являются циклами высших порядков, имеющих возраст миллионы лет. (Не исключено, что в более древних отложениях циклы высших порядков могут иметь иной масштаб времени в связи с общей эволюцией Земли). Они могут быть сопоставимы в разных районах, так как имеют одну общую причину — глобальное изменение базиса эрозии в связи с резким изменением климата (или в зависимости от крупных тектонических движений). При этом фазы каждого такого крупного цикла весьма различны по времени: фаза непрерывного накопления осадков в области дельт длительна, фазы «срыва» — более кратковременны. Естественно, что на фоне первой могут формироваться более мелкие циклы низших порядков, обусловленные либо тектоническими движениями (как в области седиментации, так и в области сноса), либо изменениями климата (что особенно проявляется в аридных областях).

Фациальные и гидродинамические условия в дельтовой области очень непостоянны: дельта то продвигается вперед, внутрь морского бассейна, перекрываясь чисто морскими осадками, то отступает назад, часто с последующим размывом (что в основном связано с синхронной тектоникой или же с изменением скорости осадконакопления). Это вызывает миграцию фаций, определяющую появление цикличности первого и других порядков, выдерживающуюся на площади. Но, с другой стороны, миграция русел, появление отелей, кос, подводных валов, их перемещение, вызываемые местными причинами изменения гидродинамики речной системы, усложняют строение собственно дельтовых отложений и, рассматриваемые в одном вертикальном разрезе, часто внушают ложное впечатление о цикличности их строения. «Циклы» этого рода по существу таковыми не являются, так как имеют сугубо местное значение и, как правило, не сопоставимы на сколько-нибудь значительной площади (так называемая автоцикличность, подчиняющаяся автономной деятельности данной системы, что будет рассмотрено во II части).

При анализе цикличности в угленосных толщах мы видим, что дельтовые отложения относительно небольших рек, измеряемые по мощности единицами и десятками метров, входят как составная часть в регрессивную часть цикла, а в направлении море — суша фациально переходят в речные отложения (того же цикла).

Дельтовая обстановка специфична в отношении концентрации как органических веществ, так и различных рудных элементов (Ботвинкина, Яблоков, 1963). В наземных частях дельт развива-

ются торфяники — будущие угольные пласты. При впадении реки в море скорость ее течения резко снижается, что влияет на увеличение скорости седиментации и выпадение недифференцированного осадка ниже уровня моря. При этом в осадке сохраняется большое количество органического вещества. Последнее способствует обогащению их углеводородом при перераспределении в стадию диagenеза (и образованию залежей нефти и газа).

Кроме того, на барьере река — море происходит смешивание пресных речных вод с морской водой, что вызывает массовую флокуляцию и выпадение возникающих хлопьев в осадок. Таким образом, дельтовые отложения обогащаются рудными элементами (медь, железо, алюминий и др.), входящими в ту или иную часть седиментационного цикла. Примером могут служить месторождения меди, в частности Джекказганское, на котором была выявлена и описана цикличность нескольких низших порядков (Ботвинкина, 1963; Дружинин, 1982).

2.2.7. Отложения аллювиального генезиса

При изучении угленосных толщ, особенно если они формировались в континентальной обстановке, исследователи отмечали повторяемость изменений гранулометрического состава в аллювиальных осадках. Такая повторяемость отмечена и в других песчаных толщах аллювиального генезиса разного возраста, вплоть до четвертичных и современных. Эта повторяемость послужила основанием для выделения особого типа литоциклов аллювия, выраженных неоднократно изменением пород от грубозернистого галечно-гравийного до более тонкозернистого гравийно-песчано-глинистого материала (в разных вариантах).

Изменение гранулометрии пород может быть обусловлено, во-первых, сменой русловых отложений пойменными и вновь русловыми, а во-вторых, изменением гранулометрии внутри собственно русловых отложений за счет миграции речного русла в пределах речной долины (рис. 8). Такие литоциклы обычно плохо прослеживаются на площади, быстро выклиниваясь (особенно в направлении, поперечном к направлению древних речных долин), так как это внутренний автопроцесс формирования аллювия.

Такие фрагменты разреза неправильно выделять в качестве элементарных литоциклов 1-го порядка, так как они не отвечают одному из признаков литоцикла — выдержанности на площади. Если же они достаточно отчетливо выделяются в разрезе, то их следует считать сублитоциклами. Однако выделение таких сублитоциклов в отдельных случаях бывает необходимым и может иметь практическое значение, так как к их определенным частям может быть приурочено повышенное содержание полезных иско-

паемых: россыпей золота, редких металлов, алмазов. Но для практического использования сублитоциклов аллювия в этом аспекте необходимо провести предварительное специально направленное исследование при работах по россыпям (как молодых, так и ископаемых) для установления их места.

Кроме того, в ряде случаев аллювиальные отложения различных циклов могут налегать друг на друга с таким глубоким размывом,

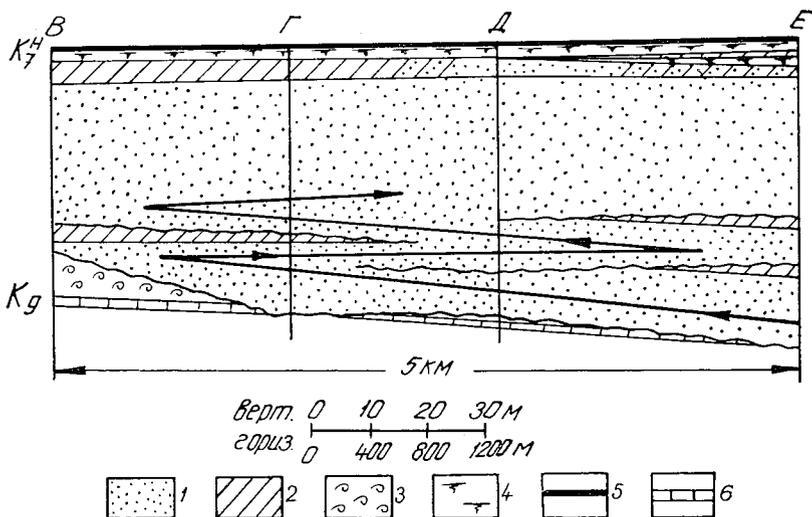


Рис. 8. Сложное многоярусное строение аллювиальной толщи, образованное миграцией речного русла (Боково-Антрацитовый район Донбасса, свита C_2^5):

отложения: 1 — песчаные русловые, 2 — алевритовые пойменные, 3 — глинистые морские; 4 — образования подпоч; 5 — угольный пласт K_7^H ; 6 — известняк K_9 .

Стрелками показано направление миграции русла; В — Е — пункты наблюдений

вом, который уничтожит верхние части предыдущих циклов или даже несколько нижележащих (рис. 9), образуя кажущуюся на первый взгляд единой аллювиальной толщю. Это выявляется при прослеживании циклов на площади (подробнее мы еще остановимся на этом в методической гл. 6). Особенности строения и формирования аллювиальных толщ в ископаемых отложениях более подробно рассмотрены в специальной статье (Ботвинкина, 1954 б).

2.2.8. Отложения озер

До сих пор мы рассматривали цикличность в отложениях обстановок наземных или прилегающих к суше, связанную преимущественно с гидродинамическими факторами, зависящими от из-

менений климата и тектонических движений, обуславливающих периодическую миграцию фациальных обстановок. Для озерных же отложений повторяемость часто формируется при неизменной по существу фациальной обстановке и спокойной гидродинамике водоема в результате изменения условий внутри самого водного

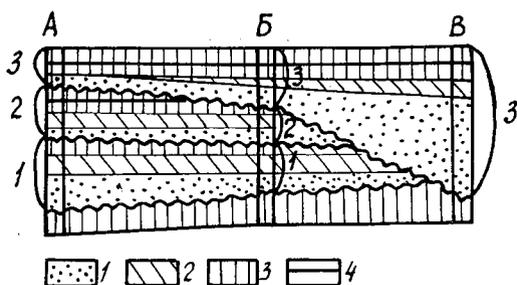


Рис. 9. Срезание циклов 1 и 2 разрывом, предшествовавшим накоплению аллювия в цикле 3. Отложения циклов 1 и 2, в свою очередь, ложатся с разрывом на подстилающие:
отложения: 1 — русловые, 2 — пойменные, 3 — болотные, 4 — торфяного болота (угольный пласт)

бассейна. Это обстоятельство сближает цикличность в озерных осадках с таковой, описываемой в иных водных бассейнах (заливах, морях и др.).

Отложения озерных водоемов, так же как и дельт, при их небольшом развитии могут являться одной из составных частей элементарных циклов (как это мы видели при рассмотрении угленосных, молассовых и других литоциклов, формируемых в наземной обстановке). Однако достаточно мощные и протяженные на площади отложения крупных озер (в частности соленых) могут формировать ряд самостоятельных озерных литоциклов под воздействием изменений климата и изменений глубины озера в результате синхронных тектонических движений разного рода. И в тех и в других случаях периодическая повторяемость стратификационных единиц (от слоев до пластов) имеет свои специфические черты, характерные именно для формирования осадков в озерной обстановке.

Для озерных отложений весьма характерна повторяемость тонких слоев, образующая ритмическое строение пластов. Уже давно описана так называемая ленточная слоистость, обнаруженная в осадках ледниковых озер, а также и в других, не связанных с гляциальным режимом. Этот тип стратификации представляет собой попарное чередование песчаных и глинистых слоев небольшой мощности (от долей миллиметра до первых единиц сантимет-

ров), причем обычны постепенный переход песчаного слойка в лежащий выше глинистый и резкая граница в кровле глинистого слойка (рис. 10). Мощность как слойков, так и их пар (или лент, варв) варьирует на площади в зависимости от местоположения внутри озерного бассейна, а для ледниковых озер — в зависимости от положения относительно края ледника.

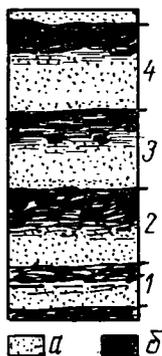


Рис. 10. Зарисовка строения озерных ленточных глин:
а — песчаные слойки, б — глинистые; 1—4 — пары слойков («ленты»)

Формирование таких пар слойков происходит в результате сезонного поступления в озеро порций осадка, дифференцирующегося в процессе осаждения. Такие периодически повторяющиеся единицы разреза и по масштабу и по времени формирования нельзя считать седиментационными литоциклами, которые представляют собой значительно более крупное геологическое явление. Озерные «ленты» или «варвы» (швед. varve) следует считать так, как они были описаны изначально — литоритмами. Породы же, сложенные ими, представляют собой типичные ритмиты (Ботвинкина, 1966 б). Надо заметить, что несколько литоритмов (лент) по каким-либо признакам (большей частью по соотношению мощностей слагающих слойков или же мощности лент) образуют группы, также повторяющиеся в разрезе, т. е. формируют литоритмы 2-го порядка. Последние часто содержат около 11 литоритмов 1-го порядка, что соответствует 11-летнему солнечному циклу. Литоритмы 2-го порядка, в свою очередь, образуют литоритмы 3-го порядка и т. д.

Литоритмы, как правило, имеют резко асимметричное строение, а по направленности изменения для них более характерен трансгрессивный тип ритмического осадконакопления. (Подробнее о ритмичности и литоритмах сказано ниже в специальном разделе). Второй характерной чертой периодичности озерного осадконакопления является его полигенетичность. Если при описании цикличности в предыдущих обстановках мы видели циклическую смену в основном терригенного обломочного материала, то в определенных условиях в озерной обстановке не менее характерно формиро-

вание литоритмов и литоциклов, образуемых биогенным и хемогенным осадком, что также сближает их с цикличностью морских отложений, описанной ниже.

Биогенные литоритмы бывают связаны с сезонным чередованием остатков различных живых организмов — водорослей, планктона и др., особенно развивающихся в летний период. Биогенный материал также может образовывать слои, чередующиеся с терригенным материалом, поступающим извне, формируя текстуру полигенетическую. Образуются единицы разреза более сложного строения. Такие литоритмы (реже литоциклы) своим возникновением обязаны целиком процессам, проходящим в самом озерном водоеме (т. е. автоциклическим). Наконец, в засушливой зоне, в аридном климате, в осадках озер формируется сезонное чередование хемогенных и терригенных слоев или же часто хемогенных разного состава. Особенности этих литоритмов мы коснемся в следующей главе, посвященной биогенной и хемогенной периодичности осадконакопления.

Надо заметить, что наличие озерных литоритмов, особенно сложного строения, возможно в результате диагенетических преобразований в осадке. Например: периодическое появление «микрон зон превращения» в озерных илах; периодическое появление прослоев конкреций параллельно плоскости наложения; текстура ритмического выпадения в коллоидном осадке и ряд других (Ботвинкина, 1959 а).

Однако наложение этих диагенетических преобразований, как правило, предопределено особенностями слоев (или слоев), возникающими на стадии седиментогенеза. Поэтому такую ритмичность разного рода мы вправе рассматривать наравне с собственно седиментационной ритмичностью в качестве характерного признака озерных отложений. Изучение ритмичности и цикличности последних может иметь различное практическое значение. В озерах, кроме солей, формируется ряд полезных ископаемых, обычно имеющих смешанное биогенно-хемогенное или биогенно-терригенное происхождение. При изучении континентальной толщи наличие в определенных слоях ритмически-слоистой текстуры может быть одним из признаков их озерного генезиса.

Кроме ритмичности, столь характерной для озерных отложений, в осадках более крупных и глубоководных озер, достаточно длительно существовавших, отмечается также цикличность, которая выражается в смене одних генетических типов отложений другими. Как показали наблюдения, продолжительность озерных литоциклов измеряется первыми десятками тысяч лет, что вполне соизмеримо с длительностью формирования, например, литоциклов в угленосных толщах.

Цикличность озерных отложений возникает в результате воздействия двух факторов: тектонического и климатического. Влия-

ние тектонических движений разнородно: так, поднятия в области сноса усиливают принос в озерный бассейн дополнительных масс кластического материала, создавая режим инъективного типа. Поднятия и опускания дна озера влекут изменения «жизни» внутри самого водоема, создавая цикличность мутационного типа. Кроме того, в результате тектонических движений возможно появление периодического сообщения озера с близлежащим морским бассейном. Наконец, возможно увеличение или уменьшение площади озера, влекущее миграцию фаций и создающее миграционную цикличность.

Другой фактор — достаточно длительные региональные изменения климата на значительной территории, которые влекут формирование литоциклов. Влияние климата сказывается и на характере приноса в озеро осадочного материала извне, и на условиях формирования биогенных или хемогенных осадков в самом озере. По смене генетических типов в литоциклах можно судить о колебаниях климатических условий. Так как изменения климата, особенно более длительные, действуют на значительной территории, то по характерным чертам литоритмов и литоциклов возможна корреляция разрезов, причем в отложениях не только одного большого озера, но и различных озер, если только они принадлежат единой климатической зоне и находятся в одинаковых условиях питания осадочным материалом.

Итак, мы видим, что периодичность седиментации в озерных отложениях может быть весьма различной — от очень простой, с образованием литоритмов, до весьма сложной, с образованием уже литоциклов разного рода. При этом на фоне цикличности часто развивается ритмичность. С другой стороны, под воздействием различных факторов литоциклы разного типа могут образовывать сложную многопорядковую цикличность.

Многие из указанных особенностей сложной периодической седиментации в озерах отмечаются также в осадках иных водных бассейнов, не связанных с континентальной обстановкой. Таким образом, цикличность озерных отложений по ряду ее характерных черт является как бы переходной к цикличности морских отложений, которая будет рассмотрена ниже.

2.3. Литоциклы в преимущественно биогенных и хемогенных породах, сформированных в водной среде (главным образом в морской)

Литоциклы, рассматриваемые в данном разделе, по составу пород значительно сложнее, чем описанные выше. Строение их определяется периодическим чередованием: а) биогенных и хемогенных пород с терригенными; б) биогенных отложений с хемогенными; в) хемогенных пород разного состава; г) биогенных

отложений различного видового состава, разной степени сохранности органических остатков, а также различной размерности последних. Все эти породы образуют в литоциклах весьма разнообразные комбинации, формирующиеся своим специфическим путем.

Кроме того, в отличие от большинства литоциклов, описанных в предыдущей главе, здесь последовательность отложений в литоцикле зачастую зависит не от изменений общей палеогеографической обстановки, влекущей миграцию фаций на площади, а от внутренней жизни самого водного бассейна седиментации, определяемой, в свою очередь, различными факторами (в том числе привносом материала извне). В ряде случаев для литоциклов данной группы одной из основных причин их формирования является не столько гидродинамика среды отложения, сколько климатические изменения разного рода и масштаба, а также изменения глубин морского бассейна седиментации в зависимости от движений морского дна или же от колебаний уровня моря.

2.3.1. Карбонатные отложения

Выделение для карбонатных отложений циклов по гранулометрическому составу пород — лишь частный случай, причем не типичный. Наиболее просто в этих толщах намечаются циклы, выявляемые переслаиванием карбонатных пород с иными — глинистыми, алевритово-песчаными и др. Такой тип цикличности был уже давно отмечен во многих работах, в частности, по изучению карбонатных отложений Русской платформы (Раузер-Черноусова, Кулик, 1949; Хворова, 1953; Швецов, 1948; и др.). Такая цикличность в значительной степени определяется поступлением с суши терригенного материала в тот водоем, в котором происходит карбонатонакопление. Периодическое изменение в подаче материала с суши вызывает смену отложений разного состава. Однако, говоря в данном случае о породах, мы все время имеем в виду их генетические различия и изменение условий их формирования, т. е., по существу, их фациальные особенности.

На рис. 11 несколько упрощенно и схематически дан разрез карбонатной толщи, представленный чередованием четырех типов отложений, накапливавшихся в неглубоком морском бассейне: известняки — в условиях открытого моря без приноса терригенного материала, мергели — при влиянии последнего; появление слоев глинисто-алевритовых и песчаных отложений обусловлено усиленным поступлением в море кластического материала с суши. При этом, естественно, чем ближе к береговой линии (или чем сильнее снос с суши), тем большая роль в разрезах принадлежит терригенной составляющей. Сравнивая колонки в пунктах I—IV,

мы видим, что они представлены различным составом пород. И вместе с тем в каждой колонке выделяется 3 полных цикла осадконакопления, характер которых отражают кривые слева от колонок. Первый, самый нижний цикл — неполный, он представлен только своей трансгрессивной частью.

В колонке *I* первый цикл (цифры на рисунке справа) представлен почти целиком терригенными осадками, образующими и рег-

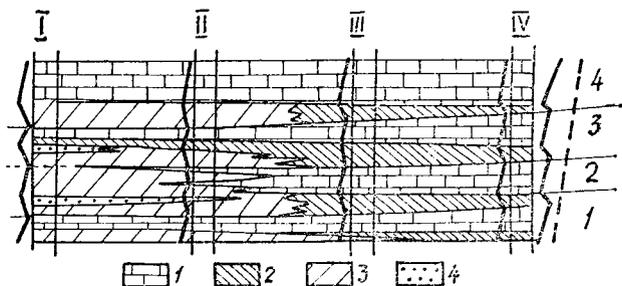


Рис. 11. Соотношение пород разного генезиса в карбонатной толще в одном из разрезов карбона Русской платформы (слева — ближе к суше, справа — дальше в море):

1 — известняки; 2 — мергели; *отложения*; 3 — глинисто-алевритовые терригенные, 4 — песчаные

рессивную часть (от известняка до песчаника), и трансгрессивную (от песчаника до глин с примесью карбонатного материала, что свидетельствует об увеличении мористости фацальной обстановки). В циклах 3 и 4 трансгрессивную часть образуют карбонатные отложения, причем роль известняков нарастает вверх по разрезу.

В колонке *II* второй цикл имеет сложное строение, что обусловлено местными причинами: очевидно, данная точка находилась в сфере частой миграции береговой линии. Поэтому на фоне общей тенденции намечается несколько «подциклов», которые не имеют регионального значения, как это видно из сопоставления с соседними колонками. Третий и четвертый циклы сходны с таковыми в *I* колонке. Колонки *III* и *IV* представлены целиком карбонатными отложениями. Здесь во всех трех циклах регрессивная часть сложена мергелями, трансгрессивная — известняками.

Анализируя строение этих четырех колонок, мы видим, что во всех циклах трансгрессивная часть по мощности превалирует над регрессивной. Кроме того, вверх по разрезу от цикла к циклу роль трансгрессивной части все более возрастает. Следовательно, напрашиваются выводы: во-первых, все циклы имеют трансгрессивный характер; во-вторых, они развиваются на фоне все нарастающей трансгрессии моря, образуя таким образом трансгрессив-

ный цикл следующего порядка; в-третьих, и регрессивные, и трансгрессивные части циклов могут быть представлены в разных пунктах разными породами, но общая тенденция в их изменении с течением времени сохраняется, как внутри отдельных циклов, так и от цикла к циклу.

Если проследить разрезы еще дальше в глубь моря (на рис. 11 вправо), то мы можем обнаружить почти полностью известняковую толщу. Начало регрессии и границы циклов здесь могут быть выявлены как по наличию некоторого количества глинистой примеси, так и по изменению состава фауны.

При прослеживании разреза в сторону суши (на рис. 11 влево), если мы будем обращаться только к гранулометрическому составу пород, то зачастую не сможем определить границы циклов. В то же время рассмотрение генетических признаков песчаных, алевроитовых и глинистых отложений, в частности их текстур, а также состава фауны, примесей и др., позволяет выявить черты, указывающие либо на регрессивный, либо на трансгрессивный характер осадконакопления.

Толща карбонатных пород, образующая большие массивы, часто, на первый взгляд, кажется единой и монолитной по своему составу, так что при выделении циклов необходимо обратиться к фаціальным признакам пород. Главными из них, указывающими на обстановку формирования изучаемых толщ, являются: изменение фауны (ее количества и видового состава), химического состава карбонатных отложений, а также примесей к ним различного иного материала, обусловленных как жизнью самого бассейна, так и изменениями на окружающей этот бассейн суше.

Все эти изменения выявляются в той или иной степени в обнажениях при полевых описаниях, но уточняются уже при камеральной обработке (микроскопия, химические анализы и пр.). Для карбонатных отложений, в особенности для известняков, характерна цикличность, выраженная в периодическом изменении состава органических остатков, в смене одного фаунистического комплекса другим. Так, например, М. С. Швецов еще в 1948 г. привел пример периодической повторяемости массивных известняков и известняков плитчатого строения, между которыми существуют постепенные переходы (рис. 12). Внешне эти составные части литоциклов (при мощности в единицы метров) различаются по крепости, характеру раскола, отчасти оттенком цвета, в обнажении — разной степенью податливости выветриванию (массивные известняки образуют выступы). Под микроскопом обнаружено, что массивные известняки сложены беспорядочно расположенными округлыми раковинками фораминифер, сцементированных кальцитом, а плитчатые известняки состоят из плоских обломков раковин (брахиопод, остракод), расположенных параллельно наслению. В данном случае, хотя мы говорим о смене пород,

несомненно, что последняя определяется изменением фациальной обстановки в связи с миграцией береговой линии моря или же изменением глубин. Изменение биогенной составляющей отложений может быть выражено также в разной степени сохранности остатков фауны, а также в различном количестве (или соотношении) органических остатков в циклически сменяющихся слоях пород.

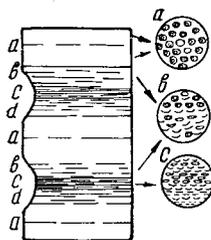


Рис. 12. Непрерывная периодическая слоистость, обусловленная чередованием толстослоистых (а), переходных (б) и плитчатых (с) известняков (по М. С. Швецову, 1948). Плитчатые известняки, легче разрушаясь, дают впадины в профиле разреза

Можно привести очень много разнообразных примеров циклического строения карбонатных толщ, особенно известняков, в результате смены той или иной биогенной составляющей. Такие литоциклы могут быть названы биолитоциклами или просто биоциклами (БЛЦ). Как частный случай биоциклов, могут быть выделены эоциклы, обусловленные сменой биоциклов, существующих *in situ*, остатки которых имеют достаточно хорошую сохранность и, по существу, непосредственно указывают на существовавшую среду их обитания, т. е. на фациальные условия седиментации. Однако чаще встречаются более сложные случаи появления литоциклов в известняках, когда биоценозы, развивающиеся в определенных условиях на морском дне и там же захороненные, периодически сменяются скоплениями переотложенных, уже раздробленных остатков фауны.

Для карбонатных отложений, сформировавшихся в некоторых специфических условиях, например, в мелководных морях, большое значение имеет определение текстурных признаков, причем не только разных типов слоистости, но и знаков на поверхностях накопления, особенно — признаков перерывов, размывов, растворов, внедрений и др. Как показали работы Р. Э. Эйнасто (1964, 1989), В. С. Сорокина (1978) и ряда других исследователей, такие признаки могут отчетливо выявлять границы литоциклов, которые прослеживаются на площади и могут быть использованы при корреляции разрезов.

В других случаях границы литоциклов подчеркиваются большим или меньшим количеством следов биотурбаций, обычно характерных для верхних частей карбонатных литоциклов. Они указывают на спокойные, «затишные» условия осадконакопления в конце цикла седиментации. Наконец, в карбонатных отложениях встре-

чаются следы оползаний осадка. Иногда они бывают многочисленными и присущими лишь определенному горизонту и, по-видимому, вызваны сейсмическими толчками, что сказывается на значительной площади. Для некоторых известняков и мергелей характерна ритмическая повторяемость слоев разного состава, обусловленная сменой слагающих их остатков скелетов различных морских животных или же периодическим чередованием слоев известковистых с глинистыми, поступающими в морской бассейн в результате сноса с суши. Иногда чередуются слои чистого известняка со слоями, содержащими примесь магнезии или глинистых минералов. В большинстве случаев такая ритмичность бывает связана с сезонными изменениями физико-химических условий осаждения. Но в ряде случаев она констатируется на фоне ритмичности более высших порядков, обусловленных уже иными причинами.

Толщи пород, построенных ритмическим чередованием слоев чистого известняка и глинистых, четко выделяются на поверхности обнажений, так как твердые известняки слабее поддаются выветриванию, в результате чего поверхность породы становится как бы мелкоробристой. На месторождении Джайрем (Казахстан) в кремнисто-карбонатных и глинисто-карбонатных породах была выделена ритмичность разных порядков (Соколова, Ботвинкина, 1965). Ритмы мощностью от 0,5 до 3 см состояли из двух элементов: светлых слоев слабокремнистого известняка толщиной от 0,5 до 2 см (обычно с довольно резкой нижней границей) и темных известково-глинистых толщиной в 1—3 мм. При этом постепенное уменьшение толщины светлых известковистых слоев от ритма к ритму намечало новый ритм 2-го порядка мощностью около 10 см или несколько более. Такого же типа и масштаба ритмы были обнаружены в красноцветных известняках, в которых примесь железистых соединений окрашивала известковый слой в светлорозовый цвет, а глинистому придавала вишневую окраску.

Ритмичность, присущая определенным частям карбонатных литоциклов, подчеркивается в результате процессов диагенеза, когда происходит перераспределение материала. Карбонатные составляющие из глинистого слоя «мигрируют» в «свой» — карбонатный слой, а глинистая составляющая «отжимается» в более четко выраженный слой при литификации. Диагенетические конкреции могут возникать в определенных частях литоцикла, подчеркивая этим его специфические признаки.

Цикличность карбонатных отложений в эпиконтинентальных морях описана в работе П. Даффа и др. (1971). Они приводят примеры цикличности, обусловленной периодическим погружением дна бассейна при формировании осадка в мелководных условиях. Мощности карбонатных литоциклов обычно измеряются единицами метров. На их фоне в определенных слоях может развиваться

ся мелкая ритмичность, измеряемая единицами миллиметров, особенно характерная для слоев с появлением доломита. Длительность формирования карбонатных циклов определена Фишером в 20—100 тыс. лет. Причину их возникновения он видит в эвстатических колебаниях уровня Мирового океана. Таким образом, и по масштабу, и по длительности образования элементарные литоциклы в карбонатных отложениях сходны с таковыми в угленосных толщах.

Для карбонатных литоциклов характерна асимметричность строения; направленность изменения фациального состава может быть различной в зависимости от общих условий седиментации, но чаще трансгрессивного типа.

Многочисленные примеры карбонатно-терригенных и карбонатных литоциклов приведены в книге «Циклическая и событийная седиментация» (1985). В ней содержится обширный материал по карбонатным толщам различного геологического возраста, географического местоположения, формирующимся в разных фациальных обстановках и различными факторами, влияющими на седиментацию.

Сборник посвящен в основном анализу литоциклов 1-го порядка, сложенных преимущественно карбонатно-глинистым материалом: известняками, мергелями и глинами, с подчиненным значением терригенного мелкокластического материала. Фациальная обстановка — прибрежно-морская и гемипелагическая. Масштаб элементарных литоциклов невелик — единицы метров. Строение чаще от карбонатной составляющей до глинистой, поэтому литоциклы, как правило, асимметричны (один из примеров дан на рис. 13). Верхние части (карбонатно-глинистые) часто имеют мелко-ритмичное строение, обуславливаемое различными факторами, в том числе процессами раннего диагенеза. Намечается тенденция к группировке литоциклов 1-го порядка в литоциклы следующего, 2-го порядка. Отмечаются нарушения и перерывы в последовательной седиментации. Однако в большинстве случаев крупные нарушения и размывы не характерны для таких толщ. Указанные выше закономерности формирования литоциклов относятся к элементам разреза, которые авторы сборника называют «периодитами», подчеркивая этим несомненно периодический, многократно повторяющийся и более или менее равномерный процесс седиментации.

Литоциклы в карбонатных отложениях часто обнаруживаются в результате изменения химического состава последних, в частности — смены известняков доломитами и обратно. Удачный пример подобной цикличности приведен М. С. Швецовым (1948, с. 364). В верейской свите среднего карбона им были выделены 4 полных литоцикла мощностью 2—4 м, основание которых представлено известняками, а верхнюю часть цикла составляют доломиты. Интересно отметить, что в слое известняка отмечаются внутренние

размыты. От первого нижнего цикла к верхнему четвертому отчетливо видно постепенное увеличение роли доломита и уменьшение известняка, т. е. намечается литоцикл 2-го порядка мощностью около 15 м. (Таким образом, мощность цикла 2-го порядка также на порядок выше по сравнению с циклами 1-го порядка).

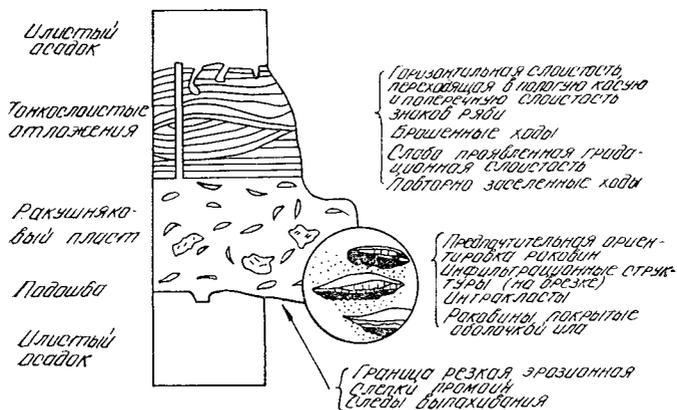


Рис. 13. Особенности строения штормовых осадков (по Р. Д. Крейза, Р. К. Бамбах, см.: Циклическая и событийная седиментация, 1985)

Для хемогенных отложений карбонатного и смешанного состава существенным признаком для выявления направленного изменения пород и их повторяемости служит изучение их химического состава, а также количества и качества примесей, прежде всего терригенного материала. В ряде случаев дополнительным признаком может послужить наличие тех или иных конкреций, которые хотя и являются постседиментационными образованиями, но зачастую обусловлены особенностями седиментогенеза.

На рис. 14 приведен пример описанного Н. П. Герасимовым (1953) разреза отложений в Камском Приуралье. Здесь видны три цикла, сходные по направленности изменения в сторону все большей засоленности водоема, в котором формировались осадки. В нижнем цикле внизу отмечено чередование (общей мощностью 65 м) доломитизированных известняков и доломитов, с увеличением роли последних вверх по разрезу. Завершается он гипсово-ангидритовой толщей (в которой преобладает ангидрит). Во втором цикле нижнюю часть образуют только доломиты и притом относительно небольшой мощности (8—10 м). В верхнем цикле внизу лежит небольшой слой доломита, а верхнюю часть образует гипсово-ангидритовая толща, в которой преобладают уже гипсы. По

данным Н. П. Герасимова, соответственно изменяется и состав фауны.

Анализируя этот разрез, мы как будто опять говорили только о породах. В то же время понятно, что каждый геолог мыслит за ними не только состав, но и условия их образования: фациальные обстановки, режим того бассейна, в котором последовательно формировались известняки, доломиты, ангидриты и гипсы. Иначе го-

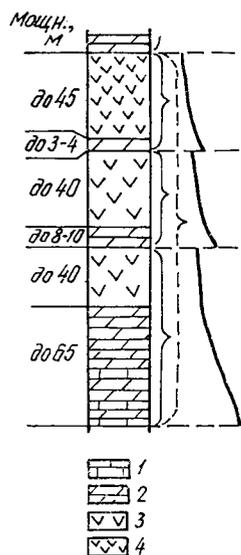


Рис. 14. Изменение пород пермского возраста в Камском Приуралье (по Н. П. Герасимову, 1953):

1 — доломитизированные известняки; 2 — доломиты; 3 — ангидриты (преобладают) и гипсы; 4 — гипсы и ангидриты. Скобками показаны циклы, пунктирной скобкой — цикл 2-го порядка. Кривые справа отражают характер изменения состава циклов

воря, мы видим смену условий от моря нормальной солености до засоленного водоема, где в осадок выпадают гипсы; на смену последнему опять резко приходит менее солоновато-водная, более мористая обстановка. В целом здесь каждый цикл представлен регрессивным рядом фаций, завершением которого можно считать гипсоангидритовые толщи (возможно, они частично составляют венчающую этот ряд нейтральную часть). После формирования последних происходит «скачок» — резкая смена фациальных условий, а затем начинается новый регрессивный ряд фаций. Мы видим здесь лишь половинки циклов (что отражено кривыми справа на рис. 14), т. е. гемициклы.

Изменение состава частей циклов и соотношения в них двух компонентов, указывающее на нарастание степени солености водоема от цикла к циклу, позволяет объединить их в один полуцикл следующего, более высокого порядка, который представляет собой общий регрессивный характер осадконакопления. Судя по другим наблюдениям, каждый из выделенных Н. П. Герасимовым слоев можно было бы разделить на более мелкие циклы. Однако для

этого необходимо более детальное описание разреза. Таким образом, намеченные здесь циклы, по существу, представляют собой уже не элементарные литоциклы, а более крупные — по-видимому, 2-го и 3-го порядков.

В силурийских отложениях Эстонии Р. Э. Эйнасто (1975) выделены литоциклы разных порядков преимущественно карбонатного состава, обусловленные миграцией фациальных зон в зависимости от изменений глубины в бассейне, что, в свою очередь, было определено тектоническими движениями разного масштаба. Он подчеркнул, что в разных фациальных зонах один и тот же цикл имеет разное литологическое и фаунистическое содержание, что необходимо учитывать при корреляции разрезов по литоциклам, а также указал, что циклостратиграфическая корреляция имеет большое значение для доломитизированных и немых толщ.

Первичные доломиты в карбонатном разрезе силура Эстонии имеют подчиненное значение, они связаны с лагунно-прибрежными тихоходными условиями, возникшими в бассейнах, частично изолированных от нормального моря. В этих отложениях в отдельных элементах литоциклов была выделена мелкая ритмичность. Ритмы состоят из нижнего (светлого) карбонатного и верхнего темного (глинистый) слоев, переход между которыми постепенный, границы же ритмов резкие. Нижняя часть ритма по мощности в два и более раза превышает верхнюю. Мощность слоев в ритме — от долей миллиметра до 1—2 мм, она изменяется по разрезу. Отмечена ритмичность более высших порядков. Р. Э. Эйнасто считает возможным связь такого ритмичного осадконакопления с сезонными изменениями. Мы считаем, что их возможно связать с климатическими изменениями, но несколько большего масштаба, чем сезонные. Итак, мы опять видим, что периодичность как результат изменения климата накладывается на периодичность, обусловленную тектоникой.

Для доломитовых циклов наиболее характерно асимметричное строение, циклы зачастую представлены только одной своей частью, причем преимущественно регрессивного типа.

Исследование цикличности в карбонатных толщах проведено В. С. Сорокиным (1978, 1984) в связи с решением стратиграфических задач на материале отложений северо-запада Русской платформы во франком веке. Используя работы предыдущих исследователей (Р. Ф. Геккера, С. В. Тихомирова и др.), он продолжил разработку методики расчленения и корреляции ритмично построенных разнофациальных карбонатных толщ, представленного комплексом разнообразных пород — известняков и доломитов с участием мергелей, глин, алевролитов, песков, песчаников, гравелитов, конгломератов и брекчий.

На основании тщательного определения состава органических остатков, текстурных и структурных признаков и химического

состава пород, с привлечением геофизических данных, им были установлены экзоны и различные фациальные обстановки осадконакопления, чередование которых позволило автору весьма детально выделить и проследить литоциклы, увязав их со стратиграфическими подразделениями. В. С. Сорокиным (1984) был составлен также ряд палеогеографических карт для разных этапов седиментации, на которых отражены фациальные обстановки осадконакопления, главным образом в морском бассейне, с указанием степени его солености. Пример такой карты приведен на рис. 15. Эта работа, насыщенная разнообразным, глубоко проанализированным материалом, может служить образцом разработки метода фациально-циклического анализа в карбонатных отложениях платформы. Мы ограничимся здесь лишь приведением некоторых выводов относительно характера ритмичности (по нашей терминологии цикличности) карбонатных отложений, сохраняя терминологию автора.

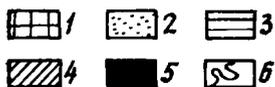


Рис. 15. Литолого-палеогеографическая карта северо-запада Русской платформы ильменского времени. Этапы регрессии кудупского бассейна на фоне развивающейся среднефранской трансгрессии (по В. С. Сорокину, 1978):

1 — слаборасчлененная суша; 2 — дельтовая область, граничащая с бассейном резко пониженной солености; 3 — море с соленостью, близкой к нормальной; 4 — море (залив) с умеренно повышенной соленостью; 5 — внутренняя впадина залива с резко повышенной соленостью, затрудненным водообменом; 6 — контур современной суши

1) Полный ритм — это совокупность отложений, возникших во время трансгрессии и последующей регрессии.

2) Установлена ритмичность нескольких порядков, каждый из которых соответствует определенной единице стратиграфической шкалы.

3) Ритмы асимметричны. Асимметричность их строения — это прогрессивный элемент, отражающий направленность изменения условий осадконакопления, развития территории.

4) Установлена закономерная смена внутри ритмов и от ритма к ритму фациальных типов отложений и биостратиграфических комплексов, «указывающая на направленность осадочного процесса и изменение ее знака во времени» (с. 102).

5) «Независимо от интенсивности и контрастности фациальных изменений по всей площади выдерживается лишь *направленность* изменения по разрезу петрографического состава и фациальных типов осадков (пород) с приуроченными к ним экологическими комплексами фауны и флоры. Но ее знак меняется на обратный на границах ритмов и при переходе от трансгрессивной пачки к регрессивной внутри каждого ритма» (с. 103).

6) Причины чередования трансгрессий и регрессий — колебательные движения земной коры.

7) В разных структурно-фациальных зонах ритмичность проявляется неодинаково полно и отчетливо.

8) Во впадинах ритмичность более крупная, разрез ритмов более полный, менее прерывистый, переходы между отложениями разных фаз ритма более плавные.

9) В полных разрезах всех структурно-фациальных зон количество ритмов одинакового порядка остается постоянным. Это подчеркивает значение ритма как хроностратиграфического элемента осадочной толщи.

Мы видим, что главные черты циклического осадконакопления карбонатных толщ такие же, какие были установлены для толщ угленосных. Это свидетельствует о том, что циклическое осадконакопление подчиняется одним и тем же законам, независимо от состава пород. При этом характер резкости смены одной фазы литоцикла другой может быть различным. На примере терригенных толщ можно было наблюдать, что резкость границ в различных отложениях большей частью связана с началом регрессии, а трансгрессивная ветвь обычно более плавная. Регрессивную часть известняковых литоциклов часто завершают поверхности осушения, следы размывов, скопления раковин и других остатков фауны, т. е. резкость смены слоев отмечается в конце регрессии, на ее границе с трансгрессией. В известняках, как это считает Л. М. Бирнина, циклы часто характеризуются резким опусканием и плавным поднятием, что приводит к асимметрии литоцикла. Скачок в начале трансгрессивного ряда бывает связан с увеличением глубины бассейна, в зависимости от неравномерности погружения области осадконакопления, либо от резкого повышения уровня моря. Возможно, это связано с тем, к какой ветви крупного литоцикла принадлежит формирование той или иной осадочной толщи. В частности, известняковые литоциклы связаны обычно с трансгрессивной ветвью литоцикла высшего порядка. Резкость границы в начале трансгрессивного ряда практически приводит к тому, что исследователи подобных толщ начинают литоцикл с начала регрессии.

Резюмируя данные по цикличности в карбонатных отложениях, можно сказать следующее. В составе литоциклов преобладают известняки или доломиты, присутствуют мергели и глины, подчиненное значение имеют ангидриды или терригенные обломочные отложения. Таким образом, диапазон пород очень широк. Мощности элементарных литоциклов часто измеряются единицами метров, характерно их асимметричное строение, часты полуциклы (особенно в доломитах). Направленность изменения отложений может быть и регрессивной и трансгрессивной, реже — нейтральной. Наблюдается появление ритмичности (в определенных слоях

литоциклов), выделяются литоциклы более высших порядков. Формирование литоциклов происходит в морской обстановке, на разных глубинах. Причины возникновения их разнообразны. Направленная смена пород происходит часто не за счет миграции фаций, а в результате изменения условий внутри самого водоема при неизменной общей фациальной обстановке. Литоциклы бывают и автохтонного, и аллохтонного характера. Основные факторы, определяющие цикличность — тектонические движения (преимущественно погружения разной амплитуды) и климатические изменения разного масштаба, а также принос различного материала извне. Возможна и реально проводится в ряде случаев корреляция разрезов по литоциклам, чаще более высшего порядка — 2-го, 3-го в зависимости от расстояний, на которых проводятся сопоставления.

2.3.2. Соленосные толщи

Для этих отложений исследователи уже давно отмечали повторяемость изменений — от формирования в морских условиях более или менее нормальной солености до все более и более осолоняющихся. Таким образом, последовательность отложений в основном определяется последовательностью выпадения минералов при все большей степени осолонения вод.

В результате состав соленосных литоциклов в общем довольно однотипен для различных районов и возрастов. Полная идеальная последовательность отложений: доломиты — ангидриты — галит — калийно-магниевые соли (карналлит, сильвинит, бишофит и др). — галит — ангидрит — доломит. Однако, по существу, дело обстоит значительно сложнее. Прежде всего полный набор отложений встречается далеко не всегда, это скорее исключение. Во-вторых, такая общая идеальная последовательность крупного масштаба формируется рядом более мелких единиц разреза, имеющих ту же направленность смены отложений. Далее: многие слои, в свою очередь, имеют сложное строение, представляющее собой ритмичное чередование разных пород, причем разных порядков. Наконец, указанная последовательность в ряде случаев нарушается переслаиванием с глинистым материалом или даже более грубозернистым — алевритами и песчаниками. С другой стороны, в иных условиях периодически могут появляться известняки и другие карбонатные породы.

По периодически повторяющейся последовательности слоев в соленосных толщах давно существует огромная литература, как отечественная, так и зарубежная. Понятно, что в данной работе мы не можем дать исчерпывающего анализа, а ограничимся лишь очень немногими примерами, в основном на отечественном материале.

Еще более 30 лет назад известный исследователь соленосных

отложений М. П. Фивег (1955), описывая строение Верхнекамской соленосной толщи, отмечал годовые ленты, состоящие из слоев поваренной соли (летний), сильвинита (осенне-зимний) и глинистого (зимний). Наряду с этим отмечалась и явно многолетняя ритмичность, выраженная в чередовании слоев соляной глины, каменной соли и калийных солей. Согласно М. П. Фивегу, в осадочной соленосной толще четко фиксируется ритмичность нескольких порядков: в чередовании слоев — сезонная, в смене слоев калийной породы и каменной соли — многолетняя (с длительностью порядка 15—40 лет), в смене же ритмически повторяющихся пачек слоев — вековая (с длительностью периода в 100—170 лет). По его мнению, многолетняя ритмичность связана скорее всего с климатическими изменениями: с многолетним чередованием более теплых и более холодных периодов. Что же касается вековых ритмов, то они, по его предположению, обуславливаются периодическим поступлением в бассейн, где накапливались осадки, больших объемов опресняющих вод, что может быть связано уже не с изменением климата, а с перемещением водных масс в зависимости от колебаний уровня мирового океана или же от тектонических движений на достаточно больших территориях.

Интересный материал по цикличности галогенной толщи приведен в статье В. С. Деревягина, Л. Н. Морозова и С. А. Свидзинского (1979) по Эльтонскому месторождению солей. Авторы, доказав осадочное происхождение залежей различных солей и рассмотрев их генетическую последовательность, приводят нормальный стратиграфический разрез толщи общей мощностью около 800 м, где ими были выделены 5 горизонтов. Далее они указывают, что последние формируют два цикла — нижний и верхний. Нижняя часть первого (неполного) цикла представлена галитом, а верхняя — продуктивным горизонтом сложного строения, состоящим из элементов разреза, которые авторы называют ритмами. Строение каждого из ритмов следующее: внизу — слой галита (мощностью от единиц до десятков метров), сверху — сложное переслаивание сильвинита, карналлита, кизерита, бишофита и др. Мощности этих двучленных ритмов — десятки метров. Судя по мощностям и особенно по сложности строения, эти элементы разреза следует считать литоциклами (наиболее насыщен калийно-магниевыми породами средний из них, имеющий меньшую мощность). Весь же продуктивный горизонт является верхней частью крупного литоцикла 2-го порядка. Выше него расположен следующий литоцикл 2-го порядка, называемый авторами просто цикл. Его нижняя часть определена как галопелит-ангидритовый горизонт, средняя представлена галитом, а верхнюю образует калиеносный горизонт. Судя по приведенному разрезу, галопелит-ангидритовый горизонт сам имеет сложное строение, в нем отмечается и общая направленность изменения отложений; на этом фоне,

по-видимому, могут быть выделены более дробные элементы крупные литоритмы.

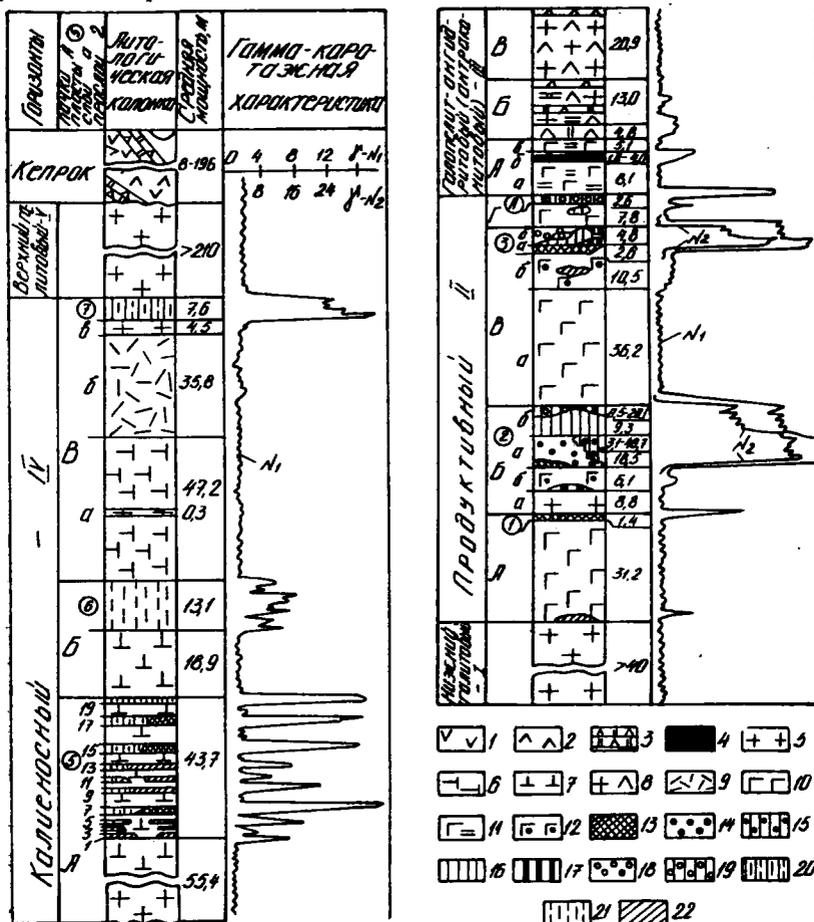


Рис. 16. Сводная литолого-стратиграфическая колонка галогенной толщи Эльтонского месторождения калийных солей (сост. Л. Н. Морозов, С. А. Свидзинский, Л. В. Аношин):

1 — гипсы; 2 — ангидриты; 3 — тонкослоистая доломит-ангидритовая порода; 4 — галопелиты; каменная соль слоистая; 5 — нерасчлененная, 6 — со слоями ангидрита, группированными в микроритмах пачками, 7 — со слоями ангидритов, группированными в микроритмах пачковидными сериями; 8 — ангидрит-галитовая порода; 9 — каменная соль «лодочковая»; 10 — галит; 11 — то же с примесью галопелитов; 12 — сильвинитоподобная галитовая порода; 13 — сильвинит ритмично-слоистый; 14 — сильвинит массивный; калиино-магниевые породы; 15 — карналлит-сильвинитовая и сильвинит-карналлитовая, 16 — карналлитовая, 17 — бишофитовая, 18 — кизеритовая, 19 — кизерит-карналлитовая и карналлит-кизеритовая, 20 — галит-карналлитовая, 21 — карналлит-галитовая, 22 — сильвинит-галитовая

Выше идет пачка галита мощностью более 55 м, завершается этот крупный цикл калиеносным горизонтом, сложенным отчет-

ливо выраженными тремя пачками (А, Б, В), которые авторы также именуют ритмами. Очевидно, их все же следует считать литоциклами 1-го порядка, в свою очередь имеющими сложное строение (рис. 16): внизу — пачки галита со слоями ангидрита, вверху — карналлит с прослоями солей иного состава. Интересно отметить, что и в этом крупном литоцикле 2-го порядка наиболее богат карналлитом средний элементарный литоцикл, причем опять-таки наименьшей мощности. Верхняя часть нижнего литоцикла 1-го порядка (слой 5) мощностью около 44 м имеет очень сложное строение: галит со слоями ангидрита чередуется с ритмично-слоистым сильвинитом, галит-карналлитом и сильвинит-галитовыми отложениями: очевидно, это ритмичность 2-го порядка. Ритмы же 1-го порядка измеряются единицами или долями сантиметров и представляют собой чередование двух-трех пород. Авторы называют их «микроритмами». Таким образом, верхняя часть литоцикла 1-го порядка имеет сложное ритмичное строение с выделением литоритмов разных порядков и масштабов. Гамма-каротажная диаграмма отражает особенности сложного строения горизонта. Литоциклы имеют регрессивную направленность изменения отложений и представлены преимущественно только регрессивной своей частью (т. е. это полуциклы).

Итак, здесь намечается сложная ритмичность и цикличность: ритмы 1-го (мощность элементов — миллиметры и сантиметры), 2-го (мощность — метры) порядка, литоциклы 1-го (мощность — десятки метров) и 2-го (мощность — сотни метров) порядка. Такое строение и закономерное изменение состава отложений объясняется авторами как результат колебания во времени характера питания солеродного бассейна; цикличность и ритмичность связываются с взаимодействием двух факторов — тектонического и климатического. Присутствие отдельных слоев сульфатных и карбонатных соединений указывает, по мнению авторов, на то, что солеродный бассейн периодически имел открытую связь с питающим морским бассейном. Наличие в толще четкой слоистости, отпечатков волновой ряби и других текстурных признаков, наряду с литологическими изменениями состава пород по площади бассейна, позволило им предполагать относительную мелководность и неровность дна бассейна седиментации. Цикличность соленосных отложений, детально изученная на одном месторождении, помогает корреляции на значительно большей площади.

Циклическое строение было отмечено и на других соленосных месторождениях в Прикаспии. Авторы называют их «ритмопачками», причем отмечается сходство их генезиса. Выделяют также «мега ритмы» накопления галогенных пород с характерными границами, отражающими резкие изменения условий осадконакопления. Эти границы могут служить реперами при корреляции разрезов.

Седиментационная цикличность в кембрийской галогенной фор-

мации Ангаро-Ленского прогиба была описана Г. М. Друговым и С. М. Замараевым (1975). Они дали столь четкую характеристику цикличности, что мы вынуждены местами просто цитировать их работу. Этими авторами выделены три цикла 2-го порядка, состоящие, в свою очередь, из более мелких литоциклов. Выделено 9 седиментационных циклов, «соответствующих законченным циклам развития осолоняющихся водоемов, которые повсеместно прослеживаются в пределах изученной части Ангаро-Ленского прогиба. Они являются надежной основой для увязки разрезов и могут служить в качестве наиболее приемлемых единиц для палеогеографических и палеотектонических реконструкций» (с. 197).

Мощности их изменяются от нескольких десятков до первых сотен метров. Строение в пределах солеродной зоны преимущественно трехчленное: нижние части литоциклов существенно доломитовые, формировались в бассейнах сравнительно невысокой солености; средние — сульфато-соляные в условиях максимальной солености; верхние — сульфато-карбонатно-терригенные в условиях предельного мелководья при довольно резких колебаниях солености. Для этих частей характерно наличие ритмов. Для каждого литоцикла «характерно увеличение количества терригенного и глинистого материала снизу вверх по разрезу» (с. 198). Наиболее выдержаны во времени и в пространстве карбонатные составляющие литоциклов. Соляные части литоциклов более изменчивы и имеют сложное внутреннее строение. Указанные авторы характеризуют их следующим образом: «Соляные пачки в каждом из циклов подразделяются на 4—8 ритмопачек (многовековых ритмов) мощностью 10—40 м, которые начинаются сравнительно выдержанными на площади слоями несоляных пород и заканчиваются пластами каменной соли. Соляные пласты характеризуются разнообразной ритмичностью, обусловленной климатическими и сезонными изменениями. Элементарные сезонно-годовые ритмы группируются в пяти-шестилетние, затем в десятилетние с периодичностью 10—12 лет (наиболее четко выраженные)*, внутривековые (21—24 года и 32—35 лет), полувековые (48—54 года) и четкие вековые ритмы (88—110). Соляные пласты в ритмопачках состоят из 2—6 вековых ритмов» (с. 198).

Нам кажется, что при практической работе достаточно выделить, кроме сезонной слоистости, литоритмы с периодом 10—12 лет и вековые. Авторы указывают, что седиментационные циклы отражают этапы прогрессирующего обмеления (и осолонения) от эпиконтинентального морского бассейна, сравнительно свободно связанного с открытым морем, до усыхающего бассейна лагунного типа с затрудненным водообменом. Анализ мощностей и соле-

* Это понятно, так как такие ритмы обусловлены цикличностью солнечной радиации.

насыщенности седиментационных циклов приводит авторов к выводу, что в наиболее прогнутых частях конседиментационных структур возрастают мощности отдельных циклов наряду с увеличением их соленасыщенности. Такие участки представляют интерес для поисков калийных солей. Авторы считают, что «границы солеродных бассейнов, мощности галогенных осадков, характер соленакопления и внутренняя структура Ангаро-Ленского прогиба предопределялись региональными тектоническими факторами. Ими обуславливалась и седиментационная цикличность галогенной формации» (с. 198).

Ряд авторов (например, Яншин, 1977) разбирали вопрос, к какому этапу общего развития осадконакопления относится формирование соленосных толщ, и пришли к выводу, что они образуются на общем трансгрессивном фоне. Но и на этом фоне сохраняется регрессивный характер самих циклов.

Рассмотрение ряда материалов по месторождениям солей разного возраста и местоположения выявляет в общем сходные закономерности формирования цикличности соленосных отложений. Соленосные литоциклы возникают при сочетании ряда условий.

Во-первых — осадконакопление на фоне активного тектонического прогибания в обстановке крупных синеклиз платформ, краевых прогибов или межгорных впадин, которое обеспечивает накопление мощных толщ.

Во-вторых — наличие бассейна, периодически отшнуровывавшегося, теряющего связь с морем нормальной солености. В ряде случаев сообщение с последним могло происходить не непосредственно, а через специфические промежуточные бассейны (осадконакопление в которых также циклического характера). Причины потери связи с открытым морем могут быть различными. Это появление или разрушение порога, отграничивающего бассейн соленакопления (песчаные бары, барьерные рифы и др.); изменение уровня моря; усиление погружения, вызывающее недокомпенсацию отложений и подток морских вод.

В-третьих — определенная палеогеографическая обстановка: выровненность рельефа окружающей суши, с которой в солеродный бассейн лишь периодически может поступать принос терригенного материала (преимущественно глинистого) и приток пресных вод. Очень слабая гидродинамика внутри солеродного бассейна.

Наконец, необходимо еще одно обязательное условие — наличие аридного климата, засушливости в данной области, в результате чего последовательность выпадения солей в седиментационном цикле обуславливается естественной их последовательностью по мере усиления степени солености вод.

Глубины бассейна седиментации, как отмечают различные исследователи, могли быть различными, но в стадию завершающегося соленакопления, т. е. в конце регрессивного ряда отложений,

они, видимо, были относительно небольшими. Этот вопрос разобран в работе С. И. Романовского (1985).

В результате сочетаний всех указанных условий возникают соленосные циклы различных порядков, причем литоциклы более высшего порядка обычно имеют ту же направленность изменения отложений, что и подчиняющиеся им литоциклы более низшего порядка. Элементарные соленосные литоциклы по масштабам соизмеримы с элементарными литоциклами иных формаций. Определенные части таких литоциклов имеют, в свою очередь, сложное ритмическое строение. Ритмичность образуется чередованием: слоев солей разного состава; слоев, имеющих разные примеси; слоев соли с другими осадками — глинистыми, карбонатными или какими-либо иными. Причиной возникновения литоритмов, тоже разных порядков, являются сезонные изменения, климатические колебания, циклы солнечной радиации и др. Многочисленные примеры разнообразного состава соляных литоритмов приводятся в работе С. И. Романовского (1985), а также у П. Даффа и др. (1971).

Таким образом, тектонические процессы определяли общий ход седиментации и большие порядки циклов. Направленность изменения и появления циклов разных порядков определялась климатом и закономерностями химических процессов.

Соленосные литоциклы разных порядков имеют в большинстве случаев регрессивный характер, определяемый закономерностью выпадения солей по мере усиления осолонения вод бассейна. Это особенно характерно для элементарных литоциклов (1-го порядка). Но даже если литоциклы и имеют верхнюю трансгрессивную часть, то она обычно меньшей мощности по сравнению с регрессивной, так что общий регрессивный характер цикличности сохраняется.

В связи с вопросом типизации цикла по этому признаку следует заметить, что мы имеем в виду регрессивный ход осадконакопления, но отнюдь не поднятие (хотя бы относительное) и связанное с ним отступление моря, как это мы видели при анализе угленосных толщ. Формирование соленосных циклов регрессивного типа происходит на фоне погружения, так как здесь решающую роль начинает играть климат.

Некоторые исследователи считают, что там, где соли переслаиваются обломочными отложениями, более вероятно действие климатического контроля. Однако нам представляется, что это не всегда: принос обломочного материала может возникнуть и в результате усиления активности подачи обломочного материала из области сноса, причем последнее может быть обусловлено тектоническими движениями.

Можно сказать, что цикличность соленосных толщ по ряду признаков является как бы «антиподом» цикличности угленосных толщ, что видно из следующего сопоставления (табл. 1). Вместе

с тем изучение цикличности тех или других отложений выявило их общие черты: наличие литоциклов разных порядков, соизмеримость мощностей элементарных циклов; тяготение полезных ископаемых к «стыку» регрессивного и трансгрессивного ряда («перегибу» циклической кривой).

Таблица 1

Сопоставление цикличности соленосных и угленосных толщ

Условия	Угленосные толщи	Соленосные толщи
Климат	Гумидный	Аридный
Состав отложений	Терригенные с подчиненными биогенными	Хемогенные с подчиненными терригенными
Фациальный состав отложений	Разнообразный — от наземных до морских	Только бассейновый, от морских до соленых
Миграция фаций	Характерна (миграционный тип)	Преимущественно изменения условий внутри одного бассейна (мутационный тип)
Направленность	Определяется миграцией фаций	Определяется закономерностью выпадения солей по мере их концентрации
Принос материала с суши	Характерен	Большой частью отсутствует
Синхронная тектоническая обстановка	Дифференцированные движения на фоне общего опускания	В основном опускание области седиментации
Место в литоцикле полезного ископаемого	Начало трансгрессивного ряда	Конец регрессивного ряда
Наложённая ритмичность	Встречается (относительно редко)	Очень типична, отмечена почти везде

Исследователями соленосных толщ также отмечается возможность (и необходимость) корреляции разрезов по литоциклам разных порядков. При этом в каждой толще, несмотря на различный состав литоциклов в более или менее удаленных друг от друга разрезах, выявляется однотипная направленность изменения отложений, что и способствует их корреляции. С соленосными толщами, кроме собственно солей, связаны еще ряд рудных и других элементов, вплоть до наличия полезных ископаемых.

Так, например, месторождения серы связаны с карбонатно-галогенными комплексами пород, приурочиваясь, в частности, к горизонтам сульфатных пород. С соленосными толщами связаны месторождения боратов, причем место бора также в середине литоцикла, вблизи «перегиба циклической кривой». В ряде случаев отмечаются примеси к солям рудных минералов: железа, марган-

ца, меди и др., их содержание возрастает с тенденцией к накоплению калийных солей. Р. Г. Осичкина (1978) отмечает четкую зависимость их распределения от состава галопелитов. Анализ закономерностей их распределения, по мнению указанного автора, необходим для составления рекомендаций по комплексному использованию сырья.

С. М. Корневский (1973) отметил связь с галогенными формациями марганца. По его мнению, «нарастающий и затухающий галогенез играет положительную роль, создавая физико-химическую обстановку, благоприятную для осаждения марганца». Следовательно, можно сделать вывод, что повышенные концентрации марганца формируются вблизи границ соленосных циклов. Отмечаются и иные примеси полезных элементов, приуроченные к заключительным стадиям регрессивного хода осадконакопления, когда увеличивается концентрация всех элементов, содержащихся в рассолах. Общеизвестна связь с галогенными толщами залежей нефти, для которой эвапориты играют роль покрышки. Этого вопроса мы коснемся ниже в связи с цикличностью седиментации нефтяных месторождений.

2.3.3. Кремнистые отложения

Толщи такого состава, достигающие в ряде случаев больших мощностей, формируются также биогенно-хемогенным путем. Цикличность здесь изучена значительно слабее. В основном внимание исследователей было привлечено к ритмичности разных порядков.

Кремнистые отложения — преимущественно морские и более или менее глубоководные. К континентальным можно отнести диатомиты, накапливающиеся в озерах, находящихся под воздействием вулканической деятельности. Так, например, в кальдерном озере Тоба на о. Суматра осадки представлены главным образом диатомитами, сформировавшимися в результате обильного поступления в воды озера вулканогенного кремнезема, как из пепловых отложений, так и подаваемого фумаролами и гидротермами: периодическое появление пепловых, песчаных и глинистых прослоев создает ритмично-слоистую текстуру диатомитов (ритмиты). Очевидно, для появления диатомитовых ритмитов имеет значение периодичность расцвета диатомовых водорослей под влиянием климатических изменений, а также и в поступлениях кремнезема.

Сезонная ритмичность в озерном диатомите мощностью около 4 м описана в Чехословакии (в месторождении Бехлевиц). Диатомиты и здесь находятся среди пластов базальтов и туфов. Чередуются слойки темно- и светло-окрашенные, толщиной в среднем 0,25 мм. Темные слойки толще, они сложены главным образом сине-зелеными водорослями, достигающими максимального раз-

вития зимой, светлые — диатомитовыми, накапливающимися в летнее время. Кремнекислота, благоприятствующая размножению диатомитовых водорослей, приносилась, очевидно, водами горячих источников, связанных с поствулканической деятельностью (т. е. в стадии затухания вулканизма). Таким образом, подобная ритмичность обусловлена несколькими факторами: подачей вулканогенной кремнекислоты и сезонностью расцвета живых организмов.

В монтерейских кремнистых сланцах (США) М. Брамлеттом (Bramlett, 1946) описана сложная ритмичность. Сланцы сформированы преимущественно диатомитовыми водорослями. Показана более крупная повторяемость слоев чистого диатомита мощностью 2—3 м с глинистыми диатомитами мощностью 7 м и более или же с глинами. Эти литоритмы крупного порядка соизмеримы с литоциклами. Отмечается также ритмичное чередование серий слоев более тонких и более толстых, причем толщина слоев убывает по ритму снизу вверх. Внутри серий слоев видна еще более тонкая ритмичность, обусловленная сложным чередованием органического материала с кластическим, причем последний становится все тоньше к верхней части ритма. Наконец, в шлифе прослеживается ритмичность еще более низшего порядка с чередованием слоев меньше 1 мм. Последняя напоминает ленточную слоистость озерных отложений и солей. На этом фоне заметно и еще более тонкое переслаивание слоев толщиной в доли миллиметра (слоичатость). Автор объясняет такую ритмичность как результат периодического привноса обломочного материала. Сопоставляя эту сложную ритмичность с циклами разных периодов, Брамлетт пришел к выводу, что самые мелкие литоритмы являются сезонными, годовыми, составляющие их слои имеют толщину 0,1—0,2 мм. Ритмы следующего порядка толщиной 2—5 см он считает соответствующими 35—100-летним периодам климатических циклов Брюкнера, еще более крупная ритмичность отвечает колебаниям климата порядка 2000—3000 лет. Ритмичность эта правильная и очень четко выдержанная на большом протяжении (особенно литоритмов 2-го порядка). Такая правильная и выдержанная ритмичность в толщах большой мощности происходила в условиях медленного и равномерного опускания, в геосинклинальном прогибе. Предполагается, что наиболее крупные литоритмы (мощностью в несколько метров) «отражают колебательные движения, происходившие на фоне общего погружения, т. е. являются уже настоящими циклами» (Жемчужников, 1963).

Ритмичность разных порядков в кремнистых сланцах схематически показана на рис. 17, где дана зарисовка сложной ритмической слоистости в них. Здесь мы видим чередование светлых и темных полосок разной толщины. Каждая полоска, в свою очередь, состоит из переслаивания светлых и темных очень тонких слоев (толщиной в десятки доли миллиметров), причем преоб-

ладание тех или других придает соответствующую окраску этим полоскам — пачкам слойков. Чередование светлых (преимущественно алевритовых) и темных полосок образует ритмичность 2-го порядка (по отношению к слойкам). Толщина полосок-пачек слойков колеблется в пределах от нескольких миллиметров до первых сантиметров. На рисунке мы видим, что внизу находятся более светлые полосы, затем ширинна темных и светлых примерно



Рис. 17. Сложная ритмическая слоистость в кремнистых сланцах

одинаковая, а вверху преобладают уже темные полосы, светлые же становятся очень тонкими. Таким образом, намечается новый ритм 3-го порядка, у которого нижняя часть представлена преимущественно алевритовым светлым материалом, а верхняя — кремнистым. Переход между верхом и низом здесь постепенный, но в других случаях он может быть и более резким. Такая многопорядковая ритмичность — очень типичное явление для ритмического накопления осадков.

Другие кремнистые породы, как, например, широко известные яшмы, также часто бывают «полосатые» и состоят из ритмического чередования чисто кремнистых слойков с кремнистыми же, но имеющими примесь железистых минералов, окрашивающих эти слойки чаще в красный или бурый цвет.

Довольно правильная ритмичность, формируемая чередованием кремнистых и железистых слойков, отмечена всеми исследователями в железистых кварцитах. Некоторые исследователи отмечают не только характерную для них ритмичность, но и цикличность осадкообразования. Так, например, в статье Э. В. Дмитриева, М. И. Черновского, В. А. Шапошникова (1974) описана цикличность в железистых кварцитах Скелеватского месторождения Криворожского бассейна. Литоцикл имеет симметричное строение: в середине его — подгоризонт тонкополосчатых гематит-магнетитовых кварцитов, выше и ниже подгоризонты средне- и грубополосчатых магнетитовых кварцитов, которые, в свою очередь, сменяются подгоризонтами карбонат-магнетитовых и, наконец, силикат-магнетит-карбонатных кварцитов.

Причину такого строения авторы видят «в направленном уменьшении содержания органического вещества и увеличении окисленности железа в процессе диагенеза, что, в свою очередь, могло быть связано с увеличением глубины бассейна» (с. 101). В верхней части литоцикла реализуется обратная направленность в изменении осадконакопления. Выделенные авторами части цикла (подгоризонты) состоят из чередования элементарных серых кварцевых и темно-серых железистых (магнетитовых) слоев. В верхних частях цикла они коричневатокрасные (гематит).

Авторы считают, что различные формы железа, их количественное соотношение и пространственное распределение формировались еще при седиментации и диагенезе, хотя в настоящее время они обладают структурами, типичными для метаморфических пород. Они отмечают ритмичное чередование слоев рудного (гематитового, магнетитового), силикатного, карбонатного, безрудного (кварцевого) и смешанного (промежуточного) состава. Ритмы могут состоять из двух и более компонентов. «Суммарная мощность магнетитовых слоев в подгоризонтах железистых кварцитов возрастает от краев цикла к его середине» (с. 105). Этот вывод весьма существен, так как свидетельствует о том, что более интенсивное рудообразование было приурочено к середине цикла. Нижнюю часть цикла авторы рассматривают как трансгрессивное соотношение пород, верхнюю — как результат регрессивного процесса (на что указывает еще ряд признаков). Нижняя, трансгрессивная часть полуцикла отмечается более сложными и менее стабильными условиями осадконакопления по сравнению с регрессивной. Мощность нижней части литоцикла в общем меньше, чем верхней. Это, а также некоторое различие в составе и соотношении слагающих компонентов в обеих частях литоцикла указывает на неполную симметричность в его строении. Выводы из этой содержательной статьи, безусловно, интересно было бы проверить и на других аналогичных объектах.

Ритмичность накопления была описана нами в девонских отложениях Центрального Казахстана (Соколова, Ботвинкина, 1965). Например, отмечалось очень тонкое чередование кремнисто-карбонатных слоев с глинисто-кремнистыми, содержащими радиоларии. Те и другие слои, толщиной менее 1 мм, чередуются и образуют ритмы 2-го и 3-го порядков. Кремнезем поступал в осадок из вулканогенных очагов.

О. В. Горбачев (1985), описывая геохимические особенности кремнистых пород в составе кремнисто-углеродистых формаций сложного состава, привел интересный пример распределения ванадия, молибдена и серебра в разрезе беркутской свиты Восточной Киргизии. И хотя автор не описывает литоциклы, но приведенный им геологический материал указывает на периодическую повторяемость в разрезе этих элементов, связанных с углероди-

сто-кремнистыми сланцами. Породы эти формировались в относительно глубоководных условиях, но выше уровня карбонатной компенсации. Максимальные концентрации ванадия, молибдена, серебра и других элементов приурочены к участкам тонкого чередования кремнистых и карбонатных пород. Кремнезем здесь биогенного происхождения. По-видимому, комплекс известняк — крем-

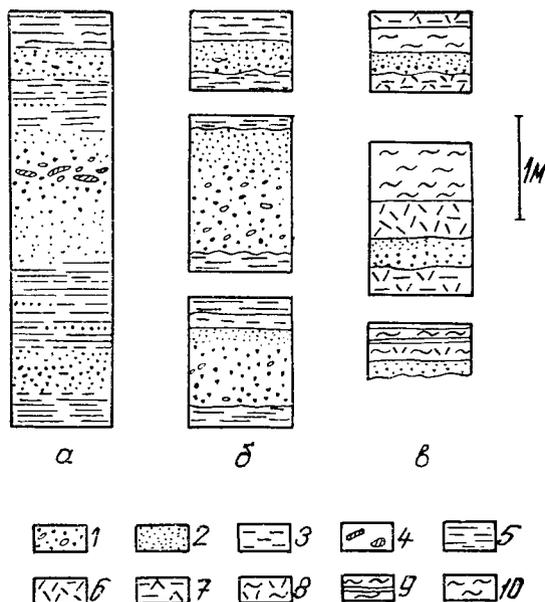


Рис. 18. Строение пластов кремнеобломочных песчаников (по И. В. Хворовой, 1974):

ассоциации: *a* — песчано-аргиллитовая с «матрасной» стратификацией; *b* — песчано-аргиллитовая со ступенчатой-градационной стратификацией; *c* — песчано-туфитосилицитовая; *песчаники:* 1 — грубозернистые, 2 — средние и мелкозернистые; 3 — алеволиты; 4 — гальки местных аргиллитов; 5 — аргиллиты; 6 — туфы; 7 — туффиты; 8 — туфосилициты; 9 — чередование силицитов и аргиллитов; 10 — силициты

нистая порода можно считать литоциклом, формирующимся в особой фациальной обстановке, по мнению О. В. Горбачева — на стыке двух фациальных зон: пелагической (кремнистые породы) и неритовой (карбонатные породы).

Описанные выше кремнистые породы имеют преимущественно биогенно-хемогенное происхождение. Однако они могут быть и обломочными. И. В. Хворовой (1974) описана ритмичность в кремнисто-обломочных породах для эвгеосинклинальных силурийско-девонских толщ Южного Урала. Ею выделено три этапа ритмов

(рис. 18). Первый — с симметрично-градиционной маятниковой стратификацией. В середине ритма — наиболее грубозернистый песчаный или даже песчано-гравийно-галечный материал, который к периферии многослоя сменяется (по неотчетливой границе) глинистыми алевролитами и аргиллитами. Мощность ритма — первые метры. Второй тип — со ступенчато-градиционной стратификацией. Песчаные пласты (0,5—2,5 м) разделяются пачками (2,5—15 м), в которых небольшие слои песчаников (1—50 см) чередуются с аргиллитами (1—50 см). Эти породы всегда горизонтально-слоисты. Контакты песчаника с аргиллитами: верхний — резкий, нижний — резкий, слегка неровный. Эти ритмы по существу (и по составу и по масштабу) следует считать литоциклами, причем в их более тонкозернистых частях существует подчиненная им ритмическая повторяемость слоев. Вверх по разрезу толщина песчаных пластов уменьшается, возрастает мощность разделяющих их пакетов (до 25 м), которые одновременно становятся все более насыщенными аргиллитами. Тем самым намечается литоцикл 2-го порядка.

Третий тип ритмичности, по И. В. Хворовой, представлен чередованием кремнеобломочных (гравелиты, песчаники, алевролиты) и пелитоморфных пород, представляющих собой смесь глинистого, пирокластического и кремнистого вещества с частым участием спонголитов. Ритмы начинаются кремневым песчаником, который сменяется туфосилицитом и аргиллитом с прослойками силицита или спонголитом. В других случаях спонголит предшествует туффиту, а аргиллит выпадает. Мощности слоев измеряются сантиметрами, ритмов — единицами метров. Границы ритмов отчетливые и резкие.

И. В. Хворова доказывает отличие описанных ею ритмов от флишевых и турбидитных. Она считает, что пелитовый материал (глины, кремнезем) представляет собой обычный пелагический осадок, в значительной степени оторванный от своего источника, а кремнисто-обломочный материал «эпизодически выносился из прикордильерной зоны или с подводных возвышенностей потоками низкой плотности (песчаные потоки), а затем разносился и сортировался обычными донными течениями» (с. 47). Если по поводу периодичности в подаче туфов и туффитов (в третьем типе) вопроса не возникает, то затруднительно объяснить эпизодичность отложения песков глубоководными донными течениями, обычно длительно существующими. Вряд ли также можно допустить, что работали два механизма — сначала осадок отлагался суспензионными потоками, а потом перемещался волочением донными течениями. Не исключено, что подача обломочного материала со склонов кордильер происходила в результате встряхивания при сейсмических толчках, неизбежно связанных с синхронным вулканизмом. Но тогда в осадках были бы широко развиты оползневые

текстуры. Поэтому вопрос о механизме периодической подачи кремнисто-обломочных пород пока остается открытым.

2.3.4. Фосфориты и фосфорсодержащие породы

Такие породы часто связаны с горизонтами кремнистых отложений. Циклическое и ритмическое строение разрезов отмечалось рядом авторов: еще в 40—50-х годах в работах А. Д. Архангельского, Б. М. Гиммельфарба, В. Л. Либровича и др. намечены основные признаки цикличности. В дальнейшем к этому вопросу неоднократно обращались различные исследователи.

Не имея возможности подробно проанализировать данный материал, ограничимся лишь некоторыми примерами месторождений, связанных с различной палеогеографической и тектонической обстановкой. Влияние климата здесь как бы выносится за скобки, так как фосфориты — типично морское образование (даже если район фосфатонакопления принадлежит аридной области, основное влияние на него оказывает то, что он сформирован в водной среде открытого моря).

Примером платформенных фосфоритов (желваковых, зернистых, хемогенных) могут служить месторождения Русской платформы, относимые, по классификации Н. С. Шатского (1955), к терригенно-глауконитовым формациям. В разрезе фосфоритных серий (месторождения Егорьевское, Вятско-Камское и др.) отмечаются одна или две пачки желваковых фосфоритов небольшой мощности (до 1 м), заключенные среди терригенных песчаных и глинистых пород. Таким образом, здесь мы видим элементарные циклы мощностью от 1—2 до 4—5 м, регрессивного характера, причем фосфоритовый пласт завершает регрессивный ряд фаций.

В работе В. Г. Загураева, В. М. Петрова, К. К. Хазановича (1984) описан разрез ордовикских отложений Эстонии, включающий хемогенные фосфориты. В данном случае трудно говорить о цикличности, так как по существу мы видим лишь один фосфатоносный цикл, сформировавшийся в лагунной обстановке в краевой части Русской платформы. Пласт фосфорита лежит на границе между песчаниками, завершающими регрессивное развитие осадконакопления, и глауконитовым песчаником с последующим за ним известняком, которые отвечают трансгрессивному этапу. Интересно отметить, что максимальное фосфатонакопление приурочено к зоне перехода. Этими авторами выявлена мелкая ритмичность в пластах фосфоритов, видимая в шлифе под микроскопом. Мощность ритмов — несколько миллиметров. Строение следующее: нижний контакт ритма неровный, на нем слой кварцевого алевролита с точечными включениями гидроокислов железа и редкими фосфатными зернами, затем слой обогащенный с линзами или пятнами гидроокислов железа. Выше количество последних возрастает, а зерен фосфата уменьшается. Основная масса

представлена микрокристаллическим хомогенным фосфатом. Появление таких ритмов обусловлено, по мнению авторов, сменой мелководных и относительно глубоководных фаций. К сожалению, авторы недостаточно остановились на анализе происхождения подобной ритмичности.

Несколько иное строение имеет разрез Селеукского месторождения Южного Урала пермского возраста, отнесенного Н. С. Шатским (1955) к кремнисто-известняковой формации и сформированного, по его мнению, на склоне краевого прогиба, но в его платформенную стадию. В работе В. И. Плотниковой и А. И. Смирнова (1959) приведен стратиграфический разрез Селеукского месторождения, где отчетливо видны 3 литоцикла: нижний с размывом и конгломератами в основании (лежащими на глинисто-кремнистых сланцах карбона), затем идут доломиты, сменяющиеся нижней фосфоритовой пачкой (мощность 2,4—3,4 м), в свою очередь состоящей из чередования фосфоритов с доломитами, в меньшей степени известняками и кремневыми породами. Завершается цикл афанитовыми известняками меньшей мощности, чем доломиты внизу.

Средний цикл начинается органогенными обломочными известняками, затем следует средняя фосфоритовая пачка такого же сложного переслаивания и вверху афанитовые известняки (мощность 4—27 м) с прослоями фосфоритов и органогенных известняков. Цикл имеет более или менее симметричное строение.

Верхний цикл опять начинается обломочными, а затем афанитовыми известняками; верхняя фосфоритовая пачка также сложного строения, но фосфорит переслаивается с известняками, а не с доломитами. Завершается цикл мощной толщей известняков. Нижний цикл по своему характеру регрессивного типа, средний — нейтрального, верхний — трансгрессивного. Вместе они образуют крупный цикл следующего 2-го порядка, причем максимальное содержание фосфора приурочено к его средней части.

Чередование фосфоритов с карбонатными отложениями, очевидно, следует считать ритмичностью. Ритмичность, по-видимому, свойственна и карбонатным отложениям, образующим нижнюю и верхнюю часть циклов. Кроме того, в тонкоплитчатых фосфоритах намечаются ритмы меньшего порядка: толщина этих ритмов от долей миллиметра до 1—2 мм.

По мнению указанных авторов, селеукские фосфаты по ряду параметров ближе к платформенным желвачным фосфоритам, чем к пластовым геосинклинальным. Это месторождение и по тектонической обстановке, и по своему строению также является как бы переходным. Не имея возможности останавливаться на других примерах цикличности в платформенных фосфоритах, коснемся ее особенностей в фосфоритах геосинклинальных областей. Весьма интересен пример такого фосфоритоносного бассейна, как Ка-

ратауский. Здесь на месторождении Коксу (Табылдиев и др., 1970) фосфатонакопление приурочено к середине крупного цикла n -го порядка, состоящего из кремнистого горизонта (малокаррой-

Вид разреза	Вид разреза	Разрез	Мощность, м	Породы
Табдинская Чулактауская	Сланцевая		1500-2000	Доломиты известковистые
			5	Фосфориты зернистые с прослоями мелкозернистой фосфоритной конгломерата
			10	Фосфориты с прослоями серицито-кремнистых сланцев
			5-20	Серицито-кремнистые сланцы
			3-6	Переставление серицито-кремнистых сланцев с фосфоритами
			4-10	Фосфориты кремнистые с прослоями фосфоритных конгломератов
			2-10	Переставление зернистых фосфоритов с кремнями
			4-5	Кремни темно-серые и серые крупнослистые и массивные
			6-10	Доломиты светло-серые, зеленновато-серые массивные
		Узакская		

Рис. 19. Сводная стратиграфическая колонка фосфоритонесущей толщи месторождения Коксу (по К. Т. Табылдиеву и др., 1970)

ская свита мощностью 1000 и более метров), сложнопостроенной чулактауской фосфоритонесущей свиты (мощностью в несколько десятков метров) и табактинской свиты, представленной известковистыми доломитами (мощностью 1500—2000 м) (рис. 19). На этом фоне чулактауская свита представлена двумя циклами, в ко-

торых отмечается максимальное накопление фосфоритов. Переходы к ним — постепенные, через переслаивание кремнистыми прослоями. Последнее образует своеобразную ритмичность.

На других месторождениях Каратауского бассейна основные черты циклического строения в общем сохраняются, хотя породы могут быть другие. Так, например, на месторождении Джанатас в основании крупного цикла лежат доломитизированные известняки с прослоями кремнисто-карбонатных сланцев, а сланцевая пачка, разделяющая фосфоритные, тоже содержит прослои фосфоритов. На месторождении Аксай она вообще исчезает. Но везде фосфатоносный горизонт подстилается кремнистыми породами, а завершается карбонатными.

Интересные обобщения по этому вопросу приведены в работе Э. А. Еганова и Ю. К. Советова (1979). Они сводятся к следующему (приведем их более подробно). В каратауской фосфоритоносной формации фосфориты приурочены к обоим «плечам» циклической кривой, причем наиболее богатые формируются при регрессивном характере процесса осадконакопления. Отмечается закономерность положения фосфатоносных отложений среди других, характерных для этой формации, расположенных как бы симметрично. Главная последовательность стратиграфического разреза (с. 168) следующая: нижняя терригенная толща — перерыв — базальные карбонатно-терригенные слои — мелководные доломиты — кремнефосфориты — кремнисто-глинистые сланцы — глубоководные (или пелагические) карбонаты. Эта последовательность может встречаться несколько раз, однако каждое месторождение имеет свою индивидуальность.

Палеогеографическая обстановка формирования фосфоритов — прибрежная зона моря, имевшего на некотором удалении от основной суши ряд поднятий — островов, расположенных цепочкой. Эти поднятия задерживали терригенный материал перед зоной фосфоритонакопления.

По мнению указанных авторов, в целом это погружающийся шельф. Каратауский цикл, которому принадлежат фосфориты, находится в трансгрессивной части скорее еще более крупного цикла. С нашей точки зрения, эту часть скорее следует считать «нейтральной», так как она переходная от регрессивного развития к трансгрессивному. Однако в других случаях, например, на Ухагольском месторождении (Семейкин и др., 1976), фосфоритонакопление идет на фоне регрессии, а разрез его (по Э. А. Еганову) является как бы «зеркальным отражением» Каратауского разреза. Как и в Каратауском бассейне, здесь намечается циклическая ритмичность нескольких порядков. Э. А. Еганов считает, что различия в циклическости разрезов зависят от «того — накапливались ли фосфориты при наступлении или при отступлении бассейна» (с. 167).

Интересно, что для ряда месторождений фосфоритов характерно накопление их «в два приема» — с образованием двух пачек (сложного строения), разделенных прослоем «пустых» пород. При этом одна из пачек представлена кластогенными фосфоритами, а другая афанитовыми (с. 167).

Резюмируя, Э. А. Еганов отмечает (с. 177), что «сопоставление разрезов разных бассейнов обнаруживает практически одну и ту же «главную последовательность» отложений пульсационного трансгрессирующего бассейна. При трансгрессии фосфориты отлагаются на шельфах во втором-третьем циклах, а в плане они расположены в промежутке между приливной литоралью и гемипелагической зоной. Мелкие же фосфоритовые образования (слойки, конкреции, фосфатные породы) появляются уже в первом цикле, а исчезать могут на один-два цикла позже главной фазы фосфоритообразования. Главная фаза чаще всего дает два продуктивных уровня (вследствие симметричности строения циклов), но неравноценных».

Однако рассмотрение фактического материала, приведенного другими авторами по иным месторождениям (например, Н. А. Красильниковой по месторождению Бел-Герир), показывает, что фосфоритоносный цикл содержит три горизонта фосфатонакопления, причем верхний и нижний — сложного строения, а средний — более простого, но более мощный.

По мнению Э. А. Еганова (с. 177), «циклическое строение фосфоритоносных разрезов указывает на то, что процесс фосфатообразования есть функция положения некоторой зоны в седиментологической структуре бассейна, т. е. факторами разрешающими и контролирующими минерализацию фосфатов являются в первую очередь глубины, расстояния от берегов, интенсивность движений среды, сочетания элементов топографии бассейна. Фосфориты есть одна из модификаций (фаций) отложений шельфа». Далее он пишет, что «тектоническая характеристика (типа «геосинклинальный», «платформенный») может относиться только к достаточно мощной толще и не реализуется на маломощных фосфоритовых пачках или свитах». Морфологические характеристики бассейнов для фосфоритоосаждающих зон сходны так же, как отложения пляжей в геосинклинальных и платформенных морях, различаясь только размерами в каком-то из направлений.

Цикличность и ритмичность фосфоритоносных отложений в ордовикских фосфоритах Ангаро-Илимского района привлекла внимание Р. К. Пауль (1980), которая на фоне цикличности в пестроцветной пачке мощностью 12—65 м выделяет ритмичность, представленную чередованием слоев: красноцветного аргиллит-алевритового внизу и сероцветного песчаникового вверху, причем наблюдается тенденция к изменению мощностей ритмов и их частей снизу вверх по разрезу. Иногда на границе этих двух членов

ритма присутствуют зернисто-ракушечные фосфориты. Количество фосфоритовых линз и прослоев больше в том случае, если красноцветная часть ритма меньше сероцветной.

В разрезе всей мамырской свиты Р. К. Пауль выделяет 3 цикла (изменчивой мощности — от единиц до десятков метров). На их границах фосфатонакопление максимальное. Общий уровень седиментации изменяется от морского мелководья в нижнем цикле, через переходную прибрежную зону до преимущественно пляжевой обстановки в верхнем. Таким образом, последовательные изменения общей фашиальной обстановки в этих трех циклах намекают цикл следующего порядка. Р. К. Пауль считает, что фосфориты приурочиваются к регрессивным или нейтральным частям разреза. Интересно отметить, что кривые изменения соотношения частей ритмов, построенные Р. К. Пауль снизу вверх по разрезу, выявляют ритмичность более высшего порядка, отвечающую, по ее мнению, элементарным циклам.

В. С. Аладжиев (1981) на основе фашиально-циклического анализа рассмотрел формирование вулканогенно-осадочной фосфоритоносной толщи на восточном крыле Восточно-Кокчетавского синклинория (Сев. Казахстан). В отложениях различного фашиального состава указанным автором выделено четыре литоцикла (рис. 20). Нижний (M_1) представлен отложениями лагун и имеет регрессивный характер. Он завершается углистыми аргиллитами. Второй (M_2) — трансгрессивного характера, сложенный морскими отложениями (от прибереговых до открытого моря). Пластовые фосфориты приурочены к карбонатным отложениям его средней части. В верхней части этого цикла залегают вулканыты, представленные тремя вулканическими ритмами. Третий цикл (M_3) В. С. Аладжиев относит к регрессивному типу. Однако, хотя он и сформировался в относительно более мелководной обстановке, но судя по размыву в основании и последующей направленности в смене фаций его тоже следует отнести к трансгрессивному типу, но с более сложным строением. Четвертый цикл (M_4) представлен грубообломочными осадками, по-видимому, континентального генезиса, а также продуктами эксплозивного вулканизма. В третьем и четвертом циклах отмечено наличие жильных фосфатов. Они приурочены к пластам туфов или вулканомиктовым песчаникам и не связаны с определенным местом в осадочном цикле. Наибольшее количество фосфатов содержится во втором и третьем циклах, для которых характерно оживление вулканической деятельности.

Ряд авторов указывают на то, что для процесса фосфоритообразования характерна его многэтажность в результате сложного взаимодействия биологических и палеогеографических факторов: таких, как продуктивность биоса, особенности циркуляции вод, многократные перемены осадка, а также диагенетическое перераспределение фосфора. Все это происходит на фоне различных

синхронных тектонических движений в области осадконакопления. Положение еще более усложняется в областях действия вулканизма, где предполагается эндогенный источник фосфора. Весьма вероятно, что «случайное» положение фосфора в осадочном цикле, не связанное с определенным местом в нем, может явиться одним

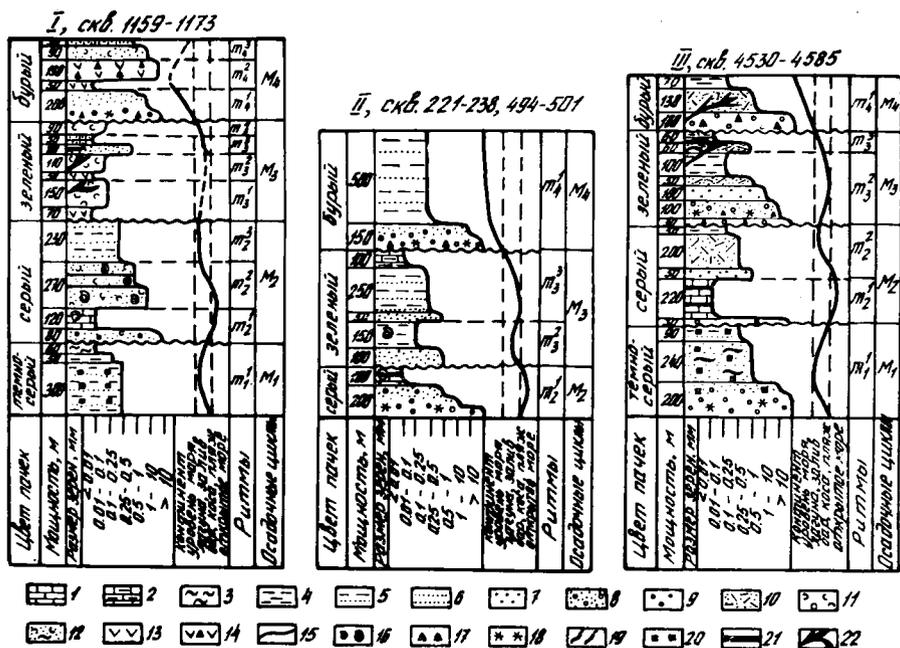


Рис. 20. Сводные литологические колонки вулканогенно-осадочных отложений Аксе-Байлюстинской зоны (по В. С. Аладжиеву, 1981):

1—111 — разведочные профили; 1 — массивные известняки; 2 — слоистые глинистые известняки; 3 — углесто-глинистые аргиллиты; 4 — алевролиты; 5 — переслаивание алевролитов-песчаников; 6 — мелкозернистые песчаники; 7 — крупнозернистые песчаники; 8 — гравелиты; 9 — конгломераты; 10 — вулканомитовые песчаники (вулканогенный материал перетолженный); 11 — пепловые туфы; 12 — грубозернистые туфы; 13 — лавы; 14 — лавобрекчин; 15 — кривая фациальных обстановок осадконакопления; 16 — морская фауна; 17 — галька известняков; 18 — включения; 19 — линзы иных пород; 20 — тонкорассеянный пирит; 21 — межпластовые фосфаты (более 10 % пятиокиси фосфора); 22 — жильные фосфаты (менее 10 % пятиокиси фосфора)

из дополнительных указаний на его эндогенное происхождение.

Резюмируя изложенное выше, можем сказать, что фосфатоносным толщам свойственна многопорядковая цикличность и ритmicность:

1) ритмы как внутри фосфатной пачки, так и в отложениях, предшествующих фосфатонакоплению и последующих за ним. Для некоторых отложений ритmicность очень характерна, в других отсутствует. Кроме того, отмечается микроритmicность в фос-

фатовом слое. Таким образом, наблюдается ритмичность двух, иногда трех порядков;

2) литоциклы 1-го порядка с одной пачкой фосфоритов (сложного или простого строения);

3) литоциклы 2-го порядка — фосфатоносный горизонт, включающий несколько пачек фосфоритов;

4) литоциклы 3-го порядка, образуемые направленной сменой свит, представленных разными породами. В них фосфатоносный горизонт занимает среднюю, нейтральную часть этого крупного цикла.

Литоциклы могут быть как полные, содержащие обе части, так и асимметричные, представленные лишь одной частью, или же одна из них значительно меньше другой.

В литоциклах 1-го и 2-го порядков фосфориты тяготеют к нейтральным частям, они могут быть приурочены к концу регрессивного ряда фаций и к началу трансгрессивного их ряда. Но при этом максимальное фосфатонакопление как бы «прижимается» к перегибу циклической кривой, иногда располагаясь на двух ее «плечах».

Палеогеографическая обстановка всегда морская, преимущественно шельфовая. Фации, связанные с фосфатонакоплением, различны. Они обуславливаются соотношением разных факторов формирования осадков. Тектонические обстановки, в которых формируются промышленные месторождения фосфатов, могут быть очень широкого диапазона — от типично платформенных до геосинклинальных. С этим связан ряд особенностей состава и строения частей литоцикла.

2.3.5. Горючие сланцы

Цикличность здесь в основном обусловлена чередованием органических отложений — большей частью карбонатных и углеродистых. Рассмотрим ее на примере платформенных среднеордовикских кукерситов Эстонии и верхнеюрских горючих сланцев Поволжья.

Для среднеордовикских отложений Эстонии вообще характерно многократное появление в толщах известняков слоев горючих сланцев. Наиболее богат ими кукрузеский горизонт. Здесь в промышленной пачке горючих сланцев мощностью от 2 до 4 м С. С. Бауковым (1956) были выделены три ритма сходного строения (рис. 21, а). Нижняя часть ритмов (сохраняем терминологию С. С. Баукова) представлена слоем кукерсита. Это мергелистая порода, обогащенная органическим веществом, причем соотношение карбоната кальция, органического вещества и терригенного компонента бывает различным и закономерно изменяется: карбонатность возрастает в западном направлении, количество терри-

генного материала — в восточном, а органического вещества — в центре бассейна, где возрастает также и его абсолютное содержание. В слое кукурсита присутствуют прослои, линзы и комки ор-

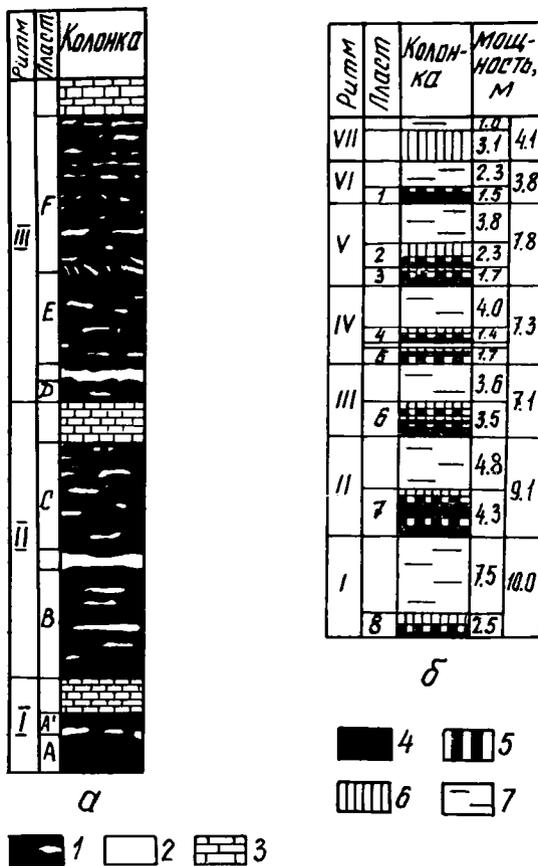


Рис. 21. Ритмичность (цикличность) горючих сланцев (по С. С. Баукову, 1956):

a — месторождения Эстонии; *b* — Озинское месторождение Поволжья; 1 — горючий сланец — кукурсит; 2 — известняк органогенный биоморфный; 3 — известняк афанитовый; 4 — горючий сланец; 5 — горючий сланец глинистый; 6 — горючий сланец сильноглинистый; 7 — глина мергелистая и мергель

ганического известняка, количество которых возрастает снизу вверх по слою. Завершаются ритмы афанитовым известняком. Общая протяженность отложений, содержащих горючие сланцы, около 400 км вдоль береговой линии древнего моря и более 100 км в поперечном направлении. Ритмы, хотя и хорошо прослеживаются на площади, но изменяются по мощности (табл. 2).

Малая мощность ритмов обуславливается медленным темпом накопления осадков и значительным последующим уплотнением слоев, содержащих органическое вещество. Нарастание мощностей ритмов снизу вверх по разрезу происходит за счет увеличения сланцевого компонента. Изменение их на площади также происходит за счет сланцевых пластов, тогда как мощности известня-

Таблица 2

Характеристика отложений кукрузеского горизонта
(по С. С. Баукову, 1956)

Ритм	Пласты сланцев	Завершающий слой известняка	Мощность ритмов
III (верхний)	D + E +	Выше пласта F C/D	От 2,1 м на западе до 0,7 м на востоке
II (средний)	+ F B + C		
I (нижний)	A + A ¹	A ¹ /B	От 1,5 м в центре до 0,6—0,7 м на востоке и западе От 0,5 м в центре до 0,2—0,3 м на востоке и западе

ков меняются незначительно. Аналогичная ритмичность была выделена и на месторождениях Ленинградской области, причем ритмы, хотя и меньшей мощности, прослеживаются и сопоставляются достаточно отчетливо. Выше промышленной пачки в кукрузеском горизонте (см. рис. 21, а) сформировался еще ряд ритмов, но уже со значительно меньшими сланцевыми прослоями и с нарастающим карбонатонакоплением.

На востоке Русской платформы имеется ряд месторождений горючих сланцев Поволжья юрского возраста. Сланценовые горизонты здесь также построены ритмично. Ритмы имеют мощность, измеряемую от долей метра до первых метров (Матвеев, 1960). Они представлены в основном чередованием пластов горючих сланцев с глиной и мергелем. С. С. Бауковым (1956) показана ритмичность на Озинском месторождении, где верхнеюрская сланценовая толща мощностью около 50 м состоит из 7 ритмов (рис. 21, б). В основании каждого из них залегает пласт горючего сланца, который кверху, через глинистый горючий сланец и глину, обогащенную органическим веществом, постепенно переходит в мергелистую глину и мергель. При этом контакты между мергелем и вышележащим горючим сланцем обычно резкие. Мощность ритмов от 4 до 10 м, пластов сланцев в пределах от 1 до 4,5 м.

Сравнение состава и строения сланценовых толщ и формируемых ими «ритмов» позволили С. С. Баукову установить некоторые общие (или, во всяком случае, сходные) закономерности

для формирования горючих сланцев на дне мелкого эпиконтинентального моря на окраинных частях платформы (независимо от их возраста).

1) Условия осадконакопления в платформенных неглубоких морских бассейнах при относительно устойчивом уровне моря. Горючие сланцы формируются при минимальных глубинах последнего, пласты известняка — при их возрастании. Ритмы имеют трансгрессивный характер.

2) Причины появления ритмичности, по мнению С. С. Баукова — колебательные движения, изменявшие условия седиментации в связи с изменением глубин. Он считал, что эти колебательные движения «происходят в условиях, когда нет ни преобладающего погружения, ни преобладающего поднятия, как бы в условиях относительного покоя, который наступает при перемене знака погружения на поднятие, и на этом фоне они, т. е. колебательные движения, приобретают пульсирующий характер» (с. 98).

3) Установлена устойчивость и выдержанность ритмов, особенно вдоль предполагаемой древней береговой линии моря.

4) Отложения горючих сланцев занимают достаточно большие площади при относительно небольшой мощности.

5) Фауна морская и весьма разнообразная.

6) Отмечается наличие ряда поверхностей размыва, особенно на границе известняка и вышележащего сланца.

7) Ритмическое строение сланценосных толщ выражается в правильно повторяющейся смене двух основных элементов: в Прибалтике — сланец-известняк, в Поволжье — сланец-глина (с постепенным переходом от одного к другому). При этом нижняя граница сланцевых пластов обычно резкая, часто с размывом, что указывает на быструю смену условий седиментации, а иногда — и на перерывы в накоплении осадков.

Мы считаем, что ритмы, выделенные С. С. Бауковым, по сути являются литоциклами, так как обладают всеми основными признаками последних. По строению — это гемциклы трансгрессивного типа (регрессивная часть отсутствует). При этом в кукерситах в среднем и верхнем литоциклах намечаются подчиненные им сублитоциклы *B* и *D*, завершающиеся менее мощными и менее выдержанными органогенными биоморфными известняками, образующими слои с неровными границами или горизонты скопления линз и комков известняка, которые также прослеживаются в пространстве, хотя и значительно хуже, чем завершающие ритм афанитовые известняки. Подчиненные литоциклам сублитоциклы видны и на Озинском месторождении Поволжья, где они выражены в пластах горючих сланцев сменой сланцев разной степени глинистости. Помимо перечисленного в слоях кукерсита, особенно в верхнем литоцикле, намечается подчиненная неотчетливая ритмичность в результате сильных постседиментационных изменений.

В частности, в верхней части слоя *F* отмечено множество мелких известняковых комков, ориентированных послойно, но не образующих четких уровней.

Формирование горючих сланцев фиксируется началом трансгрессивного ряда отложений в литоцикле. Кроме того, накопление толщи как кукерситов, так и горючих сланцев Поволжья скорее всего приурочено к средней части крупного седиментационного цикла более высокого порядка. Но конкретным материалом такого исследования мы не располагаем.

2.4. Литоциклы в отложениях разного состава, сформированных в морской и океанической, часто глубоководной, обстановках

Будучи определенными индикаторами геотектонического режима и палеогеографической обстановки, данные толщи издавна являются объектами пристального внимания, но изучение их нередко велось вне зависимости от особенностей внутреннего строения.

2.4.1. Собственно геосинклинальные отложения

Цикличности в этих толщах до сих пор уделялось недостаточно внимания, а между тем она имеет свои специфические особенности. На это обратил внимание Н. А. Азербасв (1979). Он рассмотрел разрез геосинклинальных отложений ордовика в Чу-Илийских горах (Центральный Казахстан) с точки зрения фациального состава и направленного изменения фаций во времени (рис. 22). Здесь им было выделено три крупных литоцикла мощностью (снизу вверх) 173, 810 и 500 м.

Нижний литоцикл, наиболее сложный по составу, имеет наименьшую мощность и связан с наименьшим прогибанием. Начинается он с галечно-гравийно-песчаных отложений подводной дельты, сменяющихся прибрежными мелководными песчано-карбонатно-алевритовыми отложениями. Верхняя часть цикла представлена неравномерно чередующимися слоями алевролитов и песчаников мелководной зоны течений и волнений. Завершается этот цикл поднятием, выведшим область седиментации в мелкую прибрежную часть моря, где накопление галечников фиксирует начало нового цикла.

Во втором цикле за галечниками следует сложное переслаивание различных песчано-алевритово-карбонатных осадков мелководной прибрежной части моря. На смену им приходит мощная толща песчано-алевритовых осадков (мощность слоев — единицы

метров), формирование которых происходило в спокойной обстановке неглубокого моря — очевидно, в средней части шельфа на глубинах 30—50 м. То, что эти довольно однообразные мелководные отложения накопились толщей в несколько сотен метров, указывает на устойчивое и продолжительное прогибание, причем его скорость компенсировалась скоростью накопления осадков. Завершается второй цикл поднятием, с которым связаны размыв и выпадение части разреза (возможно в том числе уничтожение регрессивной части этого цикла).

Третий цикл начинается выше поверхности размыва галечниками мелководной прибрежной части моря. Мощность их достигает 230 м. Далее идут известково-алевроитово-песчаные осадки мелкого моря, сменяющиеся известняками тоже мелководной, но более удаленной от берега части моря (в том числе биогермные известняки). Заканчивается цикл мелководными песчаными и алевроитовыми отложениями. По Н. А. Азербаяеву, все три литоцикла построены одинаково: имеют асимметричное строение и состоят из трансгрессивного ряда отложений. Возможно, что верхняя часть верхнего (а может быть и нижнего) цикла по направленности изменения фаций представляет собой уже регрессивную часть литоцикла, несмотря на продолжающееся прогибание.

Н. А. Азербаяев считает, что «цикличность в геосинклинальных отложениях Чу-Илийских гор, по сравнению с таковой в краевых прогибах, в авлакогенах и на платформах характеризуется следующими особенностями: преобладанием морских, присутствием переходных и отсутствием континентальных отложений, большей длительностью циклов и большей амплитудой прогибания, чем обусловлена большая мощность циклов, а также трансгрессивным рядом фаций в циклах и асимметричным характером последних» (1979, с. 670). Смена фаций, по его мнению, в основном происходила во времени вследствие направленности развития геосинклинали. Вполне вероятно, что на фоне этих выделенных крупных циклов развивались подчиненные им циклы низших порядков (или же ритмы), но имеющийся материал не дал возможности для их выделения и прослеживания.

Из приведенного выше примера мы можем сделать вывод, что для геосинклинальной обстановки характерно накопление боль-

лечно-гравийно-песчаных осадков подводной части дельты, 11 — галечных осадков мелкой прибрежной части моря, 12 — известково-алевроитово-песчаных осадков мелкого моря, 13 — песчано-алевроитово-карбонатных осадков мелкой прибрежной части моря, 14 — известковых осадков мелкой, удаленной от берега части моря, 15 — песчано-алевроитовых осадков мелкого моря, 16 — алевроитово-песчаных осадков относительно неглубокого моря (зона частых течений и волнений), 17 — песчано-алевроитовых осадков относительно неглубокого моря (зона редких и слабых течений)

шой мощности отложений одной и той же фации благодаря устойчивости фациальной обстановки при примерно равном соотношении скоростей прогибания и осадконакопления. С другой стороны, если скорость накопления осадков превосходит скорость прогибания, то образуется более или менее мощная толща регрессивного ряда отложений.

Так, например, в Байконурском прогибе в отложениях ордовика Н. А. Азербаетым (1987) описано однонаправленное изменение фаций. На смену известнякам кокбулакской свиты верхнего кембрия приходят отложения карасуирской свиты ордовика, представленные толщей глинистых и кремнистых пород (в том числе кремнисто-глинистыми ритмами), переслаивающихся с известняками и аргиллитами в основании. Выше лежат мощные (1830 м) отложения дулыгалинской свиты, представленной в основном алевритистыми аргиллитами и алевролитами с линзами песчаников. Они сменяются толщей мощностью около 3000 м, представленной алевролитами, чередующимися со слоями песчаников мелководно-морского генезиса; в верхней части ее появляются граувачковые песчаники.

Здесь мы видим очень большую мощность цикла регрессивного типа, сформировавшегося на фоне длительного прогибания с перекompенсацией его осадками. Видимо, это цикл какого-то высшего порядка, на фоне которого существовали не выявленные более мелкие циклы низших порядков (или же ритмы), обусловленные чередованием слоев пород, не только разного состава, но и разных генетических типов, формирующихся при неизменности общей фациальной обстановки за счет изменения условий седиментации. Кроме того, отмечаются породы типа ритмитов.

Общим для обоих примеров является очень большая мощность как литоциклов, так и отложений одной и той же фации, формирующейся при длительном существовании однообразной палеогеографической обстановки при одновременном прогибании, компенсируемом осадками. Кроме того, наблюдается чередование кратковременных фациальных условий, когда накопление отложений, измеряемых метрами, происходило в длительно существовавших фациальных обстановках, с образованием толщи много фациального состава в несколько сотен метров. Это отличает геосинклинальные отложения от платформенных и краевых прогибов, где мощности различных фаций соизмеримы (колеблясь в пределах до десятков метров).

Направленность изменения фаций зависит от соотношения скоростей прогибания и осадконакопления. При большей скорости последнего (и, следовательно, перекompенсации) формируется регрессивный ряд фаций, при недокомпенсации фации будут изменяться в сторону все более и более глубоководных, т. е. образуют трансгрессивный ряд. Границы циклов определяются подня-

тиями (или замедлением погружения), а в некоторых случаях — резким усилением поступающего в бассейн материала. При этом следует четко различать регрессивную или трансгрессивную смену фаций и трансгрессивный характер развития прогиба (как мы видели, на фоне последнего может возникать регрессивный ряд).

Понятно, что на других участках геосинклиналей, например, на поднятиях дна, выявятся свои особенности циклической седиментации. Несколько иные черты строения циклов свойственны геосинклинальным осадкам, накапливающимся на больших глубинах. Кроме того, отложения прогибов и трогов, в которые поступают суспензионные мутовые или зерновые потоки, имеют свою ритмичность (циклическость) осадконакопления, определяемую поступлением извне чуждого данной области материала. Наконец, исследования геосинклинальных отложений, связанных с вулканизмом, обнаруживают еще более сложную картину их циклического строения. Многие возникающие в связи с этим вопросы ждут своего дальнейшего решения.

2.4.2. Океаническая седиментация

Для восстановления условий формирования отложений геосинклиналей прошлого, в том числе их стратификации, большое значение имеет изучение молодых и современных глубоководных морских и океанических осадков.

Сравнение терригенных отложений, сформированных в тех и других условиях, проведено И. В. Хворовой (Хворова, 1978, 1984; Хворова, Руженцев, 1985, 1986 и др.). Основное внимание она уделила их составу. Это понятно, так как в древних отложениях мы видим вещественный состав и смену их во времени, в современных — вещественный состав и преимущественно их взаимоотношения на площади. Для последних выявлены также формирующие процессы. И. В. Хворова (1984) считает, что для терригенных обломочных отложений, как современных океанических, так и геосинклинальных (разного возраста), весьма характерными являются турбидиты. Карбонатонакопление, по ее мнению, имело в этих условиях много сходных черт, но и ряд различий. Что же касается кремненакопления, то оно в палеозойских геосинклинальных бассейнах принципиально отличается от таковых в современных океанах.

Изучение океанического и глубоководного морского осадконакопления, проведенное в последние десятилетия, выявило особенности как механизма образования отложений, так и их внутреннего строения; в частности, наметилась специфичность циклического накопления осадков в различных условиях.

Морские и океанические осадки формируются, грубо говоря,

двумя основными факторами: непрерывно идущим осадконакоплением, состав которого определяется внутренней жизнью данного водного бассейна и его окружения, имеющей свою периодичность, и нарушением этого процесса действием потоков и течений разного происхождения. Многочисленные примеры этого приведены в ряде статей сборника «Циклическая и событийная седиментация» (1985), где показано место действия разных течений и особенности циклов, формирующихся в той или иной зоне. В статье, резюмирующей данный материал, Г. Эйнзеле и А. Зейлахер высказывают мнение, что для больших глубин в основном характерна цикличность, создаваемая течениями, преимущественно мутевыми с образованием ритмичности типа турбидитов. Последние особенно характерны для конусов выноса и их окружения. Однако в удалении от последних идет своя пелагическая седиментация, в которой также наблюдается цикличность.

В. П. Поповым (1985) приведены разрезы осадков по 26 колонкам из западной части центральной котловины Индийского океана (глубины 4400—4550 м). Автором показано, что «осадочный процесс в течение плиоцен-четвертичного времени испытывал циклические изменения, выразившиеся в последовательной смене различных типов седиментогенеза — гемипелагического, миопелагического и биогенного кремнистого» (с. 16). В основу выделения осадков был положен генетический принцип. Ритмичность осадков обуславливается неоднократно повторяющейся строго выдержанной последовательностью фациальной смены определенных вещественных и генетических типов осадков.

Эта повторяемость описана в осадках разного состава: терригенно-карбонатных и терригенно-кремнистых. В последних, формируемых ниже критической глубины карбонатакопления, выделены ритмы по смене гемипелагических глин миопелагическими, а затем кремнистыми осадками (в результате расширения пояса биогенного кремнеаккумуляции). Мощности ритмов изменчивы — от десятков сантиметров до нескольких метров. Они могут состоять из разного количества элементов ритма (2—5), но имеют одинаковую направленность изменения условий седиментации. Автор считает строение этих ритмов сходным с флишем; нам кажется, что, учитывая малую скорость накопления осадков и механизм их формирования в результате изменения фациальных условий (что отличает их от флиша), элементы данного разреза следует считать настоящими литоциклами 1-го порядка, по-видимому, трансгрессивного типа, тем более, поскольку и автор полагает, что каждый цикл связан с «определенным этапом в развитии земной коры, сопровождающимся усилением вулканической деятельности» (с. 34). Их малая мощность зависит от темпов осадконакопления.

И. В. Хворова (1978) выделила в разрезах океанических осад-

ков ритмы разного рода, характерные для стратифицированных единиц (рис. 23).

1) Чередование пород в зерновых потоках (флуксотурбидиты), мощность пластов — 0,5—3 м (более мощные могут возникать в результате суммирования менее мощных). Этот тип встречен в от-

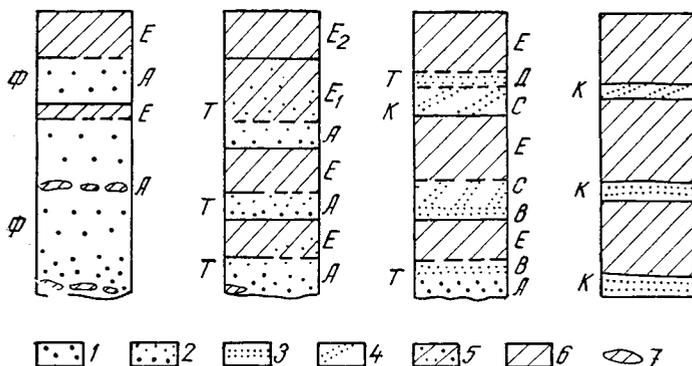


Рис. 23. Строение стратификационных единиц океанических разрезов (по И. В. Хворовой, 1978):

1 — пески массивные; 2 — пески и алевролиты с градационным строением; 3 — мелкие пески и алевролиты горизонтально-слоистые; 4 — то же, но с потоковой слоистостью; 5 — алевролитистые пелиты; 6 — пелиты; 7 — скопления глинистой гальки; А — Е — интервалы «турбидитной» модели; Е₁ — «турбидитная глина»; Е₂ — однородная пелагическая глина; Ф — флуксотурбидиты; Т — турбидиты; К — контуриты. Сплошные линии — резкие границы между слоями; пунктир — постепенные переходы

ложениях каньонов и проксимальных частей веерных долин на больших глубинах.

2) Результат чередования сокращенных ритмов турбидитов с нормальным пелагическим осадком. Мощность слоев от 2—3 до 40 см. Они встречены в отложениях каньонов, вееров, трогов, глубоководных желобов и котловин.

3) Ритмы более сложного строения. Это неполные турбидитовые ритмы (см. ниже). Возможно, что их более мелкозернистые различия относятся к контуритам. Такая стратификация встречается в отложениях подводных конусов выноса, трогов, желобов, на территории батимальных и абиссальных котловин.

4) Ритмы простого строения, относящиеся к контуритам (или дистальным турбидитам), чередующиеся с тонким пелитовым осадком. Мощность слоев от первых миллиметров до 5—10 см. Развита в пределах дистальных частей вееров, в междолинных участках, в трогах и желобах, в батимальных и абиссальных котловинах.

5) Алевропелитовые ритмы. Толщина слоев чаще изменяется миллиметрами, реже — первыми сантиметрами. Эти ритмы, по

мнению И. В. Хворовой, характерны для отложений контуритов, встречаются они на абиссальных равнинах в дистальных частях вееров, в желобах и трогах. Их также можно ожидать на материковых склонах (?) и там, где проходят глубинные течения.

Рассмотренные стратификационные единицы могут быть встречены в одних и тех же разрезах и замещаться латерально. Очевидно, их периодическую смену можно рассматривать как особую цикличность, формируемую в одной обстановке в результате изменения механизма подачи материала.

Большое внимание морской и океанической седиментации, но с иных позиций, уделил А. П. Лисицын (1983—1986). Он выделил особый тип *лавинной седиментации*, которую рассматривает на нескольких уровнях. Верхний уровень — на границе моря и суши, это дельтовое осадконакопление (см. п. 2.2.6.). Средний уровень — у подножия континентального склона, это оползни, грязевые потоки, подводные конусы выноса каьонов. Нижний уровень — отложения глубоководных желобов.

Для всех них (особенно для второго и третьего) характерно чередование периодов седиментации «ураганными темпами» с периодами замедления или прекращения подачи осадочного материала, а иногда и некоторого размыва осадков. В эти периоды формируются различные отложения, а чередование последних образует цикличность осадконакопления. По мнению указанного автора, главная часть осадочного вещества Земли накапливалась и накапливается на двух первых уровнях.

Вместе с тем области лавинной седиментации занимают относительно небольшие площади. Главная часть поверхности дна морей и океанов (около 85—90 %) относится к областям нормальной (не лавинной) седиментации с дефицитом осадочного материала. В глубоководной обстановке — это область пелагиали. Здесь накопление осадочного вещества (в отличие от областей лавинной седиментации) идет замедленными темпами, но преимущественно непрерывно. Последнее нарушается иногда не столько размывами, сколько перерывом из-за отсутствия осадочного материала. Прерывность и цикличность характерна для отложений всех трех уровней: дельт, подводных конусов выноса, желобов. Но надо сказать, что изучение цикличности в отложениях лавинной седиментации еще только начато.

А. П. Лисицын выделяет на первом — третьем уровнях цикличность осадочного процесса разного масштаба: глобальную, региональную и локальную.

Глобальная цикличность — одновременная для всего Мирового океана — определяется изменением его уровня, которое может быть значительным. Это изменение, по мнению А. П. Лисицына, регулируется скоростью спрединга, т. е. причиной тектонической, или же явлениями оледенений, т. е. причиной климатической.

А. П. Лисицын на материале по изучению отложений в районе Западной Австралии приводит сопоставление крупных циклов, время фиксирования которых измеряется 1—2 десятками миллионов лет и соответствующих по возрасту палеоцену, эоцену и позднему олигоцену — среднему миоцену; он связывает их с глобальными изменениями уровня океана (на 100—200 м по сравнению с современным), а также и с более мелкими. Это сопоставление выявило очень важное обстоятельство: в то время как на верхнем уровне (в дельтах) идет лавинное осадконакопление, на втором наблюдаются перерывы, и наоборот, перерыву на верхнем уровне отвечает осадконакопление на втором, среднем. Таким образом, синхронные циклы седиментации разных уровней находятся в противофазах. Эта закономерность в корне отличается от описанной выше основной закономерности образования литоциклов: общей направленности изменения синхронных литоциклов.

На втором уровне лавинной седиментации мощность формирующихся толщ достигает больших значений (до километров). Перепады высот очень велики, крутизна склона — 4° и более. Рыхлый обводненный осадок на склонах, близких к углу естественного откоса, накапливается до достижения критической массы, после чего происходит срыв блока и его движение вниз по склону к основанию последнего. Это могут быть оползни (медленно смещающиеся) или лавины (движущиеся с большой скоростью). Данный процесс сопровождается взмучиванием, причем возникшая плотная суспензия может нести крупные обломки (аналогично селю). Такие условия перемежаются с периодами нормальной седиментации. А. П. Лисицын считает, что «прерывистость и цикличность — важнейшие особенности осадочных образований этого уровня».

Надо заметить, что области лавинной седиментации второго уровня характеризуются большими массами осадков, накапливающихся за небольшой срок. Поэтому в цикле, состоящем из двух фаз (осадок — перерыв), время каждой фазы может быть различным. Это относится к циклам регионального и локального значения, формирующимся под воздействием различных факторов. Фазы глобальной цикличности, по А. П. Лисицыну, более равномерны.

Формирование циклической лавинной седиментации тесно связано с осадконакоплением в пелагической области. С одной стороны, поступление массы осадка на второй и третий уровень вызывает дефицит осадочного материала, поступающего в пелагиаль. Но, с другой стороны, при массовом перемещении осадочного вещества к основанию склона или в желоба часть его переходит во взвесь, которая проникает в пелагиаль. Кроме того, биогенные элементы, поступающие в воду, приводят к росту биогенной седиментации. Так формируются и терригенная, и биогенная составляющие литоциклов пелагиали. Синхронные циклы второго уров-

ня в пелагических осадках имеют однонаправленное изменение фаций, хотя могут отличаться по составу и масштабу.

Для региональных и локальных циклов областей лавинной седиментации главное значение имеют периодические срывы со склонов масс осадочного материала при его накоплении свыше критического состояния либо в результате сейсмических явлений, нарушающих устойчивость осадка, либо, наконец, под воздействием сильных штормов и ураганов.

С нашей точки зрения такие факторы, как сейсмические толчки и ураганы, вызывающие региональные и локальные циклы, следует относить к аллоциклическим процессам. Автоциклическими можно считать в основном лишь те, которые происходят в результате скольжения осадка по склону, под влиянием силы тяжести и неустойчивого равновесия на склоне. В перемещенном осадке их, естественно, далеко не всегда можно различить. Можно лишь предположить, что первые будут иметь более региональное значение, а оползневые — более локальное.

Климатические изменения приводят к возникновению крупных региональных изменений в осадконакоплении и даже к перерывам накопления карбонатных отложений в пелагиали в результате появления холодных придонных вод и придонных течений. В связи с этим изменяется критическая глубина карбонатного осадконакопления, что приводит к чередованию карбонатных и глинистых осадков. Последнее может являться результатом изменения климата, а не чередования относительно более глубоководных и более мелководных условий. Надо заметить также, что в аридных зонах возникает значительно меньше осадочного материала, поступающего на глубину. Следовательно, мощности литоциклов здесь будут меньше, чем в аналогичной морской обстановке гумидных зон.

Наложение различных факторов, влияющих на особенности осадконакопления на больших глубинах, затрудняет определение основных причин, их вызывающих, и в частности причин цикличности.

Цикличность современного осадконакопления в глубоководных желобах (третий уровень лавинной седиментации) практически еще не изучена. Однако в разрезах древних толщ нередко можно встретить отложения этого третьего уровня. И здесь они имеют большое значение. В общем отложения желобов характеризуются чередованием тонких пелагических и более грубых обломочных осадков. Надо полагать, что и здесь «спусковой механизм» подачи материала может подчиняться определенной периодичности. Последняя может быть связана с изменением глубины осадконакопления вследствие усиления погружения дна (или его замедления), за счет подачи в желоб вулканогенного материала или за счет периодического поступления в желоб мутевых потоков как из

близлежащих каньонов, так и возникающих в результате оползания осадков, накапливающихся на склонах желоба.

В осадках Эллинийского желоба (глубина более 4,6 км), пересеченных двумя скважинами на глубину до 500 м, в верхней части разреза И. В. Хворова (1978) отметила трехчленные асимметричные ритмы (песок — алевроит — мергель, с постепенными переходами). Мощность слоев (элементов ритма) — в среднем от 30—40 см до 2,5 м.

В океанах, кроме желобов, известны многочисленные трогги, частично связанные с разломами. Цикличность их практически не изучена. Таким образом, цикличность этой области осадконакопления может быть освещена преимущественно по геологическим разрезам образований, связанным с накоплением осадков в трогах и прогибах разного возраста.

Лавинная седиментация осуществляется не только в океанах, но и в морях. Она, очевидно, имела место и на протяжении всего геологического времени на всех трех уровнях.

При высоких скоростях седиментации сохраняется большое количество органического вещества, что приводит к его активному перераспределению в диагенезе. В результате к областям лавинной седиментации приурочены большие концентрации органического вещества и связанных с ним скоплений нефти, газа и других полезных ископаемых. Поэтому при изучении особенностей осадков всех трех уровней необходимо уделять больше внимания выделению конкретных литоциклов разного ранга, выявлению их специфических особенностей, а также их сходства и различия с литоциклами, формирующимися в более изученных обстановках — континентальных и мелководно-морских. Особое внимание должно уделяться выявлению приуроченности различных полезных ископаемых к определенным частям литоциклов локального, регионального и глобального масштабов.

Многочисленные материалы различных исследований показали, что в лавинном седиментационном процессе участвуют различные генетические типы отложений. Их сводка в виде табл. 3 дана Б. А. Соколовым и А. И. Колюховым (1985). Каждый генетический класс, по-видимому, имеет свою «собственную» цикличность (или же ритмичность), обусловленную различными факторами. Наложение их может образовать цикличность высших порядков. Детальное описание и номенклатура этих литоциклов — дело будущего.

Ряд примеров океанических циклов по работам зарубежных авторов приведен С. И. Романовским (1985, с. 180—183). Он отмечает, что одной из причин цикличности здесь может быть изменение глубины дна и перерывы в осадконакоплении в связи с опусканием ниже уровня карбонатакопления (глубины 4000—4500 м). Тогда, в отличие от накопления на суше и в прибрежно-

морских условиях, перерывы могут быть связаны не с поднятием, а с опусканием области осадконакопления. Это надо учитывать при определении типа цикла. Имеют также значение колебания

Таблица 3

**Генетические типы морских отложений
в зонах лавинной седиментации на материковых окраинах
(по Б. А. Соколову и А. И. Конюхову, 1985)**

Класс	Тип
<i>Аллохтонная группа</i>	
Тидалиты (осадки приливо-отлив-ного генезиса)	Разнообразные отложения с текстурами «птичий глаз». Оолитовые образования и так называемые грейпстоуны. Арагонитовые игольчатые и пеллетовые илы Пляжевые образования и бичроки. Отложения баров, кос, валов в прибрежной части шельфа Пески подводных дюн и гряд во внешней части шельфа. Пески и илы в составе валов и валообразных поднятий на подножии (контуриты). Гемипелагические илы Отложения подводных осыпей. Подводно-оползневые образования и олистостры Дебриты и осадки мад-флоу. Кластолиты. Турбидиты Отложения подводных пепловых лавин
Ондолиты (осадки волнового происхождения)	
Карениты (осадки придонных и поверхностных океанских течений)	
Гравиты (осадки гравитационного происхождения)	
Гравикарениты (осадки подводных потоков вещества) Вулканиты	
<i>Автохтонная группа</i>	
Биолиты	Коралловые и другие рифы. Ракушечники. Водорослевые биогермы (в том числе строматолиты) Эвапориты (различные соли и карбонаты). Корки и конкреции. Глаукониты*. Гидрогетитовые стяжения. Цеолитовые осадки*
Хемолиты (осадки хемогенного происхождения)	

* Осадки из зон регионального апвеллинга.

скорости наложения биогенного материала (карбонатного и кремнистого), климатические изменения и, как показано выше, периодическая подача материала различными течениями.

2.4.3. Отложения мутевых течений

Как мы видели, большое значение имеют отложения суспензионных, или мутевых, турбидных течений — *турбидиты*. Они обнаружены как в ряде обстановок современных морей и океанов, так

и в ископаемых морских отложениях разного возраста. Хотя они стали изучаться сравнительно недавно, по ним уже накопилась обширная литература, причем везде отмечается характерная стратификация, представляющая собой серию ритмов, более или менее

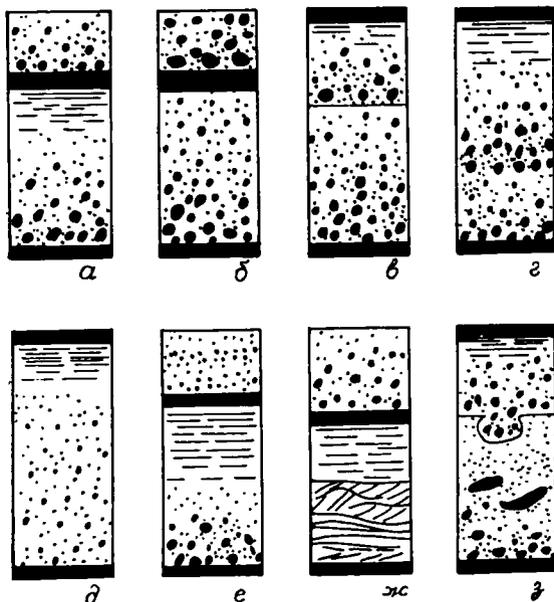


Рис. 24. Различные типы сортированной слюности, характерной для мутевых течений (по Ф. Кюену — Kuenen, 1953):

a — идеальный случай; *b* — тонкозернистая верхушка сортированного слоя отсутствует; *в* — отсутствуют глубоководные тонкозернистые осадки (возможно, смыты); *г* — повторяющаяся сортировка в одном слое; *д* — нижняя часть слоя не сортирована; *е* — сортированный слой имеет тонкую слоистость; *ж* — иногда возникающая косая и косоволнистая слоистость течения (штриховка) в тонкозернистом осадке; *з* — знаки нагрузки верхнего слоя на нижний, в последнем — глинистые гальки. Черной полосой отмечены глубоководные тонкозернистые осадки. Точками разного размера показаны осадки разной зернистости и их изменение снизу вверх

сходно построенных: обычно от более грубозернистого материала внизу до более тонкого вверху ритма. Лишь в некоторых редких случаях (при разжижении верхней части потока) может возникнуть грубозернистый материал в середине ритма. Кажущееся поглубение в середине ритма может возникнуть также в результате размыва и уничтожения верхним потоком всей тонкозернистой части нижнего ритма. Мощность ритмов в среднем измеряется десятками сантиметров, реже достигает 1—2 м. Вместе с тем в раз-

ных ситуациях ритмы мутевых потоков приобретают несколько различные черты их внутреннего строения. Это было показано Ф. Кюенем (Kuenen, 1953) — рис. 24. Разновидности ритмов определяются выпадением из разных частей мутевого потока, уклоном дна, частотой следования одного потока за другим, глуби-



Рис. 25. Совершенный турбидитный цикл А. Боума и интерпретация осадков с позиций изменения режима потока (по Р. К. Селли, 1981):

А — массивные пески; В — слоистые пески; С — косо-слоистые пески; D — слоистые алевролиты и пески; E — слоистый ил

ной разгрузки и степенью разжижения потока. Исходным материалом для возникновения турбидитов является рыхлый материал, накапливающийся на склонах. По мере движения вниз он пополняется водой и становится все более текучим. Этим объясняется отчасти различие строения ритмов проксимальной и дистальной частей мутевого потока.

А. Боума (Bouma, 1962) предложил идеальный разрез турбидитного ритма, выделив в нем пять зон (рис. 25), о которых теперь упоминают почти все исследователи. Однако он оговаривается, что в природе та или иная часть ритма может выпадать и такая полная последовательность — скорее исключение, чем правило.

По А. П. Лисицыну (1986), выпадение нижних членов бывает постепенным и связано с исчерпанием запаса (а нередко и с отсутствием) крупнозернистого материала в потоке. Выпадение из разреза верхних единиц (представленных более тонким материалом) определяется обычно тем, что отложение идет не в неподвижной воде, а под воздействием донных течений (например, контурных), уносящих тонкие фракции мутевого потока далеко от места отложения турбидитов. В других случаях верхняя часть по-

тока может быть размыва и уничтожена последующими турбидитными потоками.

Турбидитные ритмы по составу отличаются от вмещающих их глубоководных осадков. Мутевые потоки могут переносить на большие глубины не только отложенный выше терригенный материал, но и остатки флоры и фауны, характерные для более мелководных условий. Турбидиты чаще бывают терригенными, но они могут содержать и биогенный и вулканогенный материал. В литературе описаны тефротурбидиты, основная составная часть которых может быть представлена тефрой и соответствующим изменением гранулометрии частиц от нижней к верхней части ритма.

Тефровые мутевые потоки описаны как особый генетический тип (Ботвинкина, 1974). Возникновение их характерно для субмаринной седиментации в вулканических областях, которым присуще спазматическое появление в результате пеплопадов больших масс рыхлого вулканогенного обломочного материала, обычно пирокластического. Эта рыхлая пирокластика (как и терригенные осадки) находится в неустойчивом равновесии. Последнее нарушается сейсмическими толчками или землетрясениями, столь свойственными вулканическим областям. В результате эти осадки, в более или менее разжиженном состоянии, устремляются вниз по склону в виде тефрового мутевого потока, переносящего пирокластику на более глубокие и ровные участки морского дна. Примеры таких отложений отмечены в современных осадках в центральной котловине Тирренского моря, в Адриатическом море и в ряде других мест.

Кроме описанного механизма образования тефротурбидитов, сходного с обычными турбидитами, в вулканических областях могут возникать мутевые потоки, насыщенные вулканогенным материалом, в результате впадения в море потоков типа лахар. Если такой поток попадает в прибрежную зону моря с активной гидродинамикой, то его материал скоро попадет под действие течений и будет разнесен по всему водному бассейну. Но в ряде случаев лахар продолжит свое течение в виде мутевого потока с последующим образованием тефротурбидита. Наконец, не исключена возможность, что при втекании в море пирокластических потоков (раскаленных лавин, пемзовых или игнимбритовых потоков) частицы последних также могут образовать своеобразное течение, близкое к мутевому.

При изучении некоторых вулканогенно-осадочных формаций были обнаружены туфы, анализ признаков которых позволил считать их результатом придонных течений высокой плотности — мутевыми особого рода. Так, например, И. В. Хворовой и М. Н. Ильинской (1980) в ирендыкской свите Южного Урала описаны туфы, построенные рядом тефротурбидитовых ритмов. Мощности их измеряются метрами. Нижний контакт ритма резкий, затем идет туф

грубозернистый, постепенно переходящий кверху в мелко- и тонкозернистый. Вверху ритма — слой туффита, который, очевидно, образуется уже после выпадения в осадок основного материала мутевого потока как результат нормальной морской седиментации в перерыве между двумя мутевыми потоками. Такие ритмически построенные толщи чередуются с отложениями иных генетических типов: илистыми тонкослоистыми туффитами, пластами массивных туффов и др. Это чередование может образовывать вулканогенные и вулканогенно-осадочные циклы. Подробнее подтипы тефротурбидитов и их взаимоотношения с другими отложениями приведены в работе одного из авторов (Ботвинкина, 1974).

В других случаях продукты подводных извержений могут образовать так называемые игнитурбидиты, выделенные в геологических разрезах. Но их строение все же слабо напоминает типичные турбидиты; кроме того, они образуют более крупные ритмы, на фоне которых намечается ритмичность более мелкая. Поэтому такие образования вряд ли следует относить к турбидитам. Мутевые потоки могут возникать в результате впадения в водоем селевых потоков.

Наряду с нормальными турбидитами (с мощностью ритмов до 1 м, редко более), А. П. Лисицын выделяет мегатурбидиты с мощностью слоев до 100 м и более. Он связывает их с землетрясениями (сейсмотурбидиты).

Отмечено, что сортированные отложения мутевых потоков могут быть не только на глубинах морей, но и в других водных бассейнах. Например, сильно насыщенная мутью вода реки, впадающей в большое озеро, вследствие ее большого удельного веса опускается на дно и, при наличии достаточного его уклона, стекает вниз в виде локализованного суспензионного течения, которое может даже эродировать дно, сложенное рыхлым материалом (Леонтьев, 1982). Отложение мутевых потоков было обнаружено в Женевском озере. Но если такой пресноводный мутевой поток втекает в море, то турбидиты не возникают, так как пресная речная вода, менее плотная, чем морская, растекается по поверхности последней.

В бассейне Фукзин (Китай) среди отложений крупного озера были обнаружены турбидиты, представленные двумя типами: 1) тонкослойчатые и 2) с мощными песчаными прослоями, характеризующиеся градационной слоистостью. Турбидиты с мощными прослоями песка связываются с катастрофическими наводнениями, а тонкослойчатые отлагаются ежегодно в сезоны активной разгрузки рек. Однако остается не совсем ясным, можно ли считать последние турбидитами или это обычная для озерной седиментации ритмическая («ленточная») слоистость, ритмам которой свойственно строение, в какой-то мере сходное с некоторыми турбидными ритмами. Отмечено, что за турбидиты иногда принима-

ются отложения волновых течений на мелководье, которые также могут иметь градационность строения. Поэтому при определении турбидитов в ископаемых толщах на основании изучения их ритмического строения следует учитывать еще ряд характерных для них признаков, отличающих их от иных ритмично-слоистых образований, также с ритмической сортировкой осадка (Ботвинкина, 1962 б, 1965). В частности, отложения мутевых течений покрывают большие площади, а также пространственно обычно связаны с иными глубоководными отложениями. Н. Н. Верзилиным и Н. С. Окновой (1984) приведен комплекс структурно-текстурных признаков, позволяющий определять отложения мутевых потоков в ископаемых осадочных толщах. Надо думать, что турбидиты — это большая группа отложений, характер ритмов которых различен в зависимости от того, за счет каких процессов эти потоки возникали.

С действием мутевых течений связано формирование таких своеобразных ритмично-слоистых отложений, как *флиш*. Он был выделен и описан давно и по поводу его происхождения было высказано несколько различных гипотез. Но в настоящее время его генезис не вызывает сомнений.

Очень хорошо взаимоотношения флиша и турбидитов сформулировал С. И. Романовский (1985, с. 184): «Любая литологическая разновидность флиша представляет собой турбидиты, но не всякий турбидит может отождествляться с флишем». Он считает, что все литологические различия флиша зависят не от различий механизма их образования, а от палеогеографических условий, в которых этот механизм мог реализоваться. Флиш мог формироваться в каньонах у подножия континентального склона, в троге, в желобе, в любых подводных депрессиях.

Ввиду большого количества работ, посвященных флишу, в том числе сводных (Вассоевич, 1948, 1951; Хворова, 1961, 1980; Романовский, 1976; и др.), мы ограничимся здесь лишь очень кратким описанием основных черт ритмичности этой своеобразной формации.

В работах Н. Б. Вассоевича указано, что флишевые ритмы состоят из 2—3, реже 4—5 элементов ритма (э. р.). Их строение следующее: внизу ритма резкая граница, часто со следами размыва (рис. 26). Затем I э. р. — наиболее грубый кластический осадок (песчаник, алевролит), постепенно утоняющийся кверху; внизу он не слоистый, выше горизонтально-слоистый, иногда со следами деформаций (оползания и др.). Иногда могут быть встречены переотложенные остатки фауны. Первый элемент ритма постепенно переходит во II э. р., представленный неслоистым осадком, пятнистым за счет фукоидов, следов жизнедеятельности донных животных (червей, илоедов и др.). Третий элемент ритма — наиболее тонкозернистый, тонкоотмученный илистый осадок (гли-

нистый или карбонатный). Как мы видим, эта схема почти совпадает со схемой, предложенной Боума (см. выше).

Мощности флишевых ритмов измеряются сантиметрами и дециметрами. Соотношения и особенности элементов ритма в разных случаях могут быть различными, в зависимости от положения



Рис. 26. Нормальный флишевый ритм (по Н. Б. Вассоевичу, 1948):

I, II, III — элементы ритма (э. р.)

данного объекта в той или иной палеогеографической обстановке. Кроме того, соотношения мощностей элементов ритма изменяются снизу вверх по разрезу, выявляя ритмичность следующих порядков (методика построения ритмограмм описана Н. Б. Вассоевичем, 1948). По направленности изменения слоев флишевые ритмы всегда трансгрессивного типа (по Н. Б. Вассоевичу — прогрессивного).

С. И. Романовский считает, что «более характерными обстановками флишенакпления являются глубоководные морские каньоны и желоба зон субдукции океанической коры» (1976, с. 195). Таким образом, выявление флишевых отложений может быть использовано и для палеогеографических реконструкций.

И. В. Хворовой и М. Н. Ильинской (1980) были описаны ритмично-слоистые толщи в терригенных, преимущественно песчаных, девонских отложениях зилаирской серии Южного Урала. В изученных разрезах они отметили ритмическую смену грубозернистых осадков тонкозернистыми через неоднократное ритмичное переслаивание (рис. 27). Мощности ритмов от 1—2 м до нескольких метров. Они представлены внизу песчаником (I э. р.) от грубозернистого до мелкозернистого, переходящим в горизонтально-слоистый алевролит (II э. р.) и завершающимся аргиллитом (III э. р.). Но отмечаются разновидности строения ритмов за счет

отсутствия либо нижней, либо верхней части ритма. Определено, что зилаирские отложения, хотя и похожи на флиш, но отличаются от него составом кластики, отсутствием (или редкостью) подошвенных знаков течений и биоглифов, мощностью ритмов и некоторыми другими признаками. Поэтому они определили такие ритмично-слоистые отложения, как флишоид зилаирского типа. Причину отличия их от типичного флиша они видят в том, что эти отложения формировались не в троге, а в условиях долинно-веерного аккумуляторного клина батиального моря, при меньшей глубине бассейна. Снос, очевидно, шел не с континента, а с молодого внутривулканического поднятия. Отсюда напрашивается вывод, что анализ ритмически построенных отложений — флишевых или флишоидных может помочь при реконструкции палеогеографических обстановок осадконакопления.

Кроме давно известного терригенного флиша, выделены туфовые толщи с аналогичной стратификацией, названные «туфовой флишоидной формацией» (Власов и др., 1977). Ритмы обычно построены параллельно-слоистыми туфами и туффитами с градиционной слоистостью, выраженной изменением структуры от мелкопсаммитовой (в основании ритма) до алевроитовой, а затем пелитовой. Авторы приводят примеры различного строения ритмов в зависимости от расстояния от вулканического очага. В ряде случаев вверху ритмов встречаются слойки пемзы (от более тяжелой до более легкой), а также диатомитовые или туфодиатомиты. Отмечаются также детали некоторого изменения состава ритмов снизу вверх по разрезу в зависимости от общей обстановки осадконакопления. Авторы сравнивают эти отложения с туфовыми турбидитами, описанными И. В. Хворовой, но считают, что описанные ими флишоиды формировались не за счет мутевых потоков, а отражают периодичность вулканических извержений. Они полагают, что каждый ритм (т. е. литоцикл) — это «результат отдельной подводной вулканической вспышки» и подачи в бассейн вулканокла-

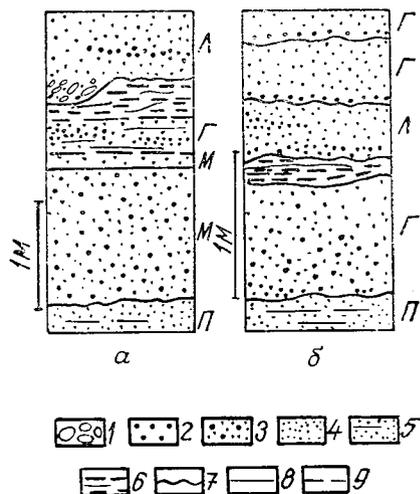


Рис. 27. Соотношение разных типов песчаников в песчаной флишоидной ассоциации, из разреза по р. Тарангул (по И. В. Хворовой и М. Н. Ильиной, 1980):

а, б — сводные колонки; 1 — конгломерат из галек местных пород; 2 — гравелит; песчаники: 3 — крупнозернистый с гравием, 4 — мелкосреднезернистый, 5 — мелкозернистый; 6 — алевролит; 7 — размывы; контакты: 8 — резкие, 9 — постепенные; текстуры: Л — линзовидно-слоистая, М — массивная, Г — градиционная, П — горизонтально-слоистая (плитчатость)

стики. Кремнистые породы, иногда завершающие ритм, представляют собой преимущественно хемогенные отложения, характерные для стадии остывания вулканитов и газогидротермальной деятельности. Появление иногда тонких слоев известняков связано с массовой гибелью морских организмов. В этой очень интересной статье приведены примеры периодической активности некоторых современных действующих вулканов, с чем и связывается ритмичность туфовых флишоидов. Повторяемость извержений через небольшие примерно равные промежутки времени объясняет относительно небольшие колебания мощностей ритмов туфовых флишоидов (от 1—3 до 10—20 см). Авторы делают интересный вывод: «Связь ритмичности туфовых и туффитовых флишоидов с периодичностью вулканических извержений расширяет возможности корреляции разрезов по ритмам» (с. 119), причем на очень значительных расстояниях. Цикличности в вулканогенно-осадочных толщах мы еще коснемся ниже.

Мы видели, что ритмичность таких отложений, как турбидиты и флиш, формируется за счет однообразного, но длительного действия механизма, периодически поставляющего осадок в одну и ту же неизменную общую обстановку его отложения. Неизменность обстановки и регулярная подача «извне» сближает условия их образования с сезонной и многолетней климатической ритмичностью. Однако масштаб и сложность строения ритмов, а также состав отложений, несомненно, указывают на иной механизм подачи вещества. Более того, сам механизм может быть различным как для турбидитов, так и для флишоидов разного состава. Эти механизмы, хотя и периодически действующие, все же не такие регулярные и, в свою очередь, зависят от более отдаленных причин, их обуславливающих, в том числе «глубинной жизни» Земли (сейсмические толчки, вулканические взрывы).

2.5. Литоциклы в отложениях, формирующихся в специфических условиях

В этом разделе изложены сведения о цикличности отложений, сформировавшихся в условиях, труднодоступных для исследований традиционными средствами и способами. Поэтому такие данные относительно немногочисленны (исключая нефтегазоносные толщи), что тем более важно для общего изложения материала.

2.5.1. Вулканогенно-осадочные отложения

Цикличность в них имеет свою специфику и сложность, обусловленную наложением вулканогенной цикличности на седиментационную. Их взаимоотношения и примеры рассмотрены ранее

(Ботвинкина, 1974), поэтому в данной работе мы ограничимся лишь основными особенностями циклической седиментации в этих условиях.

Осадочные циклы сохраняют здесь свою специфику в зависимости от закономерной трансгрессивной и регрессивной смены фаций, под воздействием различных факторов, рассмотренных выше. Однако в данном случае осадочные литоциклы приобретают некоторые дополнительные черты, обусловленные вулканической деятельностью: состав, ритмичность отдельных частей литоцикла, наложение переработанного вулканического материала и др. Характерна асимметричность строения литоциклов, так как чаще происходит нарушение эволюционного процесса осадконакопления.

Формирование вулканогенных (вулканических) циклов целиком обуславливается различными вулканическими процессами, в разрезах они появляются в разнохарактерном чередовании различных вулканогенных пород (и разных генетических типов последних). Вулканогенные циклы бывают различных масштабов, а разнообразие зависит от разных причин.

Наиболее крупные вулканогенные циклы высших порядков выражаются в разрезе сменой вулканитов разного химического состава — от основных до кислых (реже наоборот). Такие циклы связаны с этапами дифференциации магмы (или с поступлением материала из разноглубинных магматических очагов). Поэтому они могут быть названы вулканогенно-магматическими. Эти циклы описаны в многочисленных работах, посвященных геологии вулканогенных областей. Обычно они имеют большие мощности (до сотен и тысяч метров) и отвечают периоду зарождения, развития и завершения вулканической деятельности в пределах одного тектономагматического цикла.

Другие вулканогенные циклы, также крупного масштаба, представляют собой последовательную смену различных вулканических продуктов: обычно эффузивных эксплозивными, а затем продуктами газогидротермальной деятельности. Реже отмечается обратная последовательность отложений — от эксплозивных до эффузивных. Так как последовательность вулканических продуктов в них сходна с последовательностью внутри одного эруптивного цикла, то такие литоциклы могут быть названы мегаэруптивными. В ряде случаев они являются выражением геосинклинального цикла развития. Часто они завершаются формированием осадочных пород, входя в качестве составной части в еще более крупный вулканогенно-осадочный цикл n -го порядка (см. ниже).

Когда в существующей литературе упоминаются вулканические циклы, то чаще имеют в виду именно эти крупные вулканогенно-магматические или мегаэруптивные циклы. Оба эти типа тесно связаны один с другим, так как магма основного состава дает преимущественно эффузивные образования, а извержение кис-

лой магмы обычно характеризуется большим количеством эксплозивных образований. При выделении циклов этих двух типов чаще имеют в виду не столько возможность их периодического повторения, сколько соответствие определенному этапу развития. Выделение циклов этого рода весьма существенно, так как с их завершением связано формирование больших масс кислых вулканических пород и интенсивность гидротермальных рудообразующих процессов. Поэтому верхние части таких циклов являются потенциальными рудоносными зонами.

Вулканогенные циклы хорошо показаны Г. М. Власовым (1967), который отметил весьма интересное явление: во-первых, что «вулканические циклы становятся мельче в поздние этапы развития складчатой области» (с. 37) и, во-вторых, что «после окончательной стабилизации области границы циклов стали неопределенными и частные циклы сливались в более крупные» (там же). Это в какой-то степени аналогично тому, что в осадочных толщах более мелкие циклы, развивающиеся на фоне более крупного, становятся мельче по мере приближения к концу регрессивной части последнего; циклы же, развивающиеся на фоне нейтральной части крупного осадочного цикла, обычно бывают неотчетливы и часто как бы сливаются в один более крупный цикл сложного строения (Ботвинкина, 1965). Можно полагать, что появление более мелких циклов и неопределенность границ между циклами и для вулканических, и для осадочных циклов связаны с затуханием тектонической активности в регионе.

Далее намечаются циклы, внутри которых последовательность слагающих элементов является результатом последовательности стадий в эруптивном цикле, поэтому такие циклы осадконакопления могут быть названы просто эруптивными. Полные циклы такого типа представлены сменой эффузивных отложений эксплозивными (или наоборот) и завершаются вулканохемогенными продуктами газогидротермальной стадии. Они могут являться результатом действия одного вулкана, но чаще представляют собой суммарный результат активности ряда вулканов с одним типом вулканической деятельности. При этом тип вулканизма по химической характеристике для всех частей цикла остается одинаковым (средним, кислым и т. д.). Циклы могут быть неполными, представленными отложениями лишь двух стадий вулканизма: эффузивно-эксплозивными, эксплозивно-гидротермальными и эффузивно-гидротермальными.

Эруптивные литоциклы могут быть разных масштабов, часто мощности их измеряются десятками и сотнями метров. При этом мощность продуктов газогидротермальной деятельности обычно значительно меньше других элементов литоцикла, хотя их накопление соответствует большему интервалу времени. Циклы этого типа можно рассматривать как циклы низшего порядка.

Литоциклы еще более низкого порядка представлены сменой отложений, формирующихся в какую-либо одну стадию эруптивного цикла. Это литоциклы эффузивные, эксплозивные и гидротермальные.

Эффузивные литоциклы формируются наложением одного на другое лавовых излияний, в результате чего получается периодическое чередование лавовых продуктов разного типа и по составу, и по строению. Кроме того, верхние части этих литоциклов могут претерпевать сходные изменения под влиянием среды, в которую попадают лавовые потоки. Кроме цикличности, здесь может быть отмечена ритмичность, причем ритмы могут иметь значительные мощности, измеряемые метрами и даже десятками метров.

Эксплозивные литоциклы представляют собой многократное повторение эксплозивного материала разного рода как по размерности (чаще от грубого до тонкого), так и по составу. Они могут слагать эксплозивные части эруптивных циклов. Здесь также может возникать ритмичность отложений.

Известно, что газогидротермальная деятельность вулканов неоднородна и вынос элементов происходит в определенной последовательности. Если она более или менее повторяется, то образуются газогидротермальные литоциклы. Кроме того, пульсация газогидротермальной деятельности часто создает ритмичность отложений. Циклы и ритмы этого типа могут быть составными элементами хемогенной части эруптивных или осадочно-вулканических циклов.

Таким образом, мы видим, что в вулканических толщах отмечается существование литоциклов разного ранга (порядка) и их соподчинение.

Мы рассмотрели осадочные и вулканические циклы разного рода как самостоятельные стратификационные единицы. Однако в областях, где процессы формирования осадочных и вулканических образований идут параллельно, типы цикличности тех и других создают сложную картину последовательности отложений, в которой иногда бывает трудно уловить закономерности периодического их формирования. Тем не менее существует ряд работ, в которых в результате анализа фактического материала выявляется сложный характер циклического накопления вулканогенно-осадочных толщ разного возраста и местоположения.

Сложные осадочно-вулканические (или вулканогенно-осадочные) литоциклы* образуются чередованием осадочных пород с вулканитами. Они могут быть весьма различного масштаба и разных порядков: от циклов, отвечающих крупным этапам в развитии региона (представленных сменой свит и ярусов), до более мел-

* Последовательность составных частей в названии литоцикла в данном случае отражает их последовательную смену снизу вверх по разрезу.

ких, возникающих в результате периодических вспышек вулканической деятельности, сменяющихся периодами ее затухания и формирования осадочных пород и, наконец, до мелкого ритмического переслаивания вулканогенного и осадочного материала.

При этом границы вулканогенно-магматических циклов могут не совпадать с границами циклов осадочно-вулканических (рис. 28).

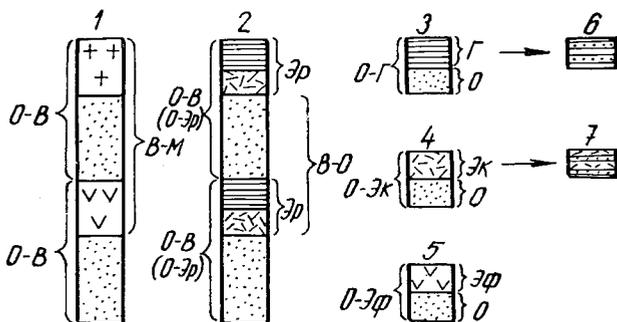


Рис. 28. Наложение вулканической циклическости на осадочную составляющую с образованием осадочно-вулканических циклов (схематично):

1 — крупные осадочно-вулканические (O-B) циклы, В-М — наложенный вулканоматический цикл; 2 — наложение эруптивных (Эр) циклов и образование осадочно-вулканических (O-B), в частности, осадочно-эруптивных (O-Эр) циклов; 3-5 — наложение на седиментацию продуктов одной стадии вулканизма; циклы: 3 — осадочно-гидротермальный (O-Г), 4 — осадочно-эксплозивный (O-Эк) (может быть осадочно-тефровым), 5 — осадочно-эффузивный (O-Эф); ритмы: 6 — осадочно-гидротермальные, 7 — осадочно-тефровые (вплоть до образования ритмитов)

На осадочный процесс могут накладываться эруптивные вулканические циклы, или же образование осадков может прерываться периодическим (или даже одноактным) поступлением вулканических продуктов какой-либо одной стадии вулканизма. Осадочная составляющая сложно построенных крупных литоциклов, в свою очередь, может иметь циклическое (или же ритмическое) строение, выраженное в направленности изменения фаций.

Анализ разнообразных фактических материалов показал, что существуют осадочно-вулканические циклы разного рода и строения. Порядок, к которому мы относим циклически построенные единицы разреза, определяется закономерностями их строения и изменения составных частей, но не их мощностью (хотя, конечно, циклы высших порядков имеют и большие мощности).

Границы вулканических и осадочных циклов часто совпадают, так как и те и другие бывают связаны с одним и тем же региональным фактором, влияющим на накопление отложений, в частности, — с синхронной тектонической жизнью региона, например, с

поднятиями. Периодичность последних, с одной стороны, является причиной изменения положения береговой линии моря и рельефа земной поверхности (что влечет за собой образование осадочных циклов), а с другой стороны — усиливает вулканическую активность, вызывая появление разломов, служащих путями поступления магмы на земную поверхность (что обуславливает формирование вулканических циклов). Конечно, в ряде случаев границы осадочных и вулканических циклов могут и не совпадать.

Границы литоциклов разных типов могут быть и резкими, и постепенными. При этом для вулканических циклов еще больше, чем для осадочных, характерна скачкообразная смена одних отложений другими, определяющая резкость границ. Внутри литоциклов, наоборот, переходы от одного элемента к другому часто бывают постепенными, через переходные зоны. Последние могут быть различными: через породы смешанного состава; через переслаивание разного масштаба, вплоть до ритмов; через большую или меньшую обработку кластического материала.

Расщепление осадочных циклов ведет к появлению циклов более низкого порядка. Расщепление вулканогенных и осадочно-вулканических циклов происходит иначе — за счет выклинивания вулканогенной составляющей и замещения ее осадочными отложениями. Таким образом, вулканический цикл может и латерально переходить целиком в осадочный через переходные зоны, представленные вулканогенно-осадочными циклами низшего порядка (рис. 29).

Выявление особенностей изменения цикличности на площади и прослеживание литоциклов могут помочь при корреляции разрезов, часто весьма затруднительной для вулканогенно-осадочных формаций. При этом трудности, связанные с выделением литоциклов в этих формациях, часто зависят не только от сложности соотношения элементов, слагающих разрез, но и от незнания общих закономерностей периодического осадконакопления.

В осадочных циклах, обусловленных закономерным изменением фаций, отдельные элементы внутри литоцикла всегда имеют генетические связи. В вулканических литоциклах связь между отложениями различных генетических типов также генетическая. Что

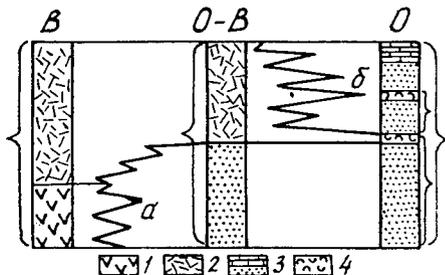


Рис. 29. Переходы на площади вулканического (В) цикла через осадочно-вулканический (О-В) в осадочный (О): а и б — зоны возможного переслаивания с образованием циклов низшего порядка; 1 — эффузивные образования; 2 — эксплозивные продукты; 3 — различные осадочные породы; 4 — переработанная тейфра.

Скобками показаны границы литоциклов

же касается осадочно-вулканических циклов, то здесь связи между слагающими их элементами могут быть двойными: и генетическими, и негенетическими.

Изучение циклического строения вулканогенно-осадочных толщ и выделение последовательности их генетических типов помогают определять место рудообразования. Так, например, применение циклического анализа позволило установить направленность смены генетических типов и периодичность осадконакопления, а на этой основе выявить закономерности положения колчеданных руд в эйфельско-живетских отложениях Узельгинского рудного поля в северной части Восточно-Магнитогорской эвгеосинклинали Южного Урала (Рудницкий и др., 1980; Рудницкий, 1983). Здесь в наиболее полном разрезе выделено 6 элементарных литоциклов 1-го порядка мощностью от 25 до 125 м. Литоциклы в общем представлены следующей сменой отложений: пирокластические — лавовые, пирокластические, вулканогенно-осадочные. В конкретных разрезах отдельные элементы литоциклов иногда могут выпадать. За начало литоциклов принята граница между накоплением вулканогенно-осадочного и лавового материала.

По «ступенчатому» уменьшению снизу вверх по разрезу объема лавовых пород и увеличению роли пирокластических и вулканогенно-осадочных отложений они объединены в два литоцикла следующего, 2-го порядка, из которых нижний связан с более активным вулканизмом и более мощными лавовыми излияниями. По разрезам изученных месторождений они хорошо сопоставимы. Разрез толщ в целом завершается чисто осадочным, третьим литоциклом 2-го порядка, представленным преимущественно известняками, кремнистыми и обломочными отложениями. Эти три цикла, в свою очередь, образуют вулканогенно-осадочный литоцикл следующего, 3-го порядка. Наиболее рудоносным является его средний цикл 2-го порядка.

Рудные залежи явно связаны с завершающим гидротермально-экспаляционным этапом вулканической деятельности. Они образуют неправильной формы вытянутые линзы преимущественно сфалерит-халькопирит-пиритового состава, залегающие среди относительно маломощных пластов, сложенных перетолженными и перемытыми туфами разного гранулометрического состава, большей частью туфоконгломератами слабо окатанными и обычно плохо сортированными. В ряде случаев с рудными залежами контактируют слои кремнистых пород. Все эти отложения образуют верхнюю часть литоцикла. Новые излияния кислых лав начинают новый литоцикл, тесно связанный с тектоновулканической циклическостью.

В. Ф. Рудницким и др. (1980) на основании анализа разрезов ряда месторождений установлены следующие закономерности: колчеданные руды занимают определенное место в эруптивных ци-

клах — они приурочены к их верхним частям и обычно залегают среди вулканогенно-осадочных пород. При этом в каждом из установленных мегаэруптивных циклов наиболее полное оруденение проявляется в верхних эруптивных циклах, им подчиненных. Колчеданное рудоотложение, по мнению этих авторов, «связано с периодами стабилизации вулканического процесса, когда после излияния лав и пирокластических выбросов вулканическая деятельность затухала» (с. 692). Это происходило на фоне медленного опускания дна депрессии. Масштабы рудоотложения определяются, с одной стороны, фактором времени, т. е. длительностью периода стабилизации, а с другой стороны, интенсивностью поступления газогидротермальных растворов.

На стратиграфической колонке кайнозойских отложений Курильских островов, приведенной в работе Ю. А. Павлидиса (1968), отчетливо видно несколько осадочно-вулканических циклов крупного масштаба (и высокого ранга), мощность которых колеблется от сотен до 2—2,5 тысяч метров, формирующихся на фоне общего регрессивного развития. Несомненно, что эти крупные литоциклы состоят из циклов низших порядков, которые в приведенном масштабе не выявлены.

Значительно более мелкая цикличность, связанная с постэруптивными процессами, показана по месторождению Западной Джайрем в Казахстане Ф. Ф. Таранушичем и В. И. Щибриком (1971). Здесь мощность литоциклов измеряется десятками метров. Авторы отмечают отчетливость границ циклов и постепенные переходы пород внутри них. Нижние части литоциклов подчеркиваются повышенным содержанием железа и марганца, а также повышенной щелочностью. Верхние части литоциклов близки по составу, они представлены преимущественно кремнисто-известковыми породами с различными примесями и прослоями. Характерно закономерное изменение карбонатных пород: карбонатность возрастает снизу вверх в каждом цикле; кроме того, карбонатность каждого последующего цикла выше, чем предыдущего. Таким образом, литоциклы формируются на фоне трансгрессивного развития осадконакопления.

Вулканогенная составляющая этих литоциклов представлена продуктами газогидротермальной деятельности и прослоями тонких, в значительной степени разложенных туфов. Чрезвычайно характерно то, что и до и после слоев с повышенным содержанием рудных минералов в разрезе развиваются горизонты пород типа ритмитов. Верхние части ритмов или имеют смешанный углистоглинисто-кремнисто-карбонатный состав, или обогащены глобулярным пиритом. Нижние части ритмов кремнисто-карбонатные. Ранее нами было высказано предположение (Ботвинкина, 1966 б), что породы типа ритмитов развиваются по периферии деятельности вулканических очагов. А так как с вулканическими областями

связаны залежи многих осадочных полезных ископаемых, то появление ритмов среди однородных осадочных пород (если оно не обусловлено сезонными и климатическими изменениями) должно привлечь внимание геологов с точки зрения возможности обнаружения генетически связанных с ритмами рудопоявлений. Можно полагать, что гидротермальная периодичность седиментации вообще в большей степени связана с нейтральной или с началом трансгрессивной части осадочных литоциклов.

Из ряда материалов по цикличности в вулканогенно-осадочных формациях видно, что основные закономерности циклической седиментации, установленные при изучении осадочных циклов в разных формациях, присущи также и различным вулканическим и осадочно-вулканическим циклам. Однако в последних они приобретают особенности, обусловленные специфичностью литогенеза именно этих образований. Кратко основные закономерности вулканогенной циклической седиментации в вулканических областях сводятся к следующим положениям.

Появление вулканических циклов обусловлено глубинными процессами и может быть связано с некоторыми космическими явлениями, но оно не зависит ни от климатических изменений, ни от палеогеографии. Поэтому связь этих циклов с изменением осадочных фаций может быть лишь косвенная, если последняя зависит от тех же региональных причин, что и вулканизм (например, синхронных тектонических движений, солнечной активности и др.). Если вулканические циклы разных порядков — эффузивные, эруптивные и вулканоматические обуславливаются разными процессами, то в этом случае они не подчиняются единой общей закономерности (в отличие от циклов осадочных, для которых это характерно).

Строение циклов может быть и простым, и сложным, независимо от типа. Изменение строения вулканического цикла выражается в смене генетических типов вулканогенных образований, которая часто может происходить в пределах неизменной фациальной обстановки. Это отличает их от осадочных циклов, которые часто обуславливаются именно сменой фаций.

Характерна резко выраженная асимметрия вулканических циклов и скачкообразный переход на их границах. Внутри каждого цикла обычно видна отчетливо выраженная направленность изменения элементов, слагающих цикл, что подчеркивает правильность понимания цикла как определенного этапа эволюционного развития. Внутри вулканических циклов переходы между слагающими их элементами могут быть разного рода: и быстрые — резкие, и растянутые — постепенные.

В циклически построенной толще смежные вулканические циклы одного типа сходны, но не тождественны полностью, что связано с той эволюцией региона, на фоне которой они формируются. Однако из-за отсутствия достаточного фактического материала

наблюдений пока неясно, всегда ли отмечается в ряду смежных вулканических циклов закономерное то нарастание, то убывание их характерных признаков (как это типично для циклов осадочных) или же изменение их от цикла к циклу происходит более резко, скачкообразно.

В вулканических циклах, так же, как и в осадочных, могут выпадать отдельные элементы, в результате чего возникают неполные циклы. Особенно это характерно для циклов эруптивных. Однообразная и равномерная повторяемость каких-либо вулканогенных элементов присуща не цикличности, а ритмичности, и связана с низшей периодичностью вулканических процессов. Литоритмы, как правило, имеют значительно меньшую мощность.

Соотношение вулканических и осадочных циклов в отложениях областей активного вулканизма может быть очень разнообразным и выражаться в формировании сложных осадочно-вулканических (или вулканогенно-осадочных) циклов различных масштабов и порядков.

Переходы между вулканогенной и осадочной составляющей осадочно-вулканических циклов бывают и резкие, и постепенные, через переходную зону. В последнем случае переходы могут быть выражены различно: а) в постепенно усиливающейся обработке вулканогенного материала (формирование тефроидов разных генетических типов); б) в появлении примеси одного материала в другом, в том числе формирование туффов и туфовых пород также разных генетических типов; в) наконец, в более или менее частом переслаивании обеих составляющих, вплоть до формирования тонкослоистых пород типа ритмитов.

Расщепление вулканического цикла на площади, по-видимому, происходит при переходе его в осадочно-вулканический (а последнего — в осадочный) за счет исчезновения вулканогенной составляющей, накладываемой время от времени на непрерывно идущий процесс седиментации. При этом в переходных зонах может возникать осадочно-вулканическая цикличность низшего порядка. (В этом отличие от чисто осадочных циклов, тип которых сохраняется при переходе от низшего порядка к высшему). Однако данных для более тщательного рассмотрения этого явления пока еще очень мало.

На конкретных примерах (Ботвинкина, 1974) было замечено, что вулканическая составляющая крупных осадочных циклов часто приурочивается к завершению их регрессивной части (и таким образом бывает связана с нейтральной частью крупного цикла). В других случаях вулканическая составляющая приурочивается к началу регрессивного ряда осадочных отложений (что совпадает с усилением активности тектонической жизни региона). Что же касается литоциклов гидротермальных, то они, очевидно, бывают связаны еще с началом трансгрессивного ряда отложений (т. е.

тоже приурочиваются к другому «плечу» нейтральной части крупного цикла). А так как некоторые работы по изучению рудообразования показали его связь с газогидротермальной деятельностью, то напрашивается вывод, что в вулканогенно-осадочных литоциклах оно тяготеет преимущественно к их нейтральным частям: либо к концу регрессивной части, либо к началу трансгрессивной.

Литоциклы высших порядков, отвечающие определенным этапам в развитии региона, являются крупными стратификационными единицами, которые можно использовать при корреляции разрезов (наравне с толщами и горизонтами).

2.5.2. Нефтегазоносные отложения и нефтесодержащие толщи

Одна из наиболее сложных проблем в изучении цикличности — ее особенности в нефтегазоносных отложениях. Здесь намечаются три направления исследований. Во-первых, изучение цикличности самого процесса нефтегазообразования. Во-вторых, повторяемость разного масштаба в геологическом разрезе нефтематеринских отложений (свит, горизонтов, слоев). В-третьих, циклическая повторяемость в разрезе отложений, являющихся коллекторами нефти и газа (а также образующих экраны).

Процессы нефтегазообразования уже давно изучаются сотрудниками ВНИГНИ (Ботнева, 1972; Максимов и др., 1977), причем не только на отечественных объектах, но и на материале из районов других стран. Под циклом нефтегазообразования (условно НГ-циклы) эта группа исследователей понимает неоднократно повторяющиеся в геологической истории этапы, а именно: 1 — накопление органического вещества; 2 — его преобразование в направлении генерации нефтяных углеводородов; 3 — формирование залежей нефти и газа и 4 — их частичное или полное разрушение. Очевидно, что повторяемость указанных выше этапов нефтегазообразования следует относить не столько к седиментационным, сколько к иным процессам, в том числе геохимическим, тем самым рассмотренные их периодичности выходят за рамки данной работы.

Поэтому мы кратко коснемся лишь двух других направлений изучения НГ-циклов, тесно связанных с осадконакоплением, т. е. цикличности в нефтепроизводящих и в нефтесодержащих осадочных толщах. В первом случае НГ-циклы по существу являются седиментационными, причем богатые углеводородом горизонты (например, черные сланцы, сапропели и др.) занимают свое определенное место в седиментационном цикле и тесно связаны с синхронным осадконакоплением.

Цикличность нефтематеринских образований может быть различного масштаба. Одним из примеров крупной цикличности может служить материал, приведенный в работе Т. А. Ботневой

(1972, с. 238), которая выделяет циклы нефтегазообразования, равные по своему масштабу геологическим периодам. Она считает, что первые (седиментационные) этапы циклов нефтегазообразования (накопление исходного органического материала) связаны с максимумами трансгрессий, когда увеличение площади затопляемости континентов создавало благоприятные условия для нефтегазообразования. (При этом начало цикла связывается с максимумом крупных трансгрессий, выделенных по Страхову). Т. А. Ботнева отмечает: «Циклу литогенеза, соответствующему осадкообразованию в условиях стабильной седиментации в этапы максимального развития супраконтинентальной трансгрессии, хронологически отвечает, как правило, и цикл нефтегазообразования» (с. 237). При этом с каждым таким крупным циклом она связывает особый тип нефтей в зависимости от того, что седиментационные процессы изменялись не только количественно, но и качественно. Кроме таких региональных крупных циклов, существует более мелкая цикличность, которая нуждается в изучении, особенно в связи с разным качеством углеводородов. Крупные циклы, к которым приурочено нефтегазообразование или нефтегазонакопление, отмечались многими исследователями. Эти циклы, как правило, тесно связаны с тектонической жизнью региона и могут быть сопоставимы по масштабу со стратиграфическими подразделениями (свитами, ярусами и др.).

Примером нефтепроизводящих отложений могут служить породы, имеющие повышенное содержание органического вещества и тонкослоистую текстуру, благодаря чему они называются сланцами — черными, битуминозными и др.

Почти все исследователи в этих отложениях выделяют многопорядковую периодичность осадконакопления от ритмиков (время формирования которых измеряется годами) до циклов разных порядков (длительностью формирования до сотен миллионов лет).

Так, например, А. Ветцель (в сб.: Циклическая и событийная седиментация, 1985, с. 393) в черных сланцах выделяет (рис. 30): 1) мегамасштабные вариации (соответствующие периодам в истории Земли); 2) макромасштабные вариации, представленные пачками чередования черных сланцев с иными осадочными породами. Одна пачка может соответствовать периоду времени от 100 тыс. лет до 1 млн лет. (В нашем понимании — это литоциклы высших порядков); 3) мезомасштабные вариации, представленные повторяющимися слоями, с длительностью отложения одного слоя от сотен лет до 1 млн лет. (В нашем понимании они, очевидно, соответствуют литоциклам низших порядков, начиная с элементарного литоцикла 1-го порядка); 4) микромасштабные вариации, которые определяются слоями или тонкими слоями в пласте черных сланцев. Отложения одного слоя формировались от 1 года до сотен лет. (В нашем понимании это ритмичность разных порядков).

А. Ветцель считает, что причины мегамасштабных вариаций могут быть следующие: относительные колебания уровня моря (для более мелководных условий); колебания интенсивности окисления (при постоянном приносе органического вещества); непрерывное поступление органического вещества в сочетании с циркулирующей вод; прерывистое поступление органического вещества; минималь-

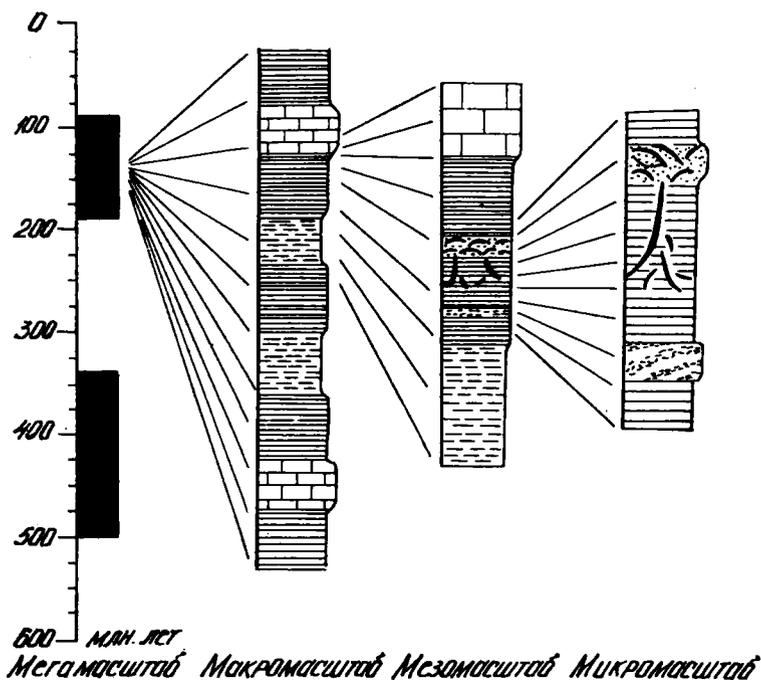


Рис. 30. Различные масштабы вариаций, фиксируемые в черных сланцах (по А. Ветцелю, см.: Циклическая и событийная седиментация, 1985)

ная концентрация кислорода (в частности, в зоне действия апвеллинга); изменения в поступлении иных осадков (глинистых, карбонатных); изменения климата и температуры воды. Это причины регионального масштаба. Литоциклы, формируемые этими процессами, измеряются метрами, время их формирования — десятки и сотни тысяч лет, приблизительно до 1 млн лет. Примерно такие же интервалы времени формирования литоциклов — от десятков тысяч лет до 1 млн лет — отмечают и другими авторами упомянутого сборника. А. Ветцель считает, что цикличность, зависящая от климатических изменений, имеет большей частью периодичность порядка 10, 20, 40—50 и около 100 тыс. лет, причем она тесно свя-

зана с вариациями орбитальных параметров Земли. На фоне указанных литоциклов местами, вероятно, могут формироваться подчиненные им литоциклы меньшего порядка.

Отложение осадков с повышенным содержанием органического вещества в большей степени связано с наиболее глубоководной (для данного разреза) обстановкой и с трансгрессивной частью цикла, с максимумом трансгрессии. В. Д. Наливкин и др. (1975) указывают, что «нефтематеринские свиты доманикового типа, содержащие до 20 % сапропелевого органического вещества... формируются только в трансгрессивные фазы циклов».

Кроме того, в породах, обогащенных органическим веществом (различные сланцы и др.), очень часто отмечается более или менее тонкая ритмичность, также вызываемая различными причинами, но уже в значительной степени более частными и местными.

Литоритмы могут определяться внутренней градационной сортировкой (градационный ритм), послойным обогащением остатками той или иной фауны, биотурбацией на границах ритмов, постепенным изменением содержания того или иного вещества (глинистого, карбонатного), периодическим поступлением осадков, не свойственных данной обстановке (вплоть до вулканогенных) и др. Мощности литоритмов большей частью от миллиметров до первых десятков сантиметров.

Повышенное внимание привлекает цикличность собственно нефтесодержащих толщ. Здесь положение полезного ископаемого целиком определяется местом в цикле пород, являющихся в данном конкретном случае коллекторами нефти. Такими породами наиболее часто служат пористые и трещиноватые известняки и доломиты, пески и песчаники, часто аллювиального генезиса или зоны морских донных течений, и другие породы, обладающие соответствующими физико-химическими показателями. Понятно, что в каждом конкретном случае особенности цикличности (а следовательно, и местоположение полезного ископаемого) будут определяться закономерностями циклической седиментации в той фациальной и тектонической обстановках, в которых происходило формирование отложений, предшествовавшее накоплению нефти и газа.

Их промышленные концентрации в очень многих случаях связаны с гранулометрией вмещающих пород, их пористостью, проницаемостью, трещиноватостью и другими параметрами. Однако нельзя забывать, что эти признаки в значительной степени определяются фациальной характеристикой пород. Хорошим примером связи нефтяных залежей с определенными фациями может служить выделение американскими геологами так называемых шнурковых залежей, в которых нефть концентрируется в древних аллювиальных отложениях речных долин. В этом случае фациальный анализ и цикличность нефтеносных толщ имеют прямую связь.

В настоящее время имеется уже много работ, посвященных цикличности осадконакопления в конкретных нефтегазоносных бассейнах. Так, например, цикличность нефтеносных толщ Западно-Сибирской плиты рассмотрена Т. Н. Процветаловой (1979), которая в отложениях неокома выделила ритмы двух порядков. (По нашей номенклатуре, это не ритмы, а литоциклы, но в данном случае мы сохраняем терминологию автора так же, как и принятую ею нумерацию ритмов не от низшего к высшему, а наоборот, что сразу затрудняет нумерацию литоциклов следующего, еще более высшего порядка).

Т. Н. Процветалова выделила 5 более крупных ритмов (отнесенных ею к 1-му порядку). Два из них (*II* и *V*), в свою очередь, разделяются каждый на два ритма (2-го порядка, по Т. Н. Процветаловой). Судя по приведенному материалу (рис. 31), ритмы *III* и *IV* представляют собой единый ритм 1-го порядка с разделением его также на два ритма 2-го порядка (*4* и *5*). Границы ритмов проводятся по поверхностям, отвечающим моментам изменения уровня Мирового океана от максимального его понижения к повышению (т. е. к началу трансгрессии). Границы ритмов 1-го порядка представлены размывами. Ритмы асимметричного строения, трансгрессивная часть их маломощна, а регрессивная мощная. Как видно из рис. 31, ритмы обоих порядков имеют регрессивный характер. Вверх по разрезу мощности регрессивных частей ритмов возрастают, что указывает на поступательное обмеление бассейна. Выделению ритмов в разрезах предшествовал комплекс исследований, направленных на выявление закономерностей смены фациальных обстановок как во времени, так и в пространстве.

Продуктивные горизонты приурочены к пограничным верхним частям ритмов. При этом на фоне ритмов 1-го порядка второстепенные типы залежей приурочиваются к верхним частям нижних ритмов 2-го порядка (*2*, *4*, *6*), а основные — к верхним ритмам (*3*, *5*, *7*), завершающим ритмы более высокого порядка. Судя по разрезу, приведенному на рисунке, можно думать, что три ритма 1-го порядка образуют ритм следующего, еще более высокого порядка, заканчивающийся региональным размывом (как в данной ситуации нумеровать этот «ритм» — неясно). Характерно также, что в слагающих этот «ритм» ритмах 1-го порядка снизу вверх уменьшается роль флюидоупоров. Т. Н. Процветалова указывает, что выделение ритмов (т. е. литоциклов) различных порядков и их прослеживание по разрезу имеют большое практическое значение, особенно для геологически слабо изученных территорий. Естественно и значение выделения таких ритмов для корреляции приуроченных к ним продуктивных горизонтов.

Цикличность палеогеновых отложений Северного Таджикистана рассмотрена в работе Ю. Н. Карогодина и др. (1981). В гли-

нисто-известково-терригенной толще выделено три мезоцикла мощностью 50—140 м, в среднем около 100—110 м прогрессивно-

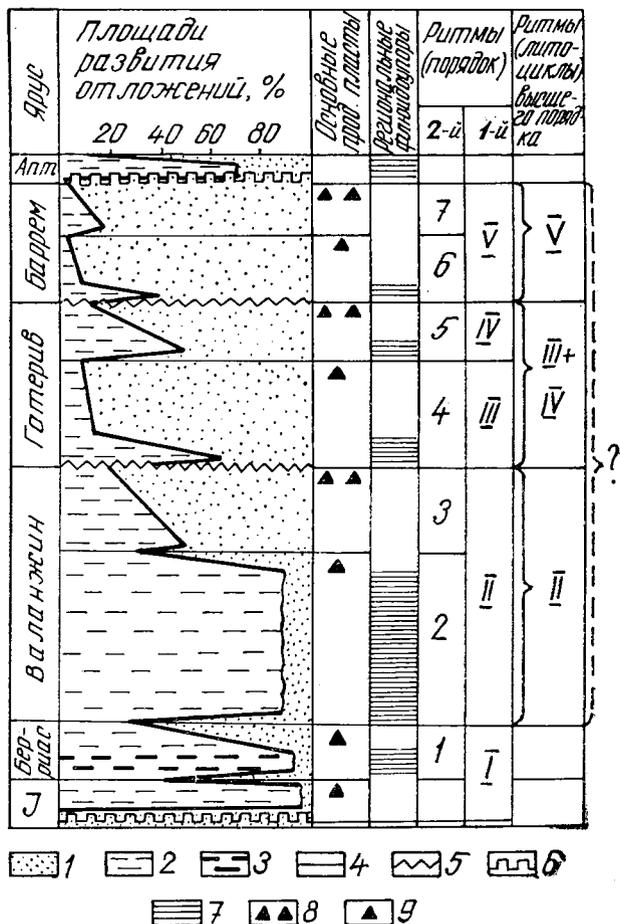


Рис. 31. Ритмическое строение неокома Западно-Сибирской плиты и его нефтегазоносность (по Т. Н. Процветаловой, 1979):

отложения: 1 — крупноалевритовые и песчаные, 2 — мелкоалевритовые и глинистые, 3 — аргиллитовые, обогащенные органическим веществом; границы: 4 — ритмов, 5 — ритмов с локальным распространением размывов, 6 — ритмов с региональным распространением размывов; 7 — флювиолуэны; продуктивные горизонты: 8 — основные, 9 — второстепенные. Ритмы (литоциклы) высшего порядка скобками справа выделены авторами (Л. Б., В. А.)

регрессивного типа условной продолжительностью 12 млн лет. Каждый из них состоит из большого числа элементарных циклов (по нашей терминологии, литоциклов) мощностью от десят-

ков сантиметров до 2—3 м. Как правило, в нижней части мезоциклов они имеют отчетливый прогрессивный характер. Снизу вверх по разрезу наблюдается увеличение объема терригенного материала, сопровождающееся «вытеснением» карбонатных пород. В работе приводится корреляция палеогеновых отложений Северного Таджикистана. Подчеркнута значительная роль в развитии осадконакопления и размещении нефтегазовых залежей перерывов, намечены их ранги и уровни. Исследования проведены в рамках так называемого системно-структурного подхода, интенсивно развиваемого Ю. Н. Карогодиным и рядом других исследователей, и замыкаются на уровне структурного направления, предшествующего, по мнению указанных авторов, генетическому.

В многочисленных случаях нефтенасыщенными являются пористые доломиты или же известняки (также определенного генезиса, особенно рифогенные), занимающие свое закономерное место в седиментационных циклах разных порядков. Например, К. Р. Чепиков и И. Е. Постникова (1984) считают, что «карбонатные формации являются первоочередными объектами поиска залежей углеводородов» (с. 237). Они подчеркивают, что для успешного поиска нефти и газа в карбонатных толщах надо проводить их комплексные исследования, включающие ряд анализов (в том числе и циклический).

Выше мы показали, что цикличность в этих формациях зависит от многих причин. Кроме того, состав и строение слоев карбонатных отложений по-разному реагируют на выщелачивание, карстовые процессы, стилолитизацию и образование трещин и пор. Такое многообразие данных обуславливает цикличность, присущую именно данному объекту, а следовательно, и формирование разного типа коллекторов, контролируемых фациальной принадлежностью, структурно-литологическими факторами и периодической последовательностью слоев разного состава. Все это определяет место залежей нефти в литоциклах.

К. Р. Чепиков и В. И. Никишин (1977) считают, что «наиболее интересны для нефтяной геологии многочисленные средние и, особенно, малые ритмы (литоциклы. — Л. Б., В. А.), осложняющие как трансгрессивную, так и регрессивную части крупнейшего цикла и отражающие частные фазы тектонических движений...». Авторы отмечают, что для литоциклов характерно асимметричное строение, симметричность можно ожидать лишь в немногих циклах седиментации. Коллекторы в терригенных и многих карбонатных литоциклах приурочены обычно к верхним слоям малых и средних литоциклов, тогда как низы их, наиболее глубоководные в асимметричном цикле регрессивного типа, образуют покрывку, экранирующую коллектор верхней части предыдущего цикла. Однако в глинисто- и галогенно-карбонатных толщах карбонатные коллекторы тяготеют к нижним, более мористым частям литоциклов.

При изучении цикличности нефтегазосодержащих отложений, кроме места в литоциклах пород, являющихся коллекторами, учитывается также и место, которое занимают в литоциклах разного ранга отложения, служащие флюидоупорами и образующие покрывки скоплений и месторождений нефти. К таким относятся, например, залежи соли. Соленосные отложения обычно завершают крупный седиментационный цикл n -го порядка. Причем соленосные отложения не только играют роль «покрывки», но и создают специфическую геохимическую обстановку в подстилающих отложениях, способствующую захоронению органического вещества (Поливанова, 1975). Отмечается генетическая связь галогенных покрывок и процесса нефтеобразования уже на ранних его этапах.

В других случаях роль покрывок исполняют слои глинистых пород, также подчиняющихся правилам циклической седиментации. Так, Г. О. Баталова (1977) отмечает закономерное распределение в разрезе пластов коллекторов и глинистых покрывок в девонских отложениях Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Цикличность здесь трансгрессивно-регрессивного типа, к началу циклов приурочены алевроитово-песчаные коллекторы. В фазах максимального развития трансгрессии коллекторами являются органогенные и обломочные карбонатные породы в зоне рифов. Отлагавшиеся в регрессивной фазе циклов глинистые породы и служат покрывками. Приуроченность их к регрессивной фазе объясняется тем, что окружающая суша была пенепленизирована и поставляла в бассейн во время поднятий лишь тонкозернистый материал. С течением времени регрессивные стадии становятся все более кратковременными, а трансгрессивные — более длительными. Однако для данных фаз развития характерно иное соотношение отложений: при относительных поднятиях (стадия регрессии) накапливается грубокластический материал, являющийся коллектором, при опусканиях (стадия трансгрессии) — тонкозернистый (алевритово-аргиллитовый), образующий экраны.

Известна связь нефти и газа с ритмично построенными отложениями флиша, где благоприятные условия создает однотипное чередование пластов-коллекторов и покрывок в среднем через десятки сантиметров при значительной их выдержанности на площади (десятки и даже сотни километров). В данном случае, конечно, должны выделяться как мелкие (элементарные), так и более крупные стратиграфические единицы, в том числе цикличность высших порядков.

Можно привести очень много примеров, когда цикличность осадконакопления является одним из основных факторов образования как ловушек углеводородов, так и их покрывок, в виде литоциклов разного масштаба, строения, литологического и фациального состава, тесно связанных с палеогеографическими условиями и тектоникой.

На Международном геологическом конгрессе в 1984 г. в ряде докладов было уделено внимание цикличности осадконакопления и связанного с ней формирования залежей нефти и газа. При этом в ряде случаев отмечалось подчинение последних крупной периодичности осадконакопления, взаимосвязанной с периодичностью тектонических процессов.

Нельзя забывать, что, кроме нефтегазовых залежей, согласных со стратификацией вмещающих пород, они могут формироваться и не подчиняясь последней, в зависимости от тектонических структур, нарушений, а также от трещиноватости отложений (даже таких, как граниты). Понятно, что в этих случаях говорить о цикличности нефтесодержащих пород не приходится.

К сожалению, детальное изучение нефтесодержащих отложений, а также проведение их фациального анализа затруднено обычно низким процентом выхода керна и широким распространением бескернового бурения, вследствие чего геологи вынуждены определять особенности разреза по геофизическим данным, что часто ведет к выделению литоциклов только более крупного масштаба. Недостаток геологического материала чаще приводит к определению в разрезах лишь литологического состава пород и их размерности. Однако надо учитывать, что и геофизические показатели отражают не только состав пород, и в частности, гранулометрию, но и их фациальный состав (Ботвинкина, 1956 а). Об этом будет сказано ниже в III части работы.

Рассмотрение ряда материалов показало, что для нефтяников часто существенно положение нефтегазоносного горизонта в целом, независимо от того, что он может состоять из ряда циклов 1-го и даже 2-го порядка (мощностью от десятков сантиметров до единиц и десятков метров). В еще большей степени это относится к ритмично построенным толщам. Естественно, что в данной ситуации целесообразно выделение литоциклов более высоких порядков, что лучшим образом может быть реализовано при генетическом — фациальном подходе. Большое практическое значение полезного ископаемого и его своеобразии (способность к миграции и концентрации вне материнских толщ) заставляют проводить оценку связи периодичности в размещении продуктивных залежей с общими закономерностями в геологическом строении (седиментационная цикличность, периодичность тектонических, магматических, климатических и других процессов).

В предыдущих разделах мы в основном рассматривали примеры цикличности (и ритмичности) в осадочных отложениях фанерозоя и лишь немного — в более древних. Между тем закономерен вопрос, изменялся ли характер циклической седиментации с течением геологического времени и есть ли какие-либо ее принципиальные отличия в этой связи.

2.5.3. Докембрийские отложения

Цикличность в них выделялась многими геологами в различных породах, сформированных в разнообразных палеогеографических и тектонических обстановках. Здесь мы ограничимся рассмотрением лишь небольшого количества некоторых примеров периодического осадконакопления в протерозойских отложениях: кластических терригенных, карбонатных, кремнистых, углеродистых и вулканогенно-осадочных.

Например, в докембрии Карелии рядом исследователей: Л. П. Галдобинной (1966), В. З. Негруцей (1963), Т. Ф. Негруцей (1979), В. А. Соколовым (1963), В. А. Соколовым и др. (1970, 1975) и другими проведены очень интересные работы по установлению литоциклов и литоритмов на основе фациально-циклического анализа. Выделялась цикличность седиментации разных порядков, а на фоне литоциклов — ритмичность разных масштабов и типов. Было проведено сопоставление литоциклов с существующими стратиграфическими подразделениями разреза (пачками, толщами). Кроме того, выявлена корреляция периодичности осадконакопления, тектонических движений, вулканизма и формирования определенных типов осадочных образований.

Т. Ф. Негруца (1979) рассмотрела разрез лопийского и карельского комплекса протерозоя (возраст от 1650 до 3500 млн лет) мощностью до 20 км. В этой работе, посвященной вопросу наличия тиллитов, по смене отложений разного состава и генетической принадлежности отчетливо выделены 8 крупных литоциклов n -го порядка. Каждый литоцикл имеет трансгрессивно-регрессивный характер: он начинается размывом кор выветривания и мощными конгломератами типа селевых или мутевых потоков. Последние сменяются комплексами пород, сформированных в морских условиях, после чего наступает активная вулканическая деятельность, сопровождающаяся излияниями основных лав и формированием вулканогенных пород (туфов, туффитов и др.). Затем вновь устанавливаются наземные условия с образованием кор выветривания, завершающих литоцикл. Последующий размыв определяет границу между циклами.

На этом материале отчетливо виден трансгрессивно-регрессивный характер литоциклов, их тесная взаимосвязь с тектономагматическими циклами, приуроченность толщ конгломератов к нижним частям литоциклов, а кор выветривания — к их верхним частям. При этом, судя по приведенным материалам, намечаются еще два литоцикла более высшего порядка ($n+1$), граница которых проходит между сариолием и ятулием. Из них в верхнем появляются карбонатные породы и в общем увеличивается количество алевролитов, аргиллитов, сланцев. Параллельно с этим активность вулканизма в верхнем литоцикле порядка $n+1$ значи-

тельно меньше, чем в нижнем. Эти два литоцикла, по всей вероятности, образуют единый очень крупный литоцикл следующего порядка ($n+2$).

Указанным автором отмечено (с. 85) совпадение максимумов конгломератов с максимумами тектонических и вулканических процессов, которое свидетельствует о том, что основными факторами образования конгломератов являются тектоника и сопутствующий ей вулканизм. С другой стороны, большую роль играло химическое выветривание. Накопление огромного количества грубообломочного материала определялось и эндогенными, и экзогенными процессами. Пространства суши без растительного покрова, обилие воды, расчлененный рельеф, интенсивная сейсмичность и вулканизм — все эти факторы в их взаимодействии влияли на особенности цикличности.

Интересный материал по цикличности только ятулийских отложений протерозоя приведен В. З. Негруцей (1963), который детально проанализировал генезис и взаимоотношения этих отложений в разных районах Карелии, а также их зависимость от накопления в том или ином месте крупных впадин. Осадконакопление контролируется особенностями тектонического режима: во впадинах существовало устойчивое погружение, там формируются полные разрезы значительной мощности. «Областям медленного и незначительного погружения, прерываемого остановками и периодами поднятий, свойственны небольшие мощности осадочной толщи ятулия, внутрiformационные перерывы, реже несогласия и ярко выраженная ритмичность (по нашей терминологии, цикличность. — Л. Б., В. А.)» (с. 70). Это области периферийных частей впадин. На границах прогибов и поднятий обычно фиксируются краевые разломы. Неравномерность тектонических движений достигает максимума в среднеятулийское время и затухает к концу верхнеятулийского. Мощность осадочной толщи среднего ятулия в полных разрезах достигает 1300 м, в неполных уменьшается до 200—400 м. Быстрое накопление осадков почти полностью компенсировало существовавшие прогибы. Впоследствии ятулийские породы были метаморфизованы, рассланцованы и смяты в складки. Тем не менее указанному автору удалось детально проанализировать все признаки пород, установить их фаціальную принадлежность и циклический характер седиментации. На рис. 32 мы отчетливо видим разделение мощной толщи среднего ятулия на юго-западном крыле Летнеозерской мульды на четыре сходно построенных литоцикла (автор их называет ритмами) от более грубозернистых прибрежно-бассейновых фаций внизу до более тонкозернистых отложений фаций бассейнов со спокойной гидродинамикой, т. е. они имеют трансгрессивную направленность изменения фаций. При этом нижний цикл имеет максимальную мощность в основном за счет нижней, более прибрежной части. Верхний лито-

цикл завершается переслаиванием песчано-глинистых и доломитовых пород, сформированных в мелководных, а возможно, и пресноводных лагунных условиях. Венчают разрез отложения диабазов.

Мощность этих литоциклов — сотни метров. Даже по такому кратко изложенному материалу видно, что это литоциклы какого-то высшего порядка (очевидно, 2-го или 3-го), а каждая их составляющая, в свою очередь, может быть разбита на литоциклы низшего порядка, проследить которые при наличии такого фактического материала оказалось невозможным.

Кроме того, все четыре литоцикла образуют один среднеятулийский осадочный цикл следующего порядка, а с залегающими выше эффузивами — крупный осадочно-вулканогенный литоцикл среднего ятулия, который соответствует тектономагматическому циклу.

В. З. Негруца отметил трансгрессивное налегание верхних литоциклов на нижние, в результате чего отложения верхних литоциклов занимают большие площади по сравнению с нижними литоциклами, но при этом сокращается их мощность. Дана гипотетическая интерпретация залегания литоциклов на глубине с последовательным их выклиниванием (рис. 32,б).

Наконец, кроме цикличности, В. З. Негруца выделил в конгломератах настоящую ритмичность значительно меньшего масштаба: мощность литоритмов — от десятков сантиметров до 1—2 м, они представлены чередованием конгломератов и песчаников. В других случаях — в конгломератах появляются прослой алевролитов и аргиллитов, заключающих лимнические ритмы, на верхних границах которых иногда хорошо выражены трещины усыхания и борозды размывов.

Л. П. Галдобиной (1975) в ятулийских отложениях района Сегозера — Елмозера на основе фациально-циклического анализа было выделено 8 циклов 1-го порядка (соответствующих пачкам), объединяемых по два в четыре литоцикла 2-го порядка (рис. 33).

Интересно отметить, что нижний из них, залегающий на размытой поверхности среднего протерозоя, имеет в области максимального прогибания значительно большую мощность, чем верхние. Очевидно, одинаковое соотношение скоростей прогибания и заполнения осадками здесь существовало довольно длительное время. Сложен литоцикл целиком песчаными породами, формирующимися в условиях сначала активной гидродинамики, а затем в обстановке более спокойной, удаленной от берега. Завершается он размывом.

Литоциклы 2-го порядка — II и III построены в общем однотипно, хотя и сложены отложениями разных фаций в различных участках. Начинаются они наиболее прибрежными осадками, а завершаются эффузивными излияниями основных лав, причем последние в III литоцикле значительно преобладают. Этот литоцикл

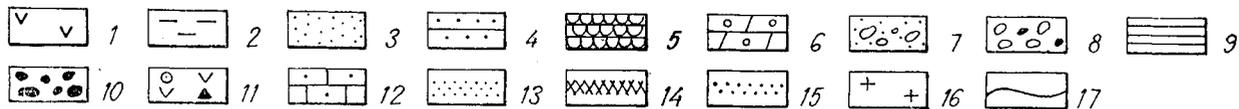
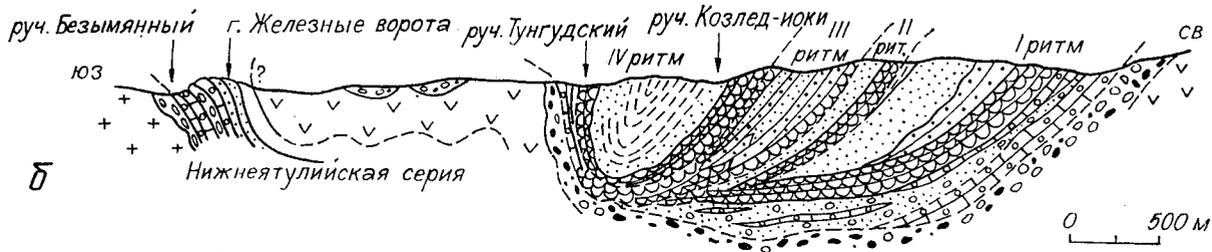
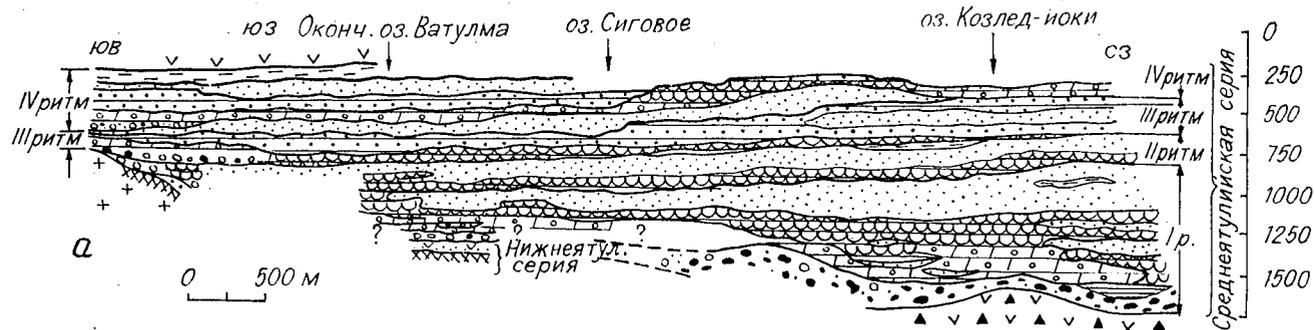


Рис. 32. Литолого-фациальные разрезы ятулийских отложений юго-западного крыла Летнеозерской мульды (по В. З. Негруце, 1963):

a — продольный разрез; *б* — сводный разрез с гипотетической интерпретацией на глубину; *1* — порфировидные афанитовые диабазы, мандельштейны; *2* — мелко- и среднезернистые серицитовые кварцитопесчаники, алевролиты, доломитовые песчаники и доломиты, обычно тонкопараллельно-слоистые — бассейновые мелководные и, возможно, пресноводные лагунные фации; *3* — мелко- и среднезернистые серицитовые, реже карбонатные кварцитопесчаники с тонкой параллельной слоистостью — фации бассейнов, в которых волнение не достигло дна; *4* — средне- и крупнозернистые кварцитопесчаники тонкопараллельно-слоистые со знаками ряби и линзами гравелитов с косою слоистостью — мелководная бассейновая фация; *5* — хорошо отсортированные преимущественно крупнозернистые кварцитопесчаники, характеризующиеся высокой окатанностью зерен и косою слоистостью перекрестного типа, с маломощными линзами гравитных кварцевых конгломератов, гравелитов и разнозернистых кварцитопесчаников с однонаправленной косою слоистостью — прибрежно-бассейновые фации; *6* — плохо отсортированные и совершенно несортированные аркозовые разнозернистые кварцитопесчаники и гравелиты, аркозы с доломитовым цементом, алевролиты с косою слоистостью, осадочные алевролитовые брекчи — аллювиально-пролювиальные фации и фации временных потоков; *7* — кварцево-гранитные и полимиктовые галечники, конгломераты, аркозы, аркозовые кварцитопесчаники — русловые фации; *8* — полимиктовые крупно- и мелкогалечные конгломераты и осадочные брекчи — делювиально-пролювиальные и коллювиальные фации; *9* — ленточные сланцы, граувакки и туффиты — озерные фации; *10* — диабазовые и гранитные конгломераты и конгломератобрекчи, иногда с маломощными прослоями туфов и мандельштейнов — делювиально-пролювиальные и коллювиальные фации; *11* — туфобрекчи, мандельштейны, варнолиты, пемзы — наземные вулканогенные фации; *12* — кварцевые доломиты — лагунные фации; *13* — тонкозернистые тонкопараллельно-слоистые мономиктовые серицитовые кварциты — мелководная бассейновая фация; *14* — каолиновая кора выстирания — коллювиальная фация; *15* — щебневые аркозы — элювиальная фация; *16* — граниты и гранитоидеисы; *17* — разломы, фиксирующие границы ритмов

по возрасту соответствует среднетятулийскому времени. В его основании выделено два литоцикла 1-го порядка небольшой мощности, оставшая часть занята лавами. Наконец, верхний IV литоцикл 2-го порядка сложен морскими отложениями и содержит два литоцикла 1-го порядка, верхний из которых завершается карбонатными отложениями. Можно сказать, что эти четыре литоцикла 2-го порядка вместе образуют ятулийский литоцикл 3-го порядка, причем в середине его отменяется прибрежные и континентальные условия и излияния лав, завершается же он осадконакоплением в наиболее мористой обстановке. Таким образом, формирование этого крупного ятулийского литоцикла началось длительным погружением, компенсированным осадконакоплением, затем условия стали более стабильными, погружение ослабело, активизировалась вулканическая деятельность; завершается он вновь усилившимся погружением без столь активной компенсации. Изменение фаций — от морских через прибрежные и даже континентальные до наиболее мористых, т. е. репрессивно-трансгрессивное с преобладанием трансгрессивной направленности.

Кроме цикличности разных порядков, Л. П. Галдобиной (1966) подробно описана ритмичность в терригенных отложениях. Она выделила литоритмы разных типов и их разновидностей, отличающиеся своей мощностью, строением, составом и текстурой, а также принадлежностью к той или иной фациальной обстановке.

Рис. 33. Фациальный профиль нижней, средней и верхней осадочных толщ ятулии района Сегозера — Елмозера (по Л. П. Галдобину, 1975):

1 — сарнилицкие конгломераты среднего протерозоя; 2а — зеленые сланцы нижнего протерозоя; 2б — граниты протерозоя; 3 — эффузивные породы ятулии; *фацис*: 4 — прибрежные с течениями и периодическим обмелением дна, 5 — бассейновые с донными течениями, 6 — устойчивого бассейна, удаленного от берега, 7 — прибрежные с береговыми течениями и периодическим отложением от общего бассейна, 8 — бассейновые с устойчивыми донными течениями, 9 — прибрежные с береговыми течениями, 10 — мелководные с периодическим обмелением дна, 11 — прибрежные, частью бассейновые, 12 — аллювиальные: русловые, прирусловые, пойменные, 13 — небольшие замкнутого водосема, 14 — прибрежно-аллювиальные с береговыми течениями, 15 — мелководные с донными и береговыми течениями, 16 — мелкий заливон, 17а — мелководного бассейна: донные валы, косы, пересыпи, донные течения, 17б — зоны приобь, 18 — бассейна, удаленного от берега, 19 — устойчивого неглубокого бассейна, 20 — открытого бассейна морского типа; 21 — мера литолого-стратиграфических разрезов

Они закономерно сменяют друг друга в разрезе. Определенные типы литоритмов и их сочетания характеризуют пачки (т. е. литоциклы 1-го порядка). Мощность литоритмов от единиц сантиметров до первых единиц метров. На основании детального изучения литоритмов Л. П. Галдобина делает вывод, что сочетания ритмов позволяют проследить направленность изменения фациальных особенностей осадконакопления. Характер литоритмов и их взаимные переходы могут помочь при прослеживании разрезов, что существенно для немых осадочных толщ. Изучение ритмичности и цикличности в древних осадочных толщах и соподчинение единиц разных порядков позволяет познать геологическое развитие области осадкообразования, в частности «на основе тщательного фациально-циклического анализа осадков позволит не только оконтурить площади седиментации в ятулии, но и определить зоны с различными физико-географическими условиями осадконакопления, установить площади формирования типов пород и связанных с ними полезных ископаемых» (с. 91).

Позже В. А. Соколовым и другими исследователями (Соколов, Галдобина, 1970; Соколов и др., 1975) были обобщены существующие материалы и выделены литоциклы пяти порядков.

Литоциклы 1-го порядка мощностью 10—150 м в разных районах выделяются с неодинаковой отчетливостью и соответствуют подпачкам. Границы между ними иногда имеют следы размыва. Они слагаются ритмами одной разновидности, представлены отложениями близких фаций и прослеживаются на расстоянии 1—5 км. Их количество в разных прогибах может быть различным. Они имеют местное стратиграфическое значение (вероятно, их следует считать сублитоциклами местного значения).

Литоциклы 2-го порядка отчетливо выделяются в ряде районов, мощность их от десятков до сотен метров. Они включают 2—

3 цикла 1-го порядка и представлены различными отложениями, чаще от прибрежных и континентальных до бассейновых, более удаленных от берега, и в этом случае имеют трансгрессивную направленность изменения фаций. Прослеживаются литоциклы 2-го порядка на расстоянии до 150—200 км, по объему соответствуя пачкам, имея стратиграфическое значение в пределах седиментационной области. Их границы часто имеют следы размыва, а появление обуславливается дифференцированными блоковыми движениями. По существу, именно эти литоциклы следует считать элементарными литоциклами 1-го порядка (как они и были выделены Л. П. Галдобиной).

Литоциклы 3-го порядка в разрезе имеют следующую последовательность фаций: от континентальных к бассейновым в середине и вновь к континентальным в верхней части литоцикла, т. е. имеют трансгрессивно-регрессивный характер. Слагаются они в разных районах разными породами и соответствуют подтолщам, прослеживаются на сотни километров, имея важное маркирующее значение для корреляции полифациальных ятулийских отложений. Эти литоциклы соответствуют литоциклам 2-го порядка, выделенным Л. П. Галдобиной, и ритмам, выделенным В. З. Негруцей. В частях этих циклов, представленных карбонатными породами, отмечены горизонты водорослей.

Литоциклы 4-го порядка бывают осадочные и вулканогенно-осадочные. По объему они отвечают подотделам ятулия (нижнему, среднему и верхнему), имеют в кровле покровы основных пород или синхронные им осадочно-вулканогенные отложения. Они отделены один от другого эпохами магматизма, вулканизма, периодами тектонического покоя (с образованием кор выветривания) и частично размывами. Эти литоциклы прослеживаются на сотни километров и хорошо коррелируются на территории всей Карелии.

Литоцикл 5-го порядка соответствует ятулийскому отделу в целом и отражает общую трансгрессивно-регрессивную последовательность в ятулии: от континентальных терригенных и карбонатных к терригенно-карбонатным морским в середине и до мелководных шунгито-карбонатно-сланцевых в кровле.

Количество литоциклов в разных прогибах бывает неодинаковым, так как они развивались в основном на фоне опусканий, которые в разных прогибах были индивидуальными, и лишь литоциклы высших порядков более или менее единообразны. Поэтому сопоставление разрезов по литоциклам 1-го и 2-го порядков возможно в основном в пределах данного прогиба, а циклическое осадконакопление в разных тектонических структурах следует коррелировать по литоциклам более высших порядков.

Карбонатные породы среднего и верхнего ятулия представлены известняками и доломитами абиогенного и биогенного строма-

толитового происхождения; они, как отмечают исследователи, переслаиваются с песчаными породами, или же известняки чередуются с доломитами, а последние — с кремнистыми породами, формируя литоциклы низших порядков (или же литоритмы).

Так, например, в кремнисто-доломитовой пачке среднего ятулия мощностью 36 м было выделено 24 слоя-ритма (Проблемы геологии среднего протерозоя Карелии, 1972, с. 135). В основании ритма — песчаный доломит либо песчаник с карбонатным цементом. Вверху — песчанистые или слабопесчанистые слоистые доломиты. В других местах ритмы более мощные — от 1 до 3 м и имеют более сложное строение: в основании песчаник с карбонатным цементом или песчаный доломит, переходящий выше в карбонатно-кварцево-гематитовый сланец. В указанной работе приводится ряд примеров иного строения литоритмов в зависимости от места в той или иной пачке. При этом масштаб ритмичного чередования различный — от миллиметров до единиц метров. Границы между ритмами обычно резкие.

Таким образом, можно сделать вывод, что для всех отложенных ятулия — кластических терригенных и хемогенных разного состава, устойчиво характерно ритмичное строение. При этом литоритмы различаются по своему составу и строению в зависимости от принадлежности к той или иной пачке слоев. Следовательно, тип ритма может быть использован как один из стратиграфических признаков, что весьма существенно для докембрийских толщ, лишенных руководящих остатков организмов.

Литоциклы низших порядков чаще представлены сменой фаций от более прибрежных (или даже континентальных) до более глубоководных; как правило, они имеют асимметричный характер и трансгрессивную направленность.

Мощность литоциклов очень изменчива в зависимости от их формирования в разных тектонических зонах и отдельных прогибах, как в целом для всего ятулийского литоцикла (от 200—400 до 1300 м), так и для отдельных слагающих его литоциклов низших порядков. В формировании последних участвуют и осадочные и вулканогенные породы, которые обычно завершают крупный литоцикл *n*-го порядка. Таким образом, мы имеем здесь сложную цикличность с образованием литоциклов собственно осадочных и осадочно-вулканических (большого масштаба).

На фоне осадочных литоциклов 1-го порядка часто формируются подчиненные им и характерные для них литоритмы. Возможно, что ритмичность обуславливается не тектоническими движениями, а климатическими изменениями или даже сезонными колебаниями.

Указанные выше исследователи обратили внимание на наличие рудных элементов в связи с возможным прогнозированием. Так, например, отмечена приуроченность повышенных concentra-

ций золота к наиболее континентальным условиям (аллювиальным фациям), т. е. к верхней области перегиба циклической кривой. Мономинеральные кварциты (результат метаморфизма чистых кварцевых песков), отвечающие требованиям промышленности, наоборот, формировались в наиболее глубоководной морской обстановке и приурочены к максимуму трансгрессии, т. е. связаны с «нижним» перегибом циклической кривой.

Особо стоит вопрос о связи с осадконакоплением *шунгита*, а в зависимости от этого — выяснение происхождения последнего, приуроченного к определенным горизонтам и слоям, что, казалось бы, говорит в пользу его седиментационного генезиса. Однако отмеченная связь его с вулканизмом и примыкание этих горизонтов к дайкам и жилам изверженных пород указывает на эндогенное происхождение углерода шунгита.

Л. П. Голдобиной и В. И. Горловым (1975) был проведен фациально-циклический анализ шунгитосодержащих толщ верхнего ятулия: образования верхней подсвиты заонежской свиты слагают литоцикл 3-го порядка, состоящий из трех циклов 2-го порядка (равных пачкам), разделяющихся на литоциклы 1-го порядка (равных подпачкам). На фоне последних установлено отчетливо ритмичное строение. Шунгитовое вещество присутствует во всех породах верхней подсвиты, концентрируясь в наиболее тонкодисперсных разностях верхних частей ритмов (Галдобина, 1975). Пласты шунгитовых пород залегают в нижней части первой пачки и в верхней части второй пачки. Таким образом, шунгит занимает разное место в циклах. При этом шунгитовые породы обладают различной материальной основой.

На основании изучения фациальных обстановок седиментации и их связи с вулканизмом указанные авторы пришли к выводу, что шунгитовое вещество поступало в бассейн осадконакопления пульсационно и связано с этапами вулканизма. Шунгитовые породы трех продуктивных пластов формировались в различных фациальных условиях и сочетаются в разрезе с различными генетическими типами пород.

Вместе с тем существует парагенетическая ассоциация с продуктами вулканизма. Все это, по мнению авторов, свидетельствует об эндогенном характере углерода.

Естественно, мы не можем включаться в эту обширную дискуссию, но хочется высказать следующее соображение в связи с изучением цикличности. Весьма существенна связь этих углеродистых образований с местом в литоциклах. Если шунгит неизменно приурочивается не только к определенным слоям, но и к одному и тому же месту в осадочном цикле, то это один из фактов, свидетельствующих в пользу его осадочного происхождения. Если же такой связи с седиментационной цикличностью нет, то это говорит в пользу эндогенного происхождения.

Характеризуя периодичность формирования пород, являющихся полезными ископаемыми, определим ее для железистых кварцитов протерозоя Карелии. Выше при рассмотрении цикличности в кремнистых отложениях мы упомянули о таковой в железистых кварцитах Криворожья и Курской магнитной аномалии, где отметили крупную цикличность. Однако одним из характернейших признаков таких образований является их четко выраженная мелкая ритмичность разных порядков.

Г. А. Беленицкая (1966), детально рассмотрев ритмичность разных порядков в Приимандровском районе Кольского полуострова, пришла к следующим выводам. Каждый ритм имеет не менее чем двучленное строение и состоит из существенно магнетитового и существенно кварцевого членов, связанных с постепенным переходом через прослой магнетито-кварцевого состава; последний бывает выражен различно. Границы ритмов обычно резкие. Мощности литоритмов от миллиметров и долей миллиметров до нескольких сантиметров. Имеются ритмы простого и сложного строения (рис. 34). В последних переходы от существенно магнетитового члена к кварцевому осуществляются или за счет уменьшения количества рудного элемента (рис. 34, а), или через переслаивание (иногда многократное) магнетитовых и кварцевых прослоев, с постепенным убыванием количества и мощности прослоев первого компонента и увеличением второго (рис. 34, б). (Такое строение литоритмов вообще типично для ритмической седиментации).

Причиной такой стратификации автор считает порядок выпадения коллоидов и различие скоростей оседания частиц разной дисперсности (и, очевидно, удельного веса). Каждый слоек образован частицами одной фракции, а их размер убывает от нижней к верхней части слойка. Коллоидный раствор кремнезема коагулировал позже и в момент коагуляции гидроксиды железа являлись дисперсной средой. Автор справедливо отмечает, что иногда остается неясным — объединять ли группу слойков в сложный ритм или подразделить их на несколько ритмов. Совершенно очевидно, что сложные ритмы являются ритмами 2-го порядка, неоднократно описанными в иных образованиях.

Так как было установлено, что магнетитовый слоек всегда является нижним членом литоритма, Г. А. Беленицкая делает

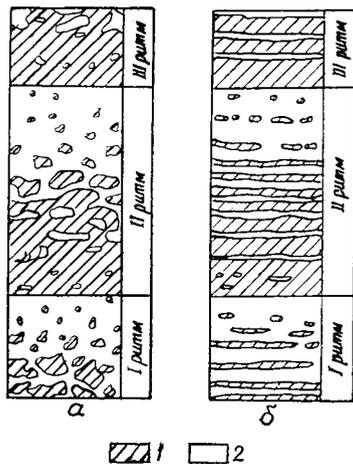


Рис. 34. Строение ритмов железистых кварцитов:
а — простое; б — сложное; 1 — магнетит; 2 — кварц

весьма существенный вывод: «Ритмичность железистых кварцитов может быть широко использована при стратиграфических и структурных построениях». Так как толщи железистых кварцитов сильно дислоцированы и в этих древних толщах нет четких критериев для их стратификации и для определения условий залегания (нормального или опрокинутого), то изучение ритмичности может способствовать решению этих задач.

Остается не совсем ясной причина пульсационного поступления смешанного коллоидного осадка. Не исключено, что это отдаленная причина ритмичности сезонного характера.

2.5.4. Высокометаморфизованные отложения

Вопросы периодичности в данных отложениях разберем на примере исследований Г. И. Леонтьева (1971, 1972, 1974 и др.). Этим автором в высокометаморфизованной мамской толще Байкало-Патомского нагорья, сложенной кварцитами, сланцами и гнейсами разного состава, было выделено 50 литолого-петрографических разновидностей парапород (1971), ритмично повторяющихся в разрезах. Эти образования были объединены соответственно их составу в метафации, являющиеся элементами ритмов*: глинисто-песчаную (I э.р.) алевритово-глинистую (II э.р.), карбонатную (III э.р.) и глиноземистую (IV э.р.), которые подразделялись на литофациальные разновидности, составляющие подэлементы ритма. Проанализировав их соотношение в разрезе, автор установил, что большинство ритмов имеет трансгрессивный характер, примерно 1/3 — хорошо развитую трансгрессивную и неполно развитую регрессивную часть, ритмы регрессивного типа редки, не обнаружено ни одного ритма симметрично зеркального типа. Таким образом, большинство выделенных единиц являются гемиритмами. По количеству составляющих гемиритм элементов автором выделены 4 класса: I — одноэлементные (зачаточные), II — двухэлементные (неразвитые), III — трехэлементные (неполные) и IV — четырехэлементные (полные) гемиритмы.

Применив к этим отложениям метод коннекции, предложенный Н. Б. Вассоевичем, путем построения ритмограмм и их сравнения по отдельным разрезам удалось провести сопоставление последних. Были выделены маркирующие гемиритмы. При этом, хотя регрессивные гемиритмы в разрезе играли по количеству незначительную роль (не более 7—8% общего количества гемиритмов), некоторые из них были достаточно характерны, уве-

* Здесь мы везде сохраняем терминологию Г. И. Леонтьева, но, по нашей терминологии, это не ритмы, а литоциклы.

ленно опознавались и прослеживались через всю изученную площадь. Автор предполагает, что они фиксировали периоды наиболее интенсивных поднятий кордильер палеоконтинента и являлись стратиграфическими рубежами (Леонтьев, 1972). Мощность выделенных гемиритмов — десятки метров (вариации 61—84 м), мощность элементов ритма более изменчива.

За начало отсчета в случае полного набора была принята кровля хорошо диагностируемых в полевых условиях наиболее глубоководных высокоглиноземистых осадков (различные дистенсодержащие гнейсы и сланцы).

В результате коннекции ритмограмм в полном нормальном разрезе изученной части толщи выделено 112 элементарных седиментационных гемиритмов суммарной мощностью более 5000 м. Выделенные ритмы были объединены в 11 ритмов 2-го порядка («мезоритмы») средней мощностью 250 м. Они, по мнению автора, соответствуют понятию пачек или подсвет. Эти мезоритмы объединены в два ритма 3-го порядка («мегаритмы») средней мощностью более 2000 м. Они оценивались как стратиграфические эквиваленты свит. Наконец, были намечены ритмы 4-го порядка (почему-то тоже названные «мегаритмами») средней мощностью до нескольких тысяч метров, сопоставляемые с поднятиями (Леонтьев, Гирс, 1974). Г. И. Леонтьев считает, что ритмичность отложений возникла в результате тектонических движений, и относит эту толщу к флишоидной субформации.

Итак, работа, проведенная по изучению ритмичности отложений, позволила автору расчленить разрезы на отдельные стратиграфические единицы, сопоставить на значительном расстоянии различные структуры и обосновать выделение Мамского синклинория как особой геологической структуры. Кроме того, он отметил приуроченность слюдоносных жил к определенным частям этого ритмически построенного разреза.

В. Е. Закруткин (1980 *а, б*) показал, что в метаморфических породах докембрия имеются концентрации органического углерода, по значению не уступающие послерифейским образованиям. Они подчиняются тем же закономерностям, что и в фанерозе, в том числе периодичности вмещающих отложений. Указанным автором в докембрии Приазовского блока Украинского щита в углеродистой формации было отмечено двучленное циклическое строение. Литоциклы n -го порядка имеют мощность более тысячи метров и соответствуют частям свит и свитам. Реконструкция первичной природы слагающих толщу отложений разнообразного состава — гнейсов (в том числе графитовых), кварцитов, железисто-кремнистых пород, мраморов и др. показала, что углеродистая формация была образована преимущественно песчаниками с участием глин, карбонатных, железисто-кремнистых и вулканогенно-осадочных пород. «В основании циклов залегают сравнительно

однородные (возможно, с зачаточной крупной ритмичностью) песчаниковые толщи. Верхние половины циклов ритмично-слоистые (очевидно, они сложены литоциклами низших порядков.— Л. Б., В. А.). Мощность ритмично-слоистых пачек закономерно увеличивается вверх по разрезу, а однородных убывает. К ритмично-слоистым пачкам приурочены все породы с повышенным содержанием органического углерода» (Закруткин, 1980 б, с. 47). Наиболее высокие его концентрации приурочены к первично глинистым породам. Совершенно чистые пески и доломиты практически не содержат сингенетического органического вещества.

Таким образом, особенности периодичности в углеродистых формациях докембрия сходны с таковыми фанерозоя.

О. И. Лунева (1982), анализируя процессы осадконакопления архейских кристаллических сланцев Кольского полуострова путем комплексного применения разных методов, выявила изначальные типы и разновидности пород, что дало ей возможность провести их фациальный анализ и выявить ритмы (по нашей терминологии, литоциклы.— Л. Б., В. А.) разных масштабов. В луленгской толще выделены макроритмы мощностью 100—150 м, подразделяющиеся на мегаритмы мощностью 20—35 м, имеющие двух- и трехчленное строение. Более мелкие ритмы имеют мощность 1,5—2,5 м. Отмечена четкая тонкая слоистость пород. В кандалакшской толще мощность макроритмов меньше: 30—40 м. В них отмечается слоистость, обусловленная чередованием слоев разного состава. Слои мощностью от 3—5 до 15—20 см являются разной зернистостью породы и ее составом (присутствием граната, кварца). Самые тонкие слоики от долей миллиметров до 1—3 мм различаются только количественными соотношениями породообразующих минералов. Была выделена ритмичность, характеризующая и другие толщи докембрия. В целом обстановка формирования толщ охарактеризована как постепенная смена условий седиментации в пределах крупного цикла, с развитием хемогенного осадконакопления при отсутствии вулканизма в спокойной тектонической обстановке. Этот крупный литоцикл в общем трансгрессивного типа; его регрессивная часть была уничтожена во время длительного континентального перерыва с образованием коры выветривания.

Как видно, ритмичность и цикличность может быть восстановлена даже в высокометаморфизованных древнейших отложениях.

Из приведенных материалов следует, что и для древних толщ периодичность осадконакопления разных порядков и масштабов, выраженная в цикличности и ритмичности, присуща в той же мере, как фанерозойским. Это явление реализуется в породах в результате изменения фациальных условий или же периодической подачи того или иного осадка в бассейне седиментации, в зависимости от действия различных факторов. Из сказанного можно

сделать вывод, что цикличность осадконакопления — такое же постоянное явление в жизни Земли, как действие гравитации, закономерности физических и химических процессов и др.

Однако намечается и некоторая специфичность. Можно предположить, что цикличность в докембрии имеет более крупный масштаб по сравнению с фанерозоем. Так, например, литоциклы имеют бóльшую мощность по сравнению с фанерозойскими (особенно в терригенных отложениях). Литоциклы 1-го порядка изменяются уже десятками и сотнями метров, а более высших порядков соответствуют подсвитам, свитам и еще более крупным стратиграфическим подразделениям. Возможно, это связано с более активным и быстрым размывом суши при отсутствии на ней наземной растительности. Но, делая такое предположение, нельзя забывать, что послойное изучение протерозойских толщ часто затруднено их сильной метаморфизованностью. Поэтому не исключено, что более детальные исследования «от слоя к слою», с определением фациальной их принадлежности (как это было сделано, например, в угленосных толщах), могли бы в ряде случаев выявить литоциклы и более низших порядков, по масштабу более соответствующие литоциклам фанерозоя. Что же касается ритмичности, то она наиболее сопоставима (так, например, ритмичность кремнистых образований сохраняет черты, присущие ритмам в более молодых кремнистых формациях).

Ритмичность седиментации была вообще весьма характерна для осадконакопления в древних морских бассейнах. Возможно, это связано с тем, что большое влияние на процессы седиментации оказывал гидродинамический фактор в зависимости от сезонов, климата и тектоники, без смягчающего влияния растительного покрова и почвообразовательных процессов. Поэтому ритмы по составу часто гранулометрические или кластогенно-хемогенные.

Вообще изучение периодичности осадконакопления древних докембрийских толщ и ее особенностей — это самостоятельная и интересная тема, требующая специальной работы над разнообразным фактическим материалом по различным объектам с последующим его обобщением.

* *
*

В настоящей главе мы привели лишь немногие примеры периодической седиментации в различных формациях, так как рамки данной работы не позволили увеличить количество приводимого фактического материала. Однако нам кажется, что даже то, что приведено здесь, позволяет сделать ряд выводов, которые будут изложены в следующей части, тем более что авторами для этого было проработано большое количество фактического материала, оставшегося за пределами нашего текста.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

В предыдущей главе мы рассмотрели ряд примеров циклического строения в отложениях разнообразных формаций. Из этого материала (а также многих других, здесь не упомянутых) выявляется следующее. Во-первых, основные общие черты циклической седиментации, присущие ей независимо от принадлежности отложений к той или иной формации. Это служит основанием для создания классификации литоциклов. Во-вторых, зависимость циклического строения отложений от различных причин и условий — палеогеографических, климатических и синхронной тектоники. С этим связаны специфические черты проявления цикличности в отложениях различных формаций. Таким образом осуществляется взаимосвязанность фашиально-циклического и формационного анализов. В-третьих, основные законы, которым подчиняется циклическая седиментация, в том числе место в литоциклах различных полезных ископаемых, что особенно существенно с практической точки зрения. Дальнейшие главы (3, 4 и 5) посвящены этим трем аспектам исследования.

Глава 3. ВЫДЕЛЕНИЕ ЛИТОЦИКЛОВ И ИХ ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ. ТЕРМИНОЛОГИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИТОЦИКЛОВ. ЛИТОРИТМЫ

3.1. Основные черты циклической седиментации

Цикличность осадконакопления — явление сложное, и содержание его двойственное: с одной стороны — это направленность развития процесса седиментации, с другой — его повторяемость.

На первых этапах исследования геологам бросалась в глаза именно повторяемость сходных циклов в составе осадочной толщи, а не детали изменения их внутреннего строения (что и вызвало, как мы указывали выше, сравнение цикла с кругом).

В ходе более углубленных исследований обнаружилась направленность изменения признаков пород как внутри каждого цикла,

так и от цикла к циклу в осадочной толще. Поэтому в ряде работ внимание было сосредоточено именно на этом признаке, как отрицающем «круговое» развитие. Кроме того, отмечалось, что общий смысл понятия «цикл» не требует повторения: может быть только один цикл (например, цикл лекций). В результате повторяемость явления иногда стала выпадать из даваемого определения термина «цикл». На этом настаивал в своих работах Н. Б. Вассоевич (1977), который писал: «Цикл — единичная последовательность реальных, представляющих ступени, фазы, этапы, стадии, элементы какого-либо развивающегося процесса» (с. 39). И далее (на с. 91) он писал, что признак повторяемости для этого термина следует считать избыточным и, следовательно, он должен быть отброшен.

Но если в том или ином случае цикл определенных действий и может быть единственным, то в геологии положение несколько иное. Дело в том, что циклическое осадконакопление — это не одноактный и не кратковременный процесс, а закон развития седиментации в определенных условиях. Если условия были таковы, что в осадочной толще сформировался один литоцикл, то значит формировались и другие. Надо только иметь в виду, что литоциклы бывают разной мощности, и при большой ее величине на какой-то ограниченной части разреза (например, в геосинклинальных толщах) может быть обнаружен лишь один литоцикл. Выйдя же за его пределы (выше или ниже по разрезу), исследования неизбежно приведут к выявлению ниже- и вышележащих седиментационных циклов. *Для циклически построенной толщи характерны и относительная повторяемость литоциклов, и их направленное изменение.*

3.1.1. Определение литоциклов и их типы

Рассмотрение ряда конкретных примеров цикличности в осадочных толщах разного литологического и фациального состава позволяет нам дать определение понятия «литоцикл», а также выявить основные черты, ему присущие.

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.

Каждый последующий цикл начинает формироваться в условиях, в чем-то сходных с началом цикла предыдущего. Возникает

вопрос, является ли необходимым признаком цикличности резкость границ между смежными циклами? Рассмотрение конкретного материала показало, что признак резкости границ не должен входить в определение понятия литоциклов, так как границы их бывают различны: очень резкие, резкие, контакты размыва, отчетливые и

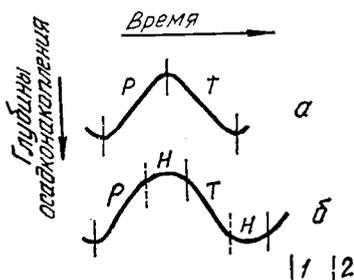


Рис. 35. Кривые, отражающие изменение условий седиментации с течением времени:

a — простой цикл (с относительно быстрым переходом от регрессии (*p*) к трансгрессии (*t*)); *б* — цикл с «растянутыми» нейтральными (*н*) частями, завершающими регрессивную и трансгрессивную части цикла; 1 — границы цикла; 2 — границы частей цикла

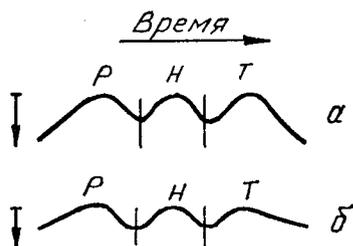


Рис. 36. Кривая, показывающая соотношение регрессивного (*p*), нейтрального (*н*) и трансгрессивного (*t*) циклов: *a* — начало и конец циклов *p* и *t* формируются на разных глубинах; *б* — начало и конец всех циклов формируются на одной глубине. Стрелки показывают изменение глубин осадконакопления

представленные постепенными переходами. Характер границ зависит от конкретных условий седиментации. Для полных циклов более характерны постепенные переходы; неполные циклы и тем более полуциклы обычно имеют резкие границы.

Полный цикл седиментации состоит из двух основных частей — регрессивной и трансгрессивной. В регрессивном ряду смена фаций происходит в направлении от морских (или вообще бассейновых, водных) условий осадконакопления до все более прибрежных, наземных. В трансгрессивной части цикла наблюдается обратная последовательность фаций: от наземных или прибрежных до все более мористых (или все большей обводненности) — рис. 35, *a*.

Однако зачастую переходы между этими двумя основными частями бывают как бы растянуты во времени, что связано с медленным изменением факторов, обуславливающих смену фаций (например, в связи с затуханием поднятий и появлением относительной стабилизации тектонического движения перед началом опускания). Это сказывается в появлении средних частей циклов, названных автором «нейтральными» (Ботвинкина, 1953). Таких частей может быть две: одна завершает развитие регрессивного ряда фаций, другая — их трансгрессивное развитие (рис. 35, *б*). В нейтральных частях циклов диапазон изменения фаций чаще неболь-

шой, они как бы колеблются около какого-то уровня без отчетливо выраженной тенденции к изменению (рис. 36). Между тем гранулометрический состав нейтральных частей литоциклов может сильно колебаться, особенно при формировании в наземных условиях, в частности в связи с наличием аллювиальных отложений.

Схематически наиболее отчетливо это выражается волнистой кривой. При этом по вертикали отмечается изменение фаций, а по горизонтали — время формирования того или иного слоя в разрезе. Восходящая ветвь кривой — регрессивная, нисходящая — трансгрессивная.

Надо подчеркнуть, что даже в полных циклах его основные части чаще всего не равны, какая-то из них преобладает (по масштабу, набору фаций, их диапазону или другим признакам). Это обусловлено формированием каждого цикла на фоне той или иной общей направленности изменения седиментации в цикле следующего порядка.

Таким образом, характерной чертой литоциклов является их асимметрия, а совершенно симметрично построенные литоциклы — скорее исключение, чем правило. Но эта асимметрия может быть выражена различно в каждом конкретном случае. Схематично это отражено на рис. 36. Более того, даже при кажущемся симметричном строении надо учитывать, что отложения, сформированные в одной и той же обстановке, но принадлежащие разным частям цикла, отличаются по своему составу, включениям или по каким-либо другим признакам. Это и понятно: к примеру, в одной и той же морской обстановке, но моря регрессирующего, отступающего или же моря трансгрессирующего, наступающего на сушу, формируются различные осадки. Так, лагунные отложения регрессивного ряда фаций в угленосной толще значительно отличаются от лагунных отложений трансгрессивного ряда. Этот вопрос был детально разобран на конкретных примерах (Ботвинкина, 1956 б). Указанное обстоятельство еще более усугубляет асимметричность строения литоциклов.

На основе неравномерного развития регрессивной и трансгрессивной частей циклов последние могут быть соответственно и типизированы. Циклы с преобладающей трансгрессивной частью — это циклы трансгрессивного типа или просто трансгрессивные (*т*). Циклы, в которых преобладает регрессивная часть, называются регрессивными (*р*). Циклы же, в которых обе части более или менее равны (при этом они обычно и более слабо выражены), названы циклами нейтрального типа (*н*) или нейтральными (Ботвинкина, 1953). Эти три типа конкретных циклов были видны также на рис. 1, где нижний цикл — регрессивный, второй — нейтральный, а верхний — трансгрессивный, что отражено в характере кривой, схематично отражающей ход седиментации во времени.

Направленность изменения фаций, характеризующая тип цик-

ла, определяется прежде всего соотношением фаций в его начале и в конце (т. е. фациями начала регрессивного и конца трансгрессивного ряда). Если формирование цикла начинается и заканчивается в одних и тех же фациальных условиях — это обычно нейтральный цикл (см. рис. 36). Однако если начало и конец цикла формируются в одной и той же фациальной обстановке, но различно время формирования этих частей, что отражается в соотношении мощностей обеих частей литоцикла, то его можно также отнести либо к регрессивному, либо к трансгрессивному типу.

Таким образом, часто встречающееся определение литоцикла как «регрессивно-трансгрессивный» (или «трансгрессивно-регрессивный»), как правило, не имеет смысла, так как литоциклы бывают либо трансгрессивного, либо регрессивного типа в зависимости от их местоположения на той или иной ветви литоцикла следующего порядка. Литоцикл же с более или менее равно развитыми обеими частями — литоцикл нейтрального типа.

В некоторых опубликованных работах довольно часто встречается такая типизация ЛЦ: если внизу отмечены морские отложения, а выше — более мелководные (к тому же осолоненного бассейна), то литоцикл называют трансгрессивно-регрессивным. Это всегда нуждается в уточнении. Ведь важна не только смена фаций, но их *направленное изменение*. Если морские отложения изменяются, постепенно становясь все более прибрежными (или осолоненными), то весь ход осадконакопления является регрессивным и, следовательно, такой литоцикл будет целиком регрессивного типа. Если же морские отложения вверх по разрезу становятся все более мористыми, а затем более или менее резко сменяются прибрежными (или осолоняющимися), то ряд морских отложений завершает предыдущий литоцикл, являясь его трансгрессивной частью, и смена их прибрежными (или осолоненными) начинает регрессивную часть следующего литоцикла (если началом цикла считать начало регрессивного ряда отложений).

Надо заметить, что для трансгрессивной ветви циклов вообще более характерны морские (или бассейновые) фации, но это не обязательно: важен не столько сам фациальный состав отложений, сколько *тенденция* его изменения. Так, если толща пород, целиком сформировавшихся в наземных условиях (т. е. представленная континентальными фациями), будет выражена сменой отложений с тенденцией ко все более бассейновым условиям, то мы имеем основание считать этот ряд фаций трансгрессивным. Например, смена болотных отложений озерными. Другой пример: озерные отложения от сильнозасоленных до осадков, сформированных в пресноводной среде, тоже образуют трансгрессивный ряд фаций, хотя они и сформированы целиком в озере, расположенном на суше. Подробнее этот вопрос будет рассмотрен ниже.

В работах последних лет (Жарогодин, 1980; и др.) предложено

называть циклы регрессивными и прогрессивными. Однако термин «прогрессивный» связан с понятием «прогресс», и при этом совершенно непонятно, почему мы должны наступление моря (а тем более смену грубозернистого осадка тонкозернистым) считать прогрессивным явлением, а не наоборот? Поэтому более целесообразно оставить прежний, геологический термин — «трансгрессивный тип», связанный большей частью с трансгрессией моря или

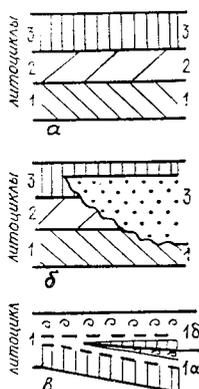


Рис. 37. Соотношение литоциклов (ЛЦ) в разрезах:
 а — последовательное налегание ЛЦ; б — срезание ЛЦ — от частичного до полного; в — расщепление ЛЦ на два (1а и 1б)

бассейна, в то время как «регрессивный тип» связан с явлением морских регрессий, тем более что оба эти термина имеют право приоритета: они давно уже широко используются в геологических работах, в том числе в многочисленных публикациях, с чем также следует считаться.

Соотношение литоциклов, следующих один за другим, выявляемое в геологических разрезах, сводится к трем типам (рис. 37):

а) первый, основной — последовательное налегание одного литоцикла на другой, подчиненное законам циклической седиментации и зависящее от комплекса факторов. Оно очевидно уже в одном разрезе;

б) второй, часто случающийся — нарушенная последовательность литоциклов и их выпадение в результате действия размывов (речных или морских). Это определяется в основном палеогеографическими условиями: той фациальной обстановкой, в которой формируются литоциклы. Такие случаи могут быть обнаружены и в одном разрезе, но чаще выявляются при прослеживании их на площади;

в) третий способ соотношения литоциклов — расщепление и переход одного литоцикла в литоцикл следующего порядка. Такое соотношение осуществляется лишь при осадконакоплении в определенных тектонических структурах и обнаруживается только при последовательном латеральном прослеживании разрезов на площади.

По набору фаций циклы могут быть полными, имеющими обе части, обычно с максимальным диапазоном фаций, характерным для данного района. Они формируются при постепенном изменении условий седиментации (например, при плавном чередовании морских регрессий и трансгрессий). Границы между такими циклами обычно представлены постепенными переходами, и зачастую точно установить «точку перегиба» бывает затруднительно. Но полные циклы мы видим в разрезах далеко не всегда. В ряде случаев возникают циклы неполные. Иногда это результат смены двух линий развития при слабом изменении общей обстановки. Такие циклы чаще образуют нейтральный тип. В других, наиболее частых случаях, происходит столь резкое изменение фациальных условий, что отложения какой-либо части «не успевают» сформироваться — возникают литоциклы, связанные, наоборот, с преобладанием какой-либо одной линии развития, когда наблюдается резкий возврат к условиям, существовавшим в начале цикла. Такие циклы формируются при скачкообразном характере седиментации и, естественно, чаще имеют резко выраженные границы.

«Скачок» в развитии седиментации может полностью совпадать с началом одного ряда фаций, в то время как другой ряд полностью выпадает из разреза. Столь резко изменчивый процесс осад-

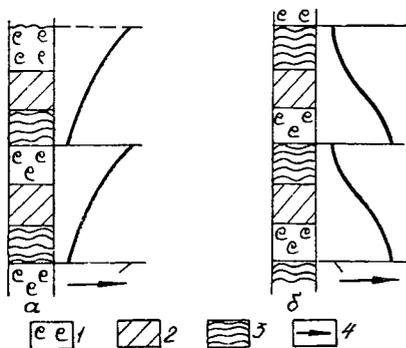


Рис. 38. Гемциклы (полуциклы):

a — трансгрессивного типа; *b* — регрессивного типа; фации: 1 — морские, 2 — прибрежно-морские, 3 — лагунные; 4 — изменение глубин седиментации. Кривые справа отражают смену фаций с течением времени

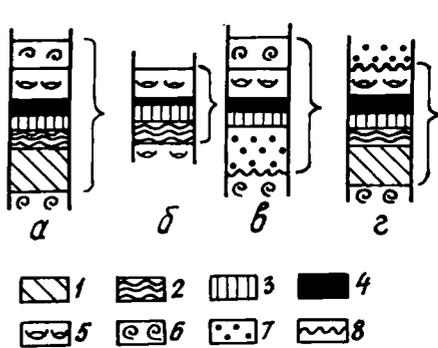


Рис. 39. Типы циклов:

a — полный; *b* — неполный; *a* — урезанный снизу; *a* — урезанный сверху (границы циклов показаны скобками); отложения: 1 — морские регрессивного ряда, 2 — лагунные регрессивного ряда, 3 — болотные, с корневыми остатками, 4 — торфяных болот (угольные пласты), 5 — лагунные трансгрессивного ряда, 6 — морские трансгрессивного ряда; 7 — речные условия; 8 — контакт размыва

конакопления формирует циклы, представленные лишь одной линией развития — либо регрессивной, либо трансгрессивной (рис. 38). Они могут быть названы *полуциклами* или *гемциклами*. Границы их, как правило, резкие, так как они отмечают скачок в ходе седиментации.

Наконец, в ряде случаев, особенно при осадконакоплении в континентальных условиях, части уже сформировавшихся ранее циклов могут быть в той или иной степени уничтожены, урезаны в результате последующих размывов (рис. 39). Понятно, что границы таких «урезанных» литоциклов могут быть часто выражены контактами размыва, хотя далеко не всегда и не всякий контакт размыва обязательно образует границу элементарного литоцикла.

В урезанных циклах может быть уничтожена либо одна, либо другая его часть. Так, если размыв наблюдается в основании последующего цикла, то уничтожается прежде всего трансгрессивная часть цикла предыдущего. При этом конкретные ситуации могут быть весьма разнообразны. В циклах, формирующихся на фоне общего регрессивного развития осадконакопления, меньше сохраняются трансгрессивные части. При тенденции к усилению трансгрессивности уничтожению обычно подвергаются и без того неполные регрессивные части циклов.

3.1.2. О начале литоциклов и их границах

Вопрос о том, что считать началом литоциклов при их выделении и что считать их границами, до сих пор остается спорным. На ранних этапах исследования цикличности за начало литоциклов принимали перерывы или породы, наиболее четко фиксирующиеся в разрезах: либо размывы, либо (в угленосных толщах) угольные пласты и т. д. Но этот способ чисто формальный и может повлечь за собой ряд ошибочных выводов. Так, например, размывы присутствуют далеко не в каждом литоцикле. Кроме того, как мы показали выше, размывы могут быть чисто местного значения и существовать внутри литоцикла в результате миграции речных русел.

В угленосных толщах ряд исследователей за начало литоцикла принимает угольный пласт, являющийся хорошим репером. Но литоцикл может существовать, а уголь в нем отсутствовать. И тогда сразу становится неясным, где граница литоцикла, как сопоставить разрезы, содержащие угольный пласт с разрезами, где его нет, и т. д. Кроме того, большое значение для характеристики угольного пласта имеет его связь с отложениями, на которых он сформировался. А при такой системе последние относятся к предыдущему литоциклу. Чтобы избежать этого недостатка, некоторые за начало литоцикла принимают почву или подпочву угольного пласта, хотя переход последнего в подстилающие отложения, как правило, постепенный, часто нечеткий и поэтому имеет большой элемент субъективности. Для неугленосных же толщ эта система выделения литоциклов вообще неприменима. Так, на рис. 40 из работы Э. Белта (1979) хорошо видна проблема

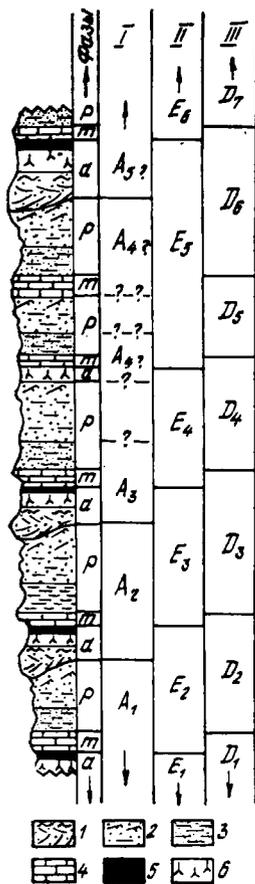


Рис. 40. Различные методы установления границ циклотем (по Э. Белту, 1979):

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

выделения границ литоциклов при отсутствии размывов или угольных пластов. Отсутствие размывов (колонка I так называемой «американской школы») приводит к возникновению сплошных вопросов при выделении литоциклов там, где их нет. Геологи «европейской школы» (колонка II) теряют в интервале E_5 один литоцикл, так как в этом интервале нет ни угля, ни хотя бы слоя с растительными остатками. Наконец, выделение литоциклов так, как это принято «дельтовой школой» (колонка III), сходно с нашей концепцией в этом вопросе. Отличие лишь в том, что мы считаем глинистые отложения с остатками раковин моллюсков часто более мористыми, чем ракушняковые известняки, налегающие непосредственно на угольный пласт и формирующиеся в самой прибреговой части моря. Примеры этого многочисленны, как в ископаемых толщах (например, Донбасса), так и в современных условиях — например, на Азовском море имеются косы, непосредственно прилегающие к берегу, целиком сложенные раздробленными остатками раковин. Поэтому на литологической колонке, приведенной Э. Белтом, мы считаем более правильным глинистые отложения с остатками морской фауны отнести к трансгрессивному ряду фаций и соответственно границу литоциклов проводить между этими отложениями и последующими (между условными знаками 2 и 3).

Некоторые исследователи разделяют литоциклы по резкости границ. Но, во-первых, этот признак далеко не всегда присутствует и является для полных литоциклов скорее исключением, чем правилом (кроме некоторых специфических толщ, например, типа флиша). Во-вторых, резкие границы между слоями зачастую бывают и внутри литоцикла. Наконец, граница эта далеко не всегда может быть обнаружена в конкретном разрезе по чисто формальным причинам.

С. И. Романовский (1985, с. 49) считает, что любую точку синусоидальной кривой, выражающей сложнопериодический механизм осадконакопления, и соответственно любой слой в

пределах цикла с равным основанием можно именовать значительным эпизодом, а следовательно, не принципиально, с какой породы начинается цикл (с. 52). С таким утверждением невозможно согласиться.

Цикл — это определенный *этап* в развитии осадконакопления, он начинается там, где выражен поворот от одной направленности процесса седиментации и изменения фаций к другой, противоположной. С точки зрения теоретической, этот поворот отражает «скачок», разделяющий две противоположно направленные тенденции эволюционного развития. Такой подход к выделению границ литоциклов применим ко всем осадочным породам. Но таких поворотных моментов два. Возникает вопрос, принимать ли за начало литоцикла начало регрессивного ряда фаций или, наоборот, трансгрессивного. С философских позиций оба эти поворота имеют равные права на определение начала литоцикла. Очевидно, поэтому одни исследователи стали выделять литоциклы с начала регрессии, другие — с начала трансгрессии. Но с практической геологической точки зрения это далеко не безразлично.

В наших работах (как и многих других) за начало литоцикла принимается начало регрессивного ряда фаций. Этот вопрос был разобран в специальной работе (Ботвинкина, 1954 а). Аргументацию за такую точку зрения кратко можно свести к следующему.

В многочисленных осадочных толщах, в которых была описана цикличность, начало регрессии отвечает обычно более резкому скачку в развитии седиментации, связанному с усилением энергии процесса. И наоборот, при сопоставлении с тектоническими процессами выявляется, что усиление последних влечет начало регрессивного развития осадконакопления. Таким образом, намечается взаимная связь тектонических и осадочных циклов. Как показали наблюдения и сопоставления разрезов на площади, влияние регрессии вообще распространяется быстрее, чем трансгрессии, и сказывается в осадконакоплении на большей площади. Следовательно, выделяя литоциклы с регрессивного ряда, мы тем самым определяем их границу на этой площади более синхронно.

Начало регрессии часто более отчетливо заметно по изменению пород, в ряде случаев — по относительному погрубению осадочного материала (в зависимости от начавшегося усиления динамики среды отложения или же от усиления приноса материала с суши). Однако нельзя забывать о том, что далеко не всякое погрубение осадочного материала указывает на начало регрессивного ряда (см. часть III).

Еще одно свидетельство предпочтения начала литоциклов с регрессии заключается в том, что с поднятиями (т. е. с регрессивной линией развития) нередко связаны размывы и даже выпадения части разреза, которые подчеркивают начало регрессивной фазы и делают его более отчетливым по сравнению с началом транс-

грессии. Если в строении толщи участвуют наземные континентальные образования, то начало регрессии может фиксироваться в разрезе контактом размыва или перерывом в осадконакоплении, что еще более отчетливо отмечает границу литоцикла в отдельных конкретных случаях.

Наконец, вопрос о начале литоциклов имеет практическое значение в связи с полезными ископаемыми. Как мы видели на конкретных примерах, большинство из них приурочено к «верхнему» перегибу циклической кривой (конец регрессии — нейтральная часть — начало трансгрессии). Поэтому, начиная литоцикл с регрессии, мы рассматриваем полезное ископаемое и его качество в неразрывной связи с предшествующими и последующими процессами осадконакопления, т. е. в историко-геологическом аспекте. Такой подход облегчает корреляцию горизонтов, содержащих полезное ископаемое, и определение места последнего в разрезе.

Исходя из всех этих соображений, мы считаем более правильным и целесообразным началом цикла считать поворотный момент от трансгрессивного развития фаций к регрессивному, т. е. *начало регрессии*.

Все указанные черты более четко видны в толщах с регрессивным или нейтральным характером седиментации. При общем устойчивом трансгрессивном ее характере цикличность выявляется хуже. «Скачок» в осадконакоплении иногда может быть более отчетлив в начале трансгрессии, с которой часто связано развитие морских фаций. Поэтому геологам, изучающим осадочные толщи чисто морского происхождения или же связанные с тенденцией к нарастанию трансгрессивности, иногда «удобнее» выделять литоциклы с начала трансгрессии.

Таким образом, вопрос, что считать началом литоцикла, пока практически решается в зависимости от общего характера толщи и от вкусов исследователя. Но уж поскольку такое положение существует, считаем необходимым подчеркнуть, что совершенно «железным» должно быть правило: для всех разрезов одного и того же региона должен быть один принцип определения границы цикла, и исследователь должен придерживаться его во всех случаях. Нарушение единого принципа ведет к несопоставимости разрезов конкретной осадочной толщи.

Если седиментационный цикл неполный и представлен какой-то одной частью, а вторая отсутствует (гемицикл), то этот вопрос отпадает, так как совпадение границ литоциклов будет независимо от того, к какому типу — регрессивному или трансгрессивному относятся эти полуциклы. Места таких «совмещений» являются несомненными границами литоциклов (см. рис. 38). Ряд примеров приведен в гл. 2. Особенно это характерно для литоритмов.

3.1.3. Литоциклы разных порядков и их соотношение

Выше мы уже отмечали, что при рассмотрении ряда циклов, выделенных в разрезе достаточно большой мощности (величина которой зависит от особенностей осадконакопления той или иной формации), выявляется, что несколько циклов группируются, образуя более крупный цикл следующего порядка. Этому циклу 2-го порядка присущи те же черты, которые характеризуют составляющие его циклы 1-го порядка.

Циклы 2-го порядка также имеют регрессивную, нейтральную и трансгрессивную части, каждая из которых складывается циклами соответствующего типа. Регрессивная ветвь цикла 2-го порядка бывает представлена одним или несколькими элементарными циклами регрессивного типа, причем степень их регрессивности может изменяться, как бы постепенно нарастая (рис. 41). Средняя часть

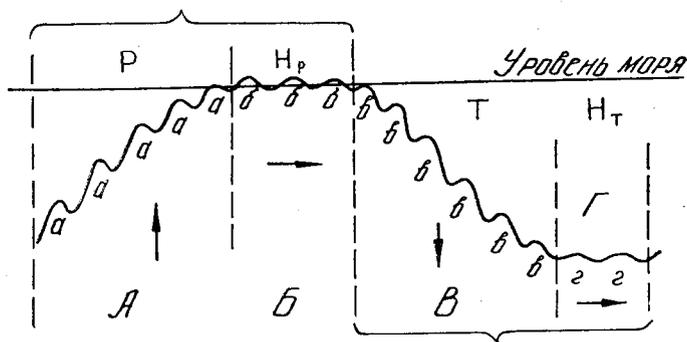


Рис. 41. Кривая цикла 2-го порядка, состоящего из циклов 1-го порядка:

a — циклы регрессивного типа, образующие регрессивную ветвь (А) цикла 2-го порядка; *б* — циклы трансгрессивного типа, образующие трансгрессивную ветвь (В) цикла 2-го порядка; *б* и *г* — циклы нейтрального типа, завершающие регрессивную и трансгрессивную части цикла 2-го порядка и образующие его нейтральные части (Б и Г). Вертикальные стрелки указывают на активность процессов, формирующих цикл, горизонтальные — на их затухание и малую амплитуду изменения фаций

цикла 2-го порядка обычно представлена циклами нейтрального типа и поэтому также может быть названа нейтральной. Наконец, трансгрессивная часть складывается одним или несколькими циклами трансгрессивного типа, как правило, с нарастающей степенью трансгрессивности. Конкретные примеры мы видели в предыдущей главе. Количество литоциклов 1-го порядка в каждой части цикла 2-го порядка может быть различным — от одного до нескольких, но чаще варьирует не более чем в пределах первого десятка.

При изучении угленосной толщи в Ленинском районе Кузнецкого бассейна (Ботвинкина, 1953) выделенные угленосные циклы были объединены в циклы 2-го порядка, названные тогда макроциклами. Каждый из них сложен несколькими элементарными циклами, как это видно на рис. 42. Однако в данном случае циклы,

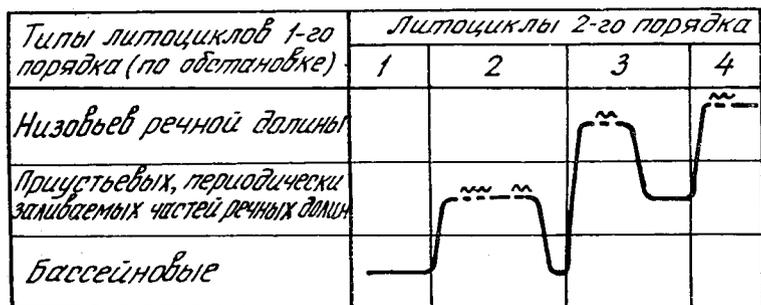


Рис. 42. Схематическая кривая смены фациальных типов циклов 1-го порядка, указывающая на формирование их на фоне циклов 2-го порядка; последние образуют восходящую ветвь цикла 3-го порядка. Отложения ерунаковской свиты (Польсаевское месторождение Кузбасса). Волнистая линия указывает на циклы, сформированные при малом диапазоне изменения фаций (циклы нейтрального типа)

составляющие ту или иную ветвь цикла следующего порядка, были довольно сходными по своему строению. Таким образом, здесь схематично отражено формирование элементарных циклов преимущественно в той или иной однотипной фациальной обстановке: закономерная смена обстановок от регрессивного развития через нейтральный до трансгрессивного выявляет литоциклы 2-го порядка (полностью это видно на циклах 2 и 3). Кроме того, отмечается общий регрессивный характер эволюции обстановок формирования циклов 2-го порядка, что намечает регрессивную ветвь цикла следующего, 3-го порядка (последнее подтвердилось сопоставлением разрезов большей мощности). Мы видим, что циклы 2-го порядка в данном случае отражают не столько направленное изменение конкретных фаций внутри элементарных циклов, сколько смену фациальных обстановок, в которых последние формируются. При этом широкое развитие имеют нейтральные части циклов 2-го порядка, сложенные в значительной степени элементарными циклами, в составе которых преобладают болотные фации.

Итак, циклом 2-го порядка мы называем такую последовательность отложений, которая образуется направленной сменой фациального состава слагающих его элементарных литоциклолов сначала в одном, а затем в противоположном направлении. Циклы 2-го порядка, как и элементарные, могут повторяться в разрезе, быть полными и неполными, полуциклами и урезанными. Границы их

совпадают с границами тех элементарных циклов, которые отражают поворотный момент в развитии седиментации. Эти границы также бывают резкими, отчетливыми или постепенными.

Как показали многочисленные исследования, циклы 2-го порядка формируются таким же образом на фоне циклов 3-го порядка, те — на фоне циклов 4-го порядка и т. д., вплоть до гигантских циклов, отражающих изменение осадочных толщ в течение геологических эпох.

Понятно, что чем выше порядок циклов, тем больше степень обобщения признаков, по которым они выделяются. Циклы разных порядков намечались многими исследователями, однако в их выделении нет ни единого принципиального подхода, ни единой системы, ни единой номенклатуры, в этом вопросе царит невероятная разнობой. Так, например, многими, в том числе нами (Ботвинкина, 1953), в ряде публикаций циклы следующих 2-го, 3-го и т. д. порядков были названы мезоциклами, макроциклами. Однако выяснилось, что порядков циклов значительно больше, и поэтому лучше просто давать каждому порядку числовое обозначение. Но тут возникло новое осложнение. В ряде работ других авторов сначала выделялись более крупные циклы, наиболее отчетливо прослеживаемые в данном регионе, получившие название циклов 1-го порядка. Затем по мере детализации они расчленились на подчиненные им циклы сначала 2-го порядка, последние — на циклы 3-го порядка и т. д., т. е. нумерация шла «сверху вниз», в отличие от принятой нами в данной работе и описанной выше нумерации «снизу вверх», начиная от элементарных циклов 1-го порядка. Сложившееся фактическое положение затрудняет сопоставление материалов разных исследователей, собранных с разной степенью детальности. Различные варианты номенклатуры литоциклов разных рангов мы разберем ниже.

3.1.4. Понятия «порядок», «ранг» и «масштаб» литоциклов

Немного следует сказать о терминах, характеризующих ЛЦ: «порядок», «масштаб» и «ранг».

В данной работе мы говорим о ЛЦ 1-го, 2-го и т. д. порядков, а также о их масштабе. К сожалению, в некоторых, даже очень хороших, работах проводится знак равенства между понятиями «порядок литоцикла» и «масштаб литоцикла». А это неверно.

Порядок — это соподчиненность литоциклов в едином ряду (аналогично порядкам цифрового ряда: единицы — 1-й порядок, они слагают десятки — 2-й порядок и т. д.). Этот термин как бы подразумевает некоторую систематику явления, подчеркивая конкретные последовательные соотношения (литоциклы 1-го порядка

слагают литоциклы 2-го порядка, последние образуют литоциклы 3-го порядка и т. д.).

Термин «*ранг*» (от нем. *gang* — степень, категория, чин, звание) в ряде случаев может употребляться как синоним термина «порядок», но он все же имеет несколько иной оттенок, как бы подчеркивая степень значимости. Мы говорим: литоциклы 1-го, 2-го и т. д. порядков, но низших и высших рангов. Этого вопроса мы еще коснемся ниже, в разд. 3.4.

Что же касается *масштаба* литоцикла, то это всегда конкретная мера. По существу это словесное обозначение не выраженной количественно мощности литоцикла. Если мы говорим «литоцикл большого масштаба», то это значит, что он имеет какую-то конкретную большую мощность, которая не указывается более точно.

Естественно, что в одном разрезе литоциклы высшего порядка имеют мощность больше, чем слагающие их литоциклы низшего порядка. Однако соотношения мощностей литоциклов разных порядков из разных разрезов могут быть весьма различными, особенно если они сформировались в разных условиях, не говоря уже о литоциклах, принадлежащих разным формациям.

3.1.5. Об определении трансгрессивной и регрессивной последовательности отложений в литоциклах разного состава

Так как признак трансгрессивной или регрессивной направленности смены отложений определяет основную типизацию литоциклов, необходимо остановиться на этом вопросе более подробно.

Для терригенных толщ литоциклы наиболее просто намечаются по изменению гранулометрического состава пород: от грубозернистого до тонкозернистого — трансгрессивный ряд отложений*; от тонкозернистого до грубозернистого — регрессивный ряд. Но такая легкость кажущаяся, и она может привести к ошибкам, ибо, как показывают работы многих авторов, увеличение грубозернистости осадков отнюдь не указывает на регрессию моря. Например, в угленосной толще выше угольного пласта могут отлагаться глинисто-алевроитовые лагунные или прибрежно-морские осадки, а затем более грубозернистые алевроитово-песчаные отложения баров, пересыпей, отмелей, т. е. более мористые отложения открытого морского мелководья. Такие примеры отмечались неоднократно, в частности в угленосной толще Печорского бассейна. Кроме того, зачастую изменение гранулометрии осадка зависит от чисто местных причин (в том числе миграции русел в речной

* Ю. Н. Карогодин (1980) и его последователи такую смену отложений называют «прогрессивной» (см. выше), выделяя проциклиты.

долине) и является частным случаем, элементарный литоцикл при этом не образуется.

Вот почему для типизации намечающихся «в первой пристрелке» гранулометрических литоциклов обязательно требуется последующий фациальный анализ слагающих их слоев, с привлечением ряда других генетических признаков.

Для литоциклов же биогенных, хемогенных, вулканогенно-осадочных и смешанного состава определение регрессивности или трансгрессивности их развития по изменению гранулометрического состава вовсе непригодно.

При выявлении цикличности в паралических условиях (например, в угленосной толще Донбасса) трансгрессивность связывалась с наступлением моря (и появлением все более мористых отложений), регрессивность — с его отступлением (и появлением отложений, все более близких к суше, и, наконец, наземных).

Смена морских фаций все более прибрежными и континентальными определяла регрессивную часть литоцикла, а обратная смена — переход континентальных отложений во все более мористые — трансгрессивную часть литоцикла. Непосредственные причины смены фаций — понижение глубины осадконакопления и отодвигание береговой линии в сторону моря, и наоборот. Более отдаленной причиной этой миграции фаций служат тектонические движения разного знака или колебания климата (см. след. главу).

Однако даже при таком сравнительно простом случае возможна ситуация, когда отмечается тектоническое опускание и общее трансгрессивное развитие региона, но благодаря обильному поступлению осадочного материала и перекompенсации прогибания мы наблюдаем в конкретном геологическом разрезе регрессивную смену фаций («ложная регрессия» по отношению к общей палеотектонической обстановке). Для изучения закономерностей формирования литоциклов как вещественной единицы разреза нам необходимо отмечать именно эту регрессивную последовательность фаций, образующую регрессивную часть литоцикла (оговорив общую ситуацию в регионе).

С другой стороны, но уже значительно реже, может встретиться и такой случай, когда на фоне слабеющего поднятия в области седиментации в результате все более слабеющего приноса в нее осадков мы можем наблюдать в разрезе ложную трансгрессивную последовательность фаций. Тем самым для определения типа литоцикла надо прежде всего учитывать смену отложений, независимо от вызывающих ее причин, что наиболее объективно. Но при этом нельзя упускать из виду, что соотнести осадконакопления с изменением уровня моря, его глубинами и тектоническими движениями далеко не просто и выводы об этом нуждаются во всестороннем анализе, с учетом процессов не только в области

седиментации, но и в области питания, а также количества поступающего в бассейн осадочного материала.

При рассмотрении литоциклов, сложенных терригенно-биогенным или чисто биогенным материалом, требуется еще более тщательный анализ соотношений частей в литоцикле. Вообще смена терригенного материала биогенным обычно означает трансгрессивный ход осадконакопления, а биогенного терригенным — наоборот, но не всегда.

Так, например, в угленосной толще Донбасса некоторые ракушняковые известняки сформировались в зоне, близкой к берегу (иногда они даже непосредственно налегают на угольный пласт), а на них залегают явно более глубоководные аргиллиты. И так, смена биогенного осадка терригенным здесь образует трансгрессивную часть литоцикла. Значит, необходим детальный анализ обеих составляющих, определение фаций и экологии биоса.

Если литоциклы сложены целиком биогенным материалом, то при смене глубоководного биоса более мелководным и прибрежным естественно регрессивное развитие, а в противоположном направлении — трансгрессивное.

Хемотропные и терригенно-хемотропные отложения также образуют литоциклы. При этом далеко не всегда смена терригенного материала хемотропным означает трансгрессивную смену фаций. В частности, морские глинистые осадки могут сменяться более мелководными и прибрежными доломитами, образуя регрессивный ряд. В других случаях терригенный материал, по мере увеличения мористости, может смениться более глубоководным хемотропным морским осадком, выявив тем самым трансгрессивную ветвь литоцикла.

При рассмотрении хемотропных соленосных литоциклов принцип такой: смена отложений нормальной солености все более осоложенными образует регрессивный ряд, а постепенное приближение к условиям нормальной солености — ряд трансгрессивный. На суше, при соленакоплении в озерах изменение от пресноводных условий до солоноватоводных означает регрессивную последовательность осадков, и наоборот, при постепенном опреснении вод формируется трансгрессивный ряд осадков.

Возникает вопрос, что же считать трансгрессивной или регрессивной последовательностью, если осадконакопление не обязательно связано с морскими или паралическими условиями, в частности с континентальной обстановкой.

Здесь смена отложений, формирующихся в гумидном климате (или при большей или меньшей обводненности осадка) отложениями засушливого периода (или менее обводненными), представляет собой регрессивную часть литоцикла. При обратном отношении — трансгрессивную, когда осадконакопление связано со все большим увлажнением. Примером последнего могут служить лито-

циклы лёсса, представленные, как правило, лишь трансгрессивной последовательностью (т. е. являющиеся полуциклами).

Другой случай — часто отмечаемые аллювиальные литоциклы, в основном представленные более или менее мощной и сложно построенной толщей аллювия. Исходя из энергии процесса собст-

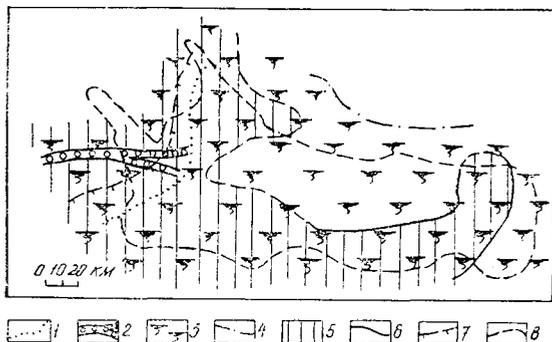


Рис. 43. Карта последовательного перемещения береговой линии в процессе формирования цикла осадконакопления с угольным пластом L_4 на территории открытой части Донбасса:

1 — контур береговой линии перед общим заболачиванием; 2 — речная долина; 3 — площадь, на которой в отложениях имеются признаки осушения и заболачивания; 4 — предполагаемая ее граница (конец регрессии); 5 — площадь распространения торфяных болот (угольного пласта L_4); 6 — граница торфяника; 7 — западная граница распространения известняка L_5 ; 8 — схематическая граница Донбасса

венно аллювиальные литоциклы, казалось бы, следовало относить к трансгрессивному типу: осадконакопление происходит сначала при активной гидродинамике, затем последняя ослабевает и конец аллювиального литоцикла выражен широким развитием пойменных образований с участием озерных и болотных.

Однако, как мы видели при анализе угленосных толщ в Донбассе, в них аллювиальные отложения, несомненно, принадлежат регрессивному ряду фаций (Ботвинкина, 1956 б), который завершается широким развитием болот, фациями подпочвы и почвы: последние занимают наиболее продвинувшуюся в сторону моря площадь суши, т. е. отмечают максимум регрессии (см. палеогеографическую карту на рис. 43). Затем море наступает, заливая прибрежную часть суши, а дальше начинает формироваться торфяник (будущий угольный пласт), начинающий трансгрессивную часть литоцикла. Следовательно, энергия процесса — показатель начала регрессивности развития лишь в том случае, когда она связана непосредственно с палеоландшафтной обстановкой территории осадконакопления. В случае же с аллювием она может быть

результатом активизации процессов, происходящих в области, поставляющей осадочный материал, который лишь реализуется (но не возникает) в области седиментации.

Может быть рассмотрен такой случай. На фоне прогибания региона, например, в результате поднятий соседней горной суши, в область, где идет прибрежно-морская седиментация, аллювий начинает поступать столь активно, что «оттесняет» море и образует развитую прибрежную аллювиальную равнину. В осадках отмечается смена морской седиментации речной — казалось бы, это начало регрессии: море отступает и сменяется сушей. Но в дальнейшем, с ослаблением бурной деятельности рек, восстановится влияние тектонического погружения и вновь начинается наступление моря. Как же трактовать такой разрез? Очевидно, в данном случае аллювий надо рассматривать как *усложнение* трансгрессивной ветви литоцикла. Такие сложные соотношения могут быть встречены в дельтовой области в ее широком понимании или в обстановке предгорной низменности. Мы видим, что и в данном случае для правильного определения типа литоцикла необходим взвешенный анализ всех факторов осадконакопления, как в области седиментации, так и в области, поставляющей осадочный материал, в их неразрывной взаимосвязи.

Наконец, рассмотрим определение типа литоцикла, когда в водный бассейн, где идет своя седиментация (терригенная, карбонатная или хемогенная) поступает осадочный материал, ей чуждый (турбидиты, флиш, темпеститы, отложения инъективного режима, по С. И. Романовскому). Так как обычно это происходит при седиментации в более глубоководных условиях, куда врываются эпизодически поступающие отложения с признаками более мелководных, то такие литоциклы начинаются с последних, следовательно, они относятся к трансгрессивному типу и обычно представляют собой гемициклы (часто — это литоритмы). Иногда это могут быть даже целиком карбонатные литоциклы, если в более глубоководную часть моря сносятся продукты разрушения коралловых рифов или водорослевых банок. Если литоциклы представлены одним и тем же материалом (карбонатным или терригенным), то не всегда легко решить, являются ли они результатом эпизодического поступления материала извне или здесь периодически менялись условия осадконакопления непосредственно в самом водоеме. Требуется анализ признаков как самих отложений, так и условий осадконакопления всей толщи в целом, с учетом места данной цикличности на фоне литоциклов более высокого порядка.

«Инъекции» чуждого материала могут быть представлены и вулканогенным материалом; при этом формируются ксеноциклы. Вопрос о том, что считать регрессивным, а что трансгрессивным развитием в седиментации является наиболее сложным для вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений. Отметим неко-

торые известные положения. Во-первых, чисто вулканический цикл представлен последовательной сменой основного вулканизма кислым, что уже давно отмечено вулканологами. Это крупная цикличность n -го порядка, связанная с тектономагматическим циклом. Их определение вообще не может быть связано с терминами «трансгрессивный» и «регрессивный» во избежание путаницы понятий.

Во-вторых, для литоциклов, сложенных собственно вулканическими образованиями, намечается следующая последовательность, определяемая чисто вулканогенной закономерностью — постепенным затуханием вулканической деятельности: лавы — эксплозивные образования — гидротермальные отложения. Вулканический взрыв обычно нарушает плавный ход седиментации — это «скачок», после которого указанную последовательность в ее чистом виде иногда условно можно считать трансгрессивной, так как она завершается отложениями, формирующимися с участием водной среды. Однако здесь уже необходимо учитывать и генетические типы отложений, и их соотношения, так что данный аспект требует доработки.

Наконец наиболее сложно определение типа вулканогенно-осадочного литоцикла или его части, когда на седиментационную цикличность накладывается цикличность вулканогенная, причем каждая из них со своими закономерностями (см. в гл. 2), и формируется *ксенолитоцикл*. Здесь уже необходим фашиальный и генетический анализ, выяснение обстановок осадконакопления и процессов, формирующих те или иные отложения. Более часто вулканогенная составляющая либо завершает регрессивный ход развития седиментации, либо синхронна началу регрессии. Таким образом, она всегда приурочена к «перегибу» циклической кривой, что вполне закономерно. Вулканический взрыв связан с тектоническими процессами. Появление вулканизма на фоне осадконакопления — всегда «скачок», обычно совпадающий с границами сложного литоцикла (или его частей), которые он подчеркивает. В каждом конкретном случае необходим индивидуальный подход и генетический анализ всех частей, составляющих вулканогенно-осадочную толщу (Ботвинкина, 1974).

Таким образом, мы видим, что литоциклы, намечаемые «в первой пристрелке» визуально по смене пород, для определения их трансгрессивного и (или) регрессивного развития в любом типе отложений обязательно требуют проведения соответственно фашиального (или генетического) анализа и определения направленности в изменении отложений.

3.2. Классификация литоциклов

Из сказанного выше естественно вытекает возможность и необходимость классификации литоциклов на основании характеризующих их признаков. Однако вначале коснемся вопроса о со-

ставлении классификаций вообще. Прежде всего, необходимо иметь в виду различия между классификацией, типизацией и номенклатурой.

Под *номенклатурой* (или номенклатурным списком) подразумевается перечень большинства существующих названий тех или иных объектов, среди которых могут быть и неудачные, и имеющие очень близкое (или даже одинаковое) значение, и даже перекрывающие один другого.

Типизация — разделение на типы конкретного изучаемого объекта (или явления). Она обычно связана с каким-либо частным признаком, и поэтому предшествует составлению классификаций — общих или частных.

Классификация — это логичное распределение объектов изучения (с употреблением терминов наиболее рациональных) по определенным классификационным рубрикам, с указанием тех признаков, по которым производится это распределение.

3.2.1. Классификации формальные и генетические

Классификации вообще можно разделить на две категории.

1. Классификации *формальные*, систематизирующие предметы или понятия по какому-либо одному признаку, который часто может быть выражен количественно. Установленный признак объекта исследования позволяет относить этот объект только к определенному разделу и исключает его из других разделов данной классификации. Поэтому границы между выделяемыми таксонометрическими единицами отчетливы (хотя при установлении их для геологических явлений всегда допускается известная доля условности). Эти классификации не дают непосредственной информации о природе явлений, но помогают при установлении генезиса; так как за каждой формой стоит определенное содержание, то они должны строиться не по случайным признакам, а по таким, за которыми стоит тот или иной геологический смысл. Только тогда эти классификации успешно выполняют свою вспомогательную роль и могут быть использованы при построении классификаций генетических. Например, границы между обломочными породами должны устанавливаться по такому изменению размера обломков, который отвечает определенному механизму формирования осадков. В морфологической классификации типов слоистости последние обусловлены определенным динамическим состоянием среды отложения (Ботвинкина, 1962 б) и т. д. Классификации, построенные по формальным признакам, не связанным с естественным процессом, носят схематический характер и обычно не могут быть непосредственно использованы при определении генезиса пород.

Классификации этого рода являются следствием, итогом накопленных сведений о том или ином исследуемом объекте.

2. Другая категория — *естественные*, в том числе *генетические* классификации. Их таксономические единицы определяются комплексом признаков. При этом отдельные признаки могут быть встречены в разных таксонометрических единицах, и, таким образом, только характерное сочетание признаков является определяющим.

Для классификаций этого рода типично наличие постепенных переходов между таксонометрическими единицами, поэтому границы между ними часто условны. Например, в формальной классификации песчаников по размерности слагающих их частиц песчаник с определенным размером зерен попадает только в одну классификационную ячейку. В генетической классификации при делении речных песчаников на русловые, старичные и пойменные два первых часто имеют так много сходных признаков, что затрудняется их точное отнесение к той или иной категории и требуется поиск еще дополнительных данных, уточняющих генезис. Определение единиц возможно путем сравнения с соседними, как звеньев в одной цепи взаимосвязанных геологических явлений. Классификации этого рода, отражая зависимость между определяемыми объектами или явлениями, дают возможность делать выводы о природе и свойствах последних. При этом они не только отражают уровень знаний о систематизируемых объектах, но и являются орудием познания нового, стимулом к выяснению самых существенных признаков и сторон еще не изученных объектов. С развитием наших знаний происходит уточнение классификаций, их перестройка и углубление.

Сравнение двух родов классификаций дано в табл. 4. Так как в основу классификаций этих двух типов положены разные принципы, то совершенно ясно, что нельзя объединять в единой классификационной таблице единицы, выделенные по формальному признаку, а другие — по признаку генетическому. (В частности, на необходимость разделения петрографических и генетических классификаций указывал в 1968 г. В. Т. Фролов). К сожалению, часто это правило не соблюдается, и при составлении классификаций различные принципы их построения смешиваются, что в корне неправильно.

Составляемые классификации должны отвечать определенным требованиям формальной логики (казалось бы, всем известным, но далеко не всегда учитываемым): 1) понятия «объемлющее» и «объемлемое» не должны объединяться на одной ступени классификации. При выделении ряда таксономических единиц частное (более дробная единица) должно быть всегда подчинено общему (более крупная единица); при этом в первом должны быть черты, присущие более высшим подразделениям этой категории; 2) классификация должна быть составлена так, чтобы любое явление (или

объект), ей подчиненные, могли бы найти в ней свое место, попадая в совершенно определенную классификационную ячейку. Если остаются единицы «неклассификационные», то для них должен

Таблица 4

Различия классификаций формальных и генетических

Признак	Формальные классификации	Генетические классификации
1	Таксонометрические единицы одного ранга выделяются по единому, точно определенному признаку (часто количественному)	Таксонометрические единицы выделяются только на основании комплекса признаков, обусловленных сложным природным процессом
2	Определяющий признак присущ одной единице и отсутствует в других	Отдельные признаки большей частью могут быть встречены в разных таксонометрических единицах, и только характерное сочетание их является определяющим
3	Выявленный признак объекта позволяет относить этот объект только к одному определенному разделу классификации	Многообразие признаков не всегда дает четкость определения разделов
4	Границы между таксонометрическими единицами отчетливы (хотя в установлении указанных границ часто бывает доля условности)	Между многими таксонометрическими единицами имеются постепенные переходы. Поэтому границы часто недостаточно определены и в известной степени условны. Существуют переходные единицы
5	Классификация отражает существующий уровень знаний	Классификация не только отражает существующий уровень знаний, но и является орудием познания нового
6	Даваемые определения должны строго подчиняться правилам формальной логики	Соотношение с правилами формальной логики более сложное. Определения могут даваться через сравнения и противопоставления взаимосвязанных явлений
	Примеры: в геологии — морфологическая классификация слоистости; структурная и другие классификации	Примеры: в геологии классификация генетических типов отложений; литоциклов разных порядков
	Классификация по содержанию химических элементов	Распределение организмов по естественным систематическим категориям

быть выделен специальный раздел «неопределенных»; 3) классификации могут быть и более общие, и более частные, в зависимости от уровня наших знаний, а также целей, стоящих перед исследователем. Последующее накопление фактического материала неизбежно влечет перестройку ранее составленных классификаций.

В свете сказанного выше, в применении к изучению цикличности осадконакопления формальные классификации являются лишь вспомогательными, а основные — это классификации генетические. Но так как последние отражают взаимосвязи сложных природных явлений, они не всегда могут жестко подчиняться правилам формальной логики: их определения, как мы уже говорили выше, иногда возможны только путем сопоставления (или противопоставления).

Генетические классификации литоциклов могут быть построены по разным принципам.

1. *Общие* классификации: а) по направленности изменения фаций или генетических типов (циклы регрессивные, трансгрессивные, нейтральные); б) по порядкам (или рангам).

2. *Частные* классификации: а) по сложности строения литоциклов; б) по полноте основных частей литоциклов; в) по соотношению частей в литоцикле и др.

Что же касается выделения фациальных типов циклов, то это вопрос типизации, так как практически невозможно составление по этому признаку такой классификации, которая отвечала бы основным требованиям, т.е. являлась бы охватывающей для всех объектов, выделенных по данному признаку. Типизация литоциклов по фациальному составу (а тем более по составу пород) всегда имеет локальный характер.

3.2.2. Классификация и типизация литоциклов. Терминология

Прежде всего очевидно, что ряд характерных черт, определяющих цикл, имеет *общее* значение, применимое для циклов в любых отложениях, независимо от их конкретного состава, так как они определяются общими закономерностями циклической седиментации, с которыми связано их строение и направленность изменения отложений. Они дают основу для общей классификации циклов в любых осадочных толщах.

Другая категория признаков — *частные*, имеющие местное значение. Они служат для определения циклов по их конкретному составу в каждом районе. По этим признакам производится типизация циклов, не имеющая всеобщего характера, но очень существенная для понимания местных особенностей их формирования. Эти классификации основаны на непосредственном определении различных признаков пород в фациальном анализе отложений.

Классификация литоциклов, пригодная для всех абсолютно осадочных толщ, базируется на признаках двух родов — основных и дополнительных (табл. 5), их схематическое изображение дается на рис. 44.

Основные признаки — это определение циклов, во-первых, по направленности изменения отложений (циклы регрессивного, трансгрессивного и нейтрального типов), и, во-вторых, по соподчиненности циклов в разрезе, т. е. по их порядкам или рангам. Это цик-

Таблица 5

Классификация литоциклов по их строению

Признак	Название литоцикла	Буквенный индекс
<i>Основные признаки</i>		
Направленность изменения	Регрессивный Трансгрессивный Нейтральный	Р Т Н
Соподчиненность (большой частью для литоциклов низших рангов)	1, 2, 3-го ... порядков I, II, III, ... порядков	Только цифровые обозначения
<i>Дополнительные признаки</i>		
Сложность строения	Простой Усложненный: в регрессивной части в трансгрессивной части в нейтральной части	Пр * Сл _Р Сл _Т Сл _Н П *
Полнота набора отложений	Полный (и регрессивная, и трансгрессивная часть) Гемцикл (полуцикл): регрессивного типа трансгрессивного типа Урезанный: в регрессивной части в трансгрессивной части в обеих частях	ГЦ _Р ГЦ _Т У _Р У _Т У _{РТ}
Симметричность	Симметричный Несимметричный	С * НС *

* С добавлением сведений о направленности изменения: Пр_Р, П_Т и т. д.

лы 1, 2, 3-го и т. д. порядков, а также словесные определения крупных циклов высших рангов (гигацикл, мегацикл и т. д.).

Дополнительные признаки для общих определений основаны на особенностях строения каждого литоцикла (по сложности и полноте).

По сложности строения циклы могут быть простые, когда направленность изменения отложений в каждой части цикла ничем не нарушается. Однако в ряде конкретных случаев общий ход раз-

вития осадконакопления нарушается отклонениями либо местного характера, либо в связи с «зарождением» нового цикла (последний вопрос мы разберем в следующей части в связи с расщеплениями циклов). Такие усложнения могут быть в любой части цикла, но наиболее характерны они для регрессивной и особенно для ней-

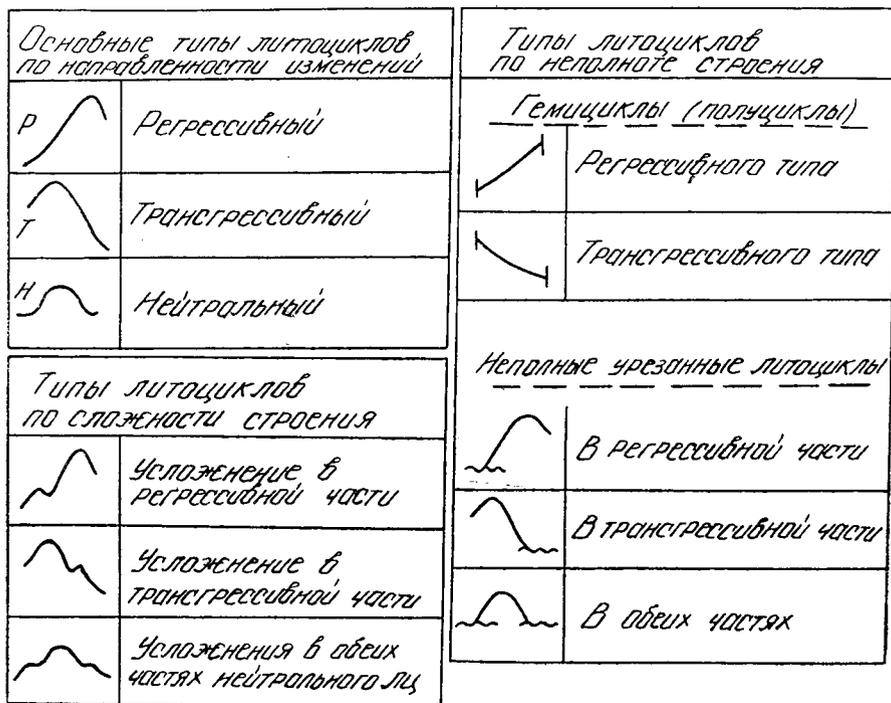


Рис. 44. Схематические изображения литоциклов по направленности изменения их строения

тральной его частей. В последней часто бывают усложнения, обусловленные наложением на цикличность мелкой ритмичности осадконакопления.

Другое подразделение осуществляется по полноте строения литоциклов. Полные циклы имеют все основные составные части. В них отмечаются достаточно четко выраженные и трансгрессивная и регрессивная части. (Хотя в большинстве случаев какая-либо из них бывает развита в большей степени в зависимости от общей направленности эволюции седиментационного процесса). Эти циклы обычно имеют переходы к смежным циклам.

Неполные по строению циклы формируются в условиях, когда плавный ход седиментации чем-либо нарушается. Так, в недораз-

витом цикла какая-либо одна часть резко преобладает над другой. Это как бы переходный тип к полуциклу (или гемициклу), который представлен только одной своей ветвью при скачкообразном характере седиментации. Границы таких циклов, как правило, резкие. Ряд таких гемициклов на фоне литоцикла следующего порядка схематически показан на рис. 45.

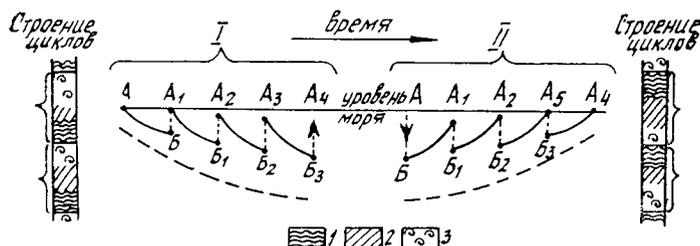


Рис. 45. Формирование неполных циклов (гемициклов) на фоне трансгрессии (I) или регрессии (II):

отложения: 1 — лагунные; 2 — прибрежно-морские; 3 — морские более глубоководные.
Объяснение в тексте

Неполнота строения цикла может быть также при уничтожении той или иной его части в результате размывов (как во время формирования данного цикла, так и последующих). Особенно это характерно для осадочных толщ, содержащих аллювиальные отложения. Размывы эти могут уничтожать (частично или даже полностью) любую часть цикла. Примеры таких урезанных циклов даны выше (см. рис. 37, 39).

Наконец, по соотношению частей циклы могут быть симметричного и несимметричного строения. Этот признак раньше считали одним из существенных, но дальнейшие многочисленные наблюдения (см. гл. 2) показали, что несимметричное строение имеет большинство циклов (вследствие различной направленности седиментации), а симметричность присуща преимущественно циклам нейтрального типа (и то далеко не всегда). Таким образом, типизация этого рода совпадает с типизацией по направленности изменения отложений и, следовательно, на данном уровне наших знаний большей частью является лишней. В случае необходимости упростить и ускорить описание конкретных разрезов (особенно в полевых условиях) мы предлагаем для обозначения каждого из описанных типов циклов буквенные индексы и графические символы (см. табл. 5, рис. 44). Для простоты запоминания индексы представляют собой начальные буквы типа.

В основе графических обозначений лежит кривая, у которой регрессивная часть представлена восходящей ветвью, а трансгрессивная — нисходящей. Так (а не наоборот) делать удобнее, ибо

регрессия зачастую связана с тектоническим поднятием, а трансгрессия — с опусканием, и подобный способ изображения кривой сразу указывает на характер процесса, влияющего на циклическую седиментацию. Соотношение размеров обеих ветвей определяется типом цикла. Усложнения показаны изгибом кривой в соответствующей части, а размывы — волнистой линией на той или иной

Таблица 6

Типизация литоциклов по их составу

Признак	Некоторые примеры названий литоциклов	Примечания
По составу пород: преобладание признака смена в литоцикле	Терригенный, хемогенный, карбонатный, песчано-алевритовый и т. д. Терригенно-хемогенный, песчано-известковистый и т. д.	Могут быть даны и более общие, и более дробные, частные определения
По набору фаций: основная обстановка формирования фации начала и конца литоцикла	Континентальный, морской; озерный, болотный, лагунный и т. д. Лагунно-болотный, озеро-лагунный, лагунно-морской и т. д.	
По наличию полезного ископаемого (или его отсутствию)	Угленосный, слабоугленосный, безугольный; рудоносный, слаборудоносный, безрудный и т. д.	Подчеркивается практическая значимость
По типичности для той или иной формации	Терригенный, флишевый, молассовый, карбонатный и т. д.	Названия могут совпадать с общими названиями по составу пород

ветви. Такая система индексов и графических обозначений проста и легка для запоминания.

Типизация литоциклов по составу определяется условиями их формирования в той или иной обстановке седиментации (табл. 6). Наиболее простые определения — по составу пород, слагающих литоцикл. Здесь возможны два способа типизации: или по преобладанию какой-либо породы, или же по их смене (всегда снизу вверх по разрезу). В обоих случаях возможны и более общие, и более частные определения. Так, например, по преобладающей породе цикл может быть определен как карбонатный, а более детально — доломитовый. Однако эта система имеет тот недостаток, что в названии цикла не отражается направленность смены отло-

жений, ее эволюция. Поэтому лучше определение цикла по смене составляющих его пород делать в начале и в конце (например, литоцикл песчано-известковистый). Иногда наличие каких-либо органических остатков является столь характерным, что упоминание их тоже может быть включено в название цикла: например, цикл карбонатный, кораллово-мшанковый и т. д.

Такие определения могут быть даны циклам очень разного масштаба и порядка. Казалось бы, они наиболее объективны, но для корреляции разрезов оказываются менее пригодны, чем циклы, определяемые на основе проведения фациального анализа, так как состав пород на площади может изменяться, а направленность фациальных переходов при этом сохраняется (что мы уже видели выше в гл. 2).

Определение фациального типа цикла может быть проведено по тем же двум принципам: либо по основной фациальной обстановке, в которой формировался данный цикл, либо по фациям его начала и конца. Определения фаций (так же, как и пород) могут быть более общие (например, морские, континентальные) и более частные (например, аллювиальные, болотные). Типизация циклов по преобладающей фациальной обстановке их формирования, принятая зарубежными геологами, рассматривается в известной монографии П. Даффа и др. (1971). Недостаток ее в том, что мы не видим направленности изменения цикла, что, как сказано выше, является одним из основных признаков общей классификации.

Поэтому автором в результате работы по угленосным толщам была предложена типизация циклов по фациям начала и конца, как позволяющая видеть динамику осадконакопления, направленность ее изменения и диапазон фациальных обстановок, в которых происходит формирование каждого цикла (Ботвинкина, 1952 б, 1953, 1975 б). Такая типизация позволяет увязывать разрезы, сложенные разными породами.

При выделении циклов высших порядков иногда приходится рассматривать их смену в связи с формированием уже в какой-либо преобладающей фациальной обстановке. Более того, при изучении циклов высших порядков может рассматриваться смена формаций в обобщенном виде. Например, цикл карбонатно-галогенный. Казалось бы, здесь упоминаются только породы. Но за ними каждый геолог видит смену условий осадконакопления (опять никуда не денешься от фациального анализа, но на другом уровне).

От частных фациальных определений циклов мы переходим к общим определениям их типа по направленности изменения, что дает основание для корреляции разрезов, различных не только по составу пород, но и по составу фаций.

В ряде случаев, при работах по поискам, разведке и эксплуатации различных полезных ископаемых, циклы могут типизироваться по наличию или отсутствию последних. Например, в угленосных

толщах выделяются циклы угленосные, слабоугленосные и безугольные; на рудных месторождениях — циклы рудоносные и безрудные и т. д. Такая типизация имеет непосредственное практическое значение. Сопоставление типа цикла, выделенного по этому принципу, с его фаціальным типом дает дополнительные данные при поисках и прогнозировании. Типизация циклов по этим признакам проводится конкретно для каждой изучаемой толщи и является местной.

Понятно, что типизация циклов, приведенная в табл. 6, весьма разнообразна, а типы циклов такого рода нельзя объединить в единую всеобщую классификацию, так как, выделенные в одной толще, они могут быть недостаточны, или вовсе непригодны, для другой. Например, аллювиально-болотные циклы, характерные для угленосных толщ, не будут выделяться в толщах, сложенных морскими отложениями. Но эти местные определения совершенно необходимы при работах по расчленению и корреляции конкретных разрезов, составлению палеогеографических карт и для решения ряда других практических задач.

На рис. 46 нижний литоцикл 1-го порядка (*p*) прибрежно-морской — лагунный, угленосный, простого строения, регрессивного типа. Средний литоцикл (*h*) лагунный, угленосный, простого строения, нейтрального типа. Верхний литоцикл (*t*) лагунно-морской, безугольный, трансгрессивного типа. Эти литоциклы образуют литоцикл 2-го порядка морского типа (так как он начинает формироваться и кончается в морских условиях).

Наконец, при операциях с крупными элементами разреза ранга формаций или их частей могут быть выделены обобщенные типы циклов, характеризующие именно данную формацию и ею определяемые. Например, циклы флишевые, молассовые, железисто-кремнистые и т. п. Такая типизация связана с несколько иным направлением исследований — они являются результатом обобщения данных по многим конкретным типам циклов. Типизация этого рода может рассматриваться также на фоне крупных циклов высших порядков.

Таким образом, мы видим, что полная характеристика литоцикла должна содержать несколько определений, указывающих

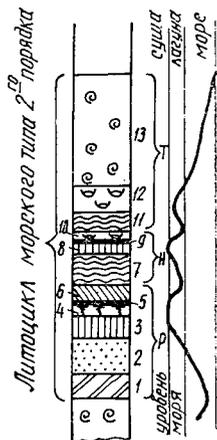


Рис. 46. Схематический разрез соподчинения литоциклов двух порядков (скобки):

отложения: 1 — морские течения, 2 — баровые, 3 — подпочвы, 4 — почвы, 5 — торфяных болот (угленосные пласты), 6 — лагунные затишья, 7 — лагунные зоны волнений, 8 — лагунные затишья с фауной, 9 — морские с фауной открытого моря.

Цифры на рисунке — номера слоев, справа — кривая цикличности

на его особенности. При этом литоцикл характеризуется по фациям начала и конца + указание на полезное ископаемое. Например, цикл лагунно-морской, угленосный — это значит, что он начал формироваться в лагунной обстановке, а кончил в морской. В середине его угольный пласт. По направленности фаций он трансгрессивного типа.

Такая характеристика показывает фациальный состав литоцикла, его строение, наличие полезного ископаемого и направленность изменения. (Для циклов урезанных последнее под знаком вопроса). Если из контекста неясен ранг цикла, то следует добавить и определение его порядка.

Мы видим, что литоциклы характеризуются многими признаками: по составу, строению и ряду других. Основные из них, которые необходимо учитывать, указаны в табл. 7. (Для большей ясности параллельно приведен пример характеристики цикличности по этой схеме на конкретном материале угленосной толщи Донбасса). Определения ЛЦ по этой схеме создают достаточно полное и разностороннее представление о цикличности в том или ином геологическом объекте, а в каждом конкретном случае могут выявиться какие-то дополнительные черты, характерные для цикличности именно данного объекта, которые, конечно, следует отмечать. Признаки, изложенные по данной схеме, позволяют: во-первых, характеризовать ЛЦ изучаемой толщи, во-вторых, классифицировать эти ЛЦ и, в-третьих, сопоставлять однотипные ЛЦ, выделенные в разных толщах, выявлять, в чем их сходство, а в чем различие (как мы видели в предыдущей главе, в описаниях ЛЦ разных формаций существует большой разнობой).

Различными авторами предлагались классификации ЛЦ еще по ряду различных признаков: по мощности, времени формирования, причинам, их обуславливающим, режимам осадконакопления, соотношению со стратиграфическими единицами и др. Мы считаем, что классификация, основанная главным образом на признаках строения и состава, более объективна, чем по признакам, являющимся скорее выводом и далеко не всегда достаточно обоснованным (время, причины и т. п.). Этому вопросу более подробно мы коснемся ниже, в гл. 4.

3.3. Литоритмы и их соотношение с литоциклами

Мы рассматривали до сих пор литоциклы — сложные и довольно крупные элементы разреза. Элементарный литоцикл 1-го порядка обычно имеет мощность, измеряемую метрами и десятками метров, реже — от десятков сантиметров до нескольких десятков метров (а в определенных условиях она может достигать сотен метров). Циклы следующих порядков еще крупнее. Однако геологами давно

Признаки, характеризующие литоциклы

Характеристика литоциклов (ЛЦ)	Конкретный пример (угленосная толща Донбасса)
<p>Общегеологические данные: местоположение характер толщи возраст Мощность ЛЦ 1-го (нижнего) порядка Состав пород: основной подчиненный Состав фаций: преобладающие подчиненные Строение ЛЦ: типы ЛЦ степень симметричности, наличие полуциклов наличие ритмичности по какому признаку выделены ЛЦ Выделение ЛЦ высших порядков: какие высшие порядки отмечены мощность ЛЦ высших порядков по какому признаку выделены Характер направленности изменения фаций Изменчивость строения по латерали Нарушения: размывы — их место, характер, частота и др. тектонические, сейсмические и др., синхронные седиментации Место в ЛЦ полезного ископаемого</p>	<p>Донецкий бассейн Угленосная толща Средний карбон 10—20 м</p> <p>Терригенные, от конгломератов до аргиллитов Угли и известняки</p> <p>От континентальных до прибрежно-морских (меняются в зависимости от района)</p> <p>Различные: регрессивные, трансгрессивные, реже — нейтральные Симметричность не характерна, полуциклов нет Не характерна (лишь иногда в нейтральных частях ЛЦ) Направленность изменения фаций</p> <p>ЛЦ от 1-го до 5-го порядков</p> <p>ЛЦ 5-го порядка — 1000 м и более; по масштабу ЛЦ 4-го порядка соответствуют свитам Смена типов ЛЦ От морских к наземным и обратно От простого строения в западной части до сложного в юго-восточной</p> <p>Характерны в основании аллювия, особенно часты в западной части бассейна Не характерны</p> <p>Уголь связан с нейтральной частью ЛЦ, в начале его трансгрессивной части</p>

Характеристика литоциклов (ЛЦ)	Конкретный пример (угленосная толща Донбасса)
Возможность корреляции	ЛЦ 1-го порядка — в пределах месторождения; 2-го и 3-го порядков — на месторождениях и на всем протяжении между ними
Причины возникновения ЛЦ	Колебательные движения, влекущие смену фаций
Обстановка циклической седиментации: палеогеографическая климатическая тектоническая, синхронная седиментации наложенная тектоника	Параличская (от суши к морю) Гумидный климат Погружение, на фоне которого — поднятия Складчатость

отмечалась многократная повторяемость значительно меньших элементов разреза мощностью от миллиметров (и даже долей миллиметров) до нескольких сантиметров, построенных значительно проще. Характерная черта этих элементов — многократная однотипная повторяемость в толще пород. Эти элементы разреза получили название лент, варв, ламин и ритмов. Последний термин был введен при изучении флиша Н. Б. Вассоевичем (1948), который, впрочем, в работах последних лет категорически протестовал против его употребления, аргументируя это тем, что термин «ритм» обозначает мерность процесса, но не его вещественное выражение, с чем следует согласиться.

В результате увлечения в последние годы терминологическим словотворчеством для подобных элементов разреза взамен прежних были предложены многочисленные термины (пульсит, циклит, пико- или наноцикл и многие другие), из которых ни один по существу не принят на вооружение основной массой работающих геологов. Поэтому мы считаем необходимым пока сохранить привычный термин, добавив к нему приставку «лито-», чтобы подчеркнуть его принадлежность к характеристике пород: «литоритм», аналогично термину «литоцикл».

Несмотря на то, что литоритмы также, как и литоциклы, обладают определенной направленностью изменения их состава и строения и также повторяются в разрезе, вместе с тем они имеют целый ряд принципиальных отличий. Поэтому ни в коем случае нельзя считать, что литоритмы — это те же литоциклы, но мень-

шего масштаба, меньшей мощности, и на этом основании выстраивать их в единый ряд. Многочисленные примеры литоритмов приведены в гл. 2. В табл. 8 показаны отличия литоритмов от литоциклов, причина которых кроется в происхождении. Литоциклы формируются тектоническими движениями разного знака, крупными колебаниями климата, региональными изменениями в области питания и другими причинами, влекущими смену фациальных условий в области седиментации. Литоритмы же, как правило, возникают при частой пульсационной подаче в осадок различного осадочного материала в неизменном бассейне осадконакопления. Подача эта происходит в результате сезонных изменений (годовых и многолетних), мелких колебаний засушливых и дождливых периодов, попеременного развития фауны, штормов, нарушения равновесия, сейсмических толчков и ряда других причин. Таким образом, в отличие от циклов, общая фациальная обстановка в бассейне ритмического осадконакопления длительное время остается постоянной, а литоритмы в конкретной толще чаще относятся к одному генетическому типу.

При анализе отложений различных формаций, особенно хемогенных (соленосных, кремнистых), мы касались далеко не простого вопроса о соотношении таких явлений, как литоритмы и литоцикл. Заметим пока только, что литоритмы могут развиваться на фоне литоциклов, образуя части последних, но никогда не бывает наоборот, так как литоритм — единица разреза, всегда подчиненная литоциклу.

Характерное отличие литоритмов также в том, что они часто представляют собой элементы, слагающие одну породу (сложного строения), в то время как циклы — элементы, всегда слагающие толщу пород. Это нашло свое выражение в том, что уже давно породу, состоящую из мелких повторяющихся литоритмов, геологи стремились определить каким-либо одним термином. Так, всем известные «ленточные глины» представляют собой частое попарное чередование слоек глинистого и песчаного материала и по существу глинами не являются (см. рис. 10). Железистые кварциты докембрия, как мы видели, также представлены попарным чередованием слоев железистых и кремнистых примерно в равном соотношении. Для литоритмов характерно простое строение: обычно они состоят из 2—3 элементов — слоев (или слоев) разных пород, редко более. Эти слои следуют друг за другом в определенной последовательности, которая многократно повторяется, определяя этим специфическое строение толщи.

Однако ритмическое чередование слоев или слоев может быть построено и более сложно, когда появляется направленное изменение их признаков (чаще — мощности), обуславливающее появление ритмичности осадконакопления следующих порядков. Каждый последующий, более высокий порядок литоритмов определя-

Сопоставление понятий «литоцикл» и «литоритм»

Признак	Литоциклы (ЛЦ)	Литоритмы (ЛР)
1. Строение	Сложное (может быть из многих компонентов)	Простое (из 2—3 элементов, редко больше)
2. Соотношение с толщей пород	Ряд ЛЦ всегда образует толщу пород	Ряд ЛР может образовывать одну породу (ритмит)
3. Сходство смежных единиц в разрезе	Сходны, но не тождественны (могут быть и различны по набору пород)	Сходны (могут быть почти одинаковыми)
4. Направленность изменения по разрезу	Обязательна (может быть значительной)	Бывает, но чаще незначительная
5. Мощность	От десятков сантиметров до десятков (и сотен) метров	Миллиметры, сантиметры, до единиц метров
6. Границы между смежными единицами	Различные (резкие, отчетливые, постепенные переходы)	Обычно отчетливые или резкие
7. Характер направленности изменения внутри единицы	Для полного ЛЦ попеременно - разнонаправленное	Чаще однонаправленное
8. Многопорядковость	Обязательна	Характерна, но не обязательна
9. Соподчинение ЛЦ и ЛР	Литоциклы могут состоять из литоритмов	Литоритмы могут образовывать части литоциклов
10. Условия формирования	Изменчивые	Устойчивые
11. Относительное время накопления в одной толще	Обычно колеблется в каких-то пределах	Обычно очень близкое (равномерное)
12. Абсолютное время накопления в разных толщах	Чаще большее — десятки и сотни тысяч лет, для высших рангов — до миллионов лет	Небольшое (от смены сезонов до сотен и тысяч лет)
13. Причины возникновения	Тектонические движения; крупные изменения климата; изменения условий в области сноса; вулканизм	Изменения сезонные и многолетние, мелкие, климатические, «пульсация» седиментации
Примеры	Литоциклы в угленосных толщах	Ленты в ленточных глинах. Пары слоек в железистых кварцитах

Примечание. Признаки 1—9 определяются объективно, 10—13 — путем анализа конкретного фактического материала.

ется направленным изменением подчиненных ему литоритмов рангом ниже.

На рис. 17 мы видели колонку кремнистых сланцев такого сложного строения. Светлые слои — кремнистые, темные — глинисто-алевритовые. Здесь литоритмы 1-го порядка представлены слоями мощностью менее 1 мм. Они образуют пачки, у которых внизу преобладают светлые слои, а сверху темные — это литоритмы 2-го порядка мощностью от нескольких миллиметров до 1—2 см. Сравнение их снизу вверх по разрезу выявляет их направленное изменение в сторону увеличения роли глинистых слоев и уменьшения кремнистых. Таким образом, намечается ритм 3-го порядка, имеющий мощность более 10 см. Из рассмотрения данного участка разреза очевидно, что даже литоритмы 3-го порядка имеют весьма незначительную мощность, а число порядков может быть весьма большим даже на небольшом отрезке разреза.

Вопрос о литоритах, слагающих породы определенного типа, был рассмотрен в статье (Ботвинкина, 1966 б), где был предложен специальный термин «ритм»*, определяющий особый текстурный тип породы, сложенной очень мелкими литоритами. Прилагательное при нем указывает на состав слоев, образующих такую породу. Так, например, для пород типа ленточных глин более правильным было бы название «песчано-глинистый ритм». Тонкое ритмичное чередование слоев кремнистых и глинистых следует назвать «кремнисто-глинистый ритм» и т. д.

Во избежание неясностей термин «ритм» рекомендуется употреблять в строго определенных случаях. Прежде всего это всегда название породы, в которой чередование слоев столь тонкое и частое, что употребление выражения «переслаивание пород» или «чередование пород» является неточным, так как не отражает масштаба явления.

Толщина чередующихся слоевых элементов ритма очень мала: от долей миллиметра до единиц сантиметра, но чаще — не более нескольких миллиметров.

Повторяемость слоев (или их пачек) образует мелкие литоритмы, с достаточно отчетливыми и даже резкими границами. Внутри литорита границы слоев могут быть различными и часто бывают представлены постепенными переходами. Слоистость ритма обычно горизонтальная. Мощности слоев одного и того же состава либо равномерные, либо изменяются направленно, образуя ритм следующего порядка.

Следует, однако, иметь в виду, что ритм — это лишь частный случай отложений, состоящих из литоритмов. У последних в тол-

* Данный термин был употреблен М. Брамлеттом (Bramlett, 1946) для обозначения пары разных слоев, т. е. для того, что мы называем «лентой» или «варвой». Аргументация о предпочтительном употреблении этого термина для обозначения породы в целом приводится в той же статье (Ботвинкина, 1966 б).

щих иного рода может быть значительно большая мощность, достигающая десятков сантиметров для литоритмов 1-го порядка,

Таблица 9

Типизация литоритмов

Признак	Название литоритма	Примечания
1. Количество компонентов — элементов литоритма	Двухкомпонентный Трехкомпонентный (редко — с большим количеством компонентов)	—
2. Равномерность элементов внутри литоритма	Равномерный Неравномерный Направленно изменяющийся	— Слойки (элементы литоритма) одной мощности Элементы литоритма разной мощности Мощность элементов литоритма закономерно изменяется
3. Характер чередования элементов литоритма	Простой Усложненный Сложный	Состоит из 2 или 3 разных элементов Сочетание нескольких двухкомпонентных литоритмов + слоев иного состава Сочетание комбинаций простых литоритмов

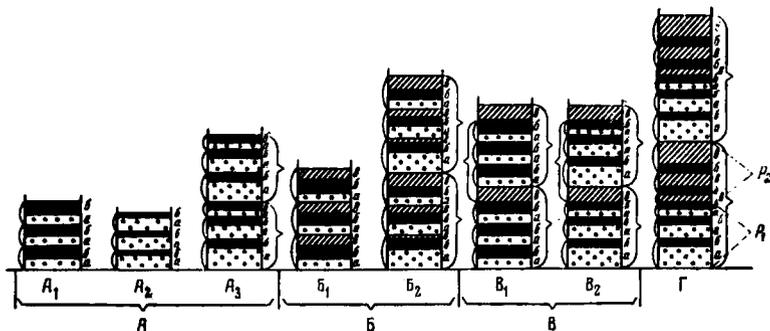


Рис. 47. Некоторые типы строения литоритмов:

a, б, в — слойки разного состава; *ритмы: А* — простые двухкомпонентные, *Б* — простые трехкомпонентные, *В* — усложненные трехкомпонентные; *A₁, B₁, B₁* — равномерные по мощности слойков, *A₂* — неравномерные (слойки разной мощности), *A₃, B₂, B₂* — мощность слойков направленно изменяется; *Г* — направленно-изменяющийся сложный трехкомпонентный ритм. В нем направленно изменяются как нижние (*P₁*), так и верхние его составляющие (*P₂*). Простые скобки слева от колонок — границы ритмов 1-го порядка, фигурные скобки (преимущественно справа от колонок) указывают на ритмы 2-го порядка

т. е. масштаба литоцикла, и более сложное строение, а также не только горизонтальная, но и мелкая косая или волнистая сло-

стость в отдельных элементах литоритмов (например, во флише).

Литоритмы можно типизировать по их строению и характеру чередования составляющих элементов — слоев (табл. 9). Таким образом, мы видим, что литоритмы могут быть охарактеризованы несколькими определениями: как по составу слагающих элементов, так и по их количеству и характеру чередования, по их соотношению. Литоритмы разного строения могут характеризовать различные горизонты, что способствует их корреляции в качестве стратиграфического признака. Это особенно важно для отложений, лишенных органических остатков, например, для древних докембрийских толщ.

На рис. 47 схематически показаны некоторые примеры литоритмов разного рода.

На рис. 48 приведен конкретный литоцикл регрессивного типа (из меденосной толщи Джекказгана), у которого условия формирования отложений изменялись от подводных до наземных. При этом в верхней части литоцикла чередование красноцветных почв и отложений застойных водоемов образует литоритмы, как бы «подчиненные» литоциклу и резко от него отличные по строению. Эти литоритмы, обусловленные климатическими изменениями, формируются, когда тектонические поднятия затухают перед сменой знака движения, что схематически отражено кривой справа. Аналогичные примеры мы видели также выше на рис. 7.

Как показали фактические материалы по специфическим толщам типа флиша, флишоидов, турбидитов и т. п., связанных с «событийной» седиментацией, для таких толщ трудно провести грань между собственно литоритами и литоциклами, так как строение и тех и других сходно (почему у исследователей и возникает желание выстроить их в единый ряд).

Однако «ритмы» высших порядков и по времени формирования, и по масштабу, и по направленности изменения (отражающей

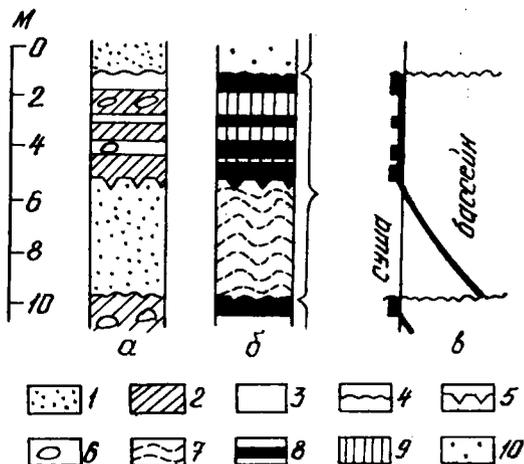


Рис. 48. Наложение ритмичности в седиментационном цикле (Джекказган):

а — литологическая колонка; б — фациальная колонка (скобки — границы литоциклов); в — кривая цикличности относительно уровня моря; 1 — песчаники, 2 — алевролиты; 3 — аргиллиты; 4 — контакты размыва; 5 — границы слоев с трещинами усыхания; 6 — конкреции; отложения: 7 — морские зоны волнений, 8 — почвы, 9 — подпочвы, 10 — дельтовые

изменчивость синхронных тектонических условий, а не иные наложенные процессы), следует считать литоциклами особого типа и отличать от собственно литоритмов. Поэтому желательно рассмотрение литоритмов разных порядков не только «по вертикали» от низших к высшим в пределах одной толщи, но и «по горизонтали», сравнение литоритмов высших порядков с литоциклами, сформированными в других режимах.

Итак, мы видим, что направленное изменение и повторяемость сходных элементов разреза могут быть рассмотрены на разных «уровнях»: изучение ритмически сложного строения пород (ритмиты); простого и однотипного чередования небольшого количества пород (литоритмы); изучение сложного строения осадочных толщ и их фациальной характеристики (литоциклы).

3.4. Литоциклы различного ранга и разные принципы их номенклатуры

Мы рассмотрели направленно-изменяющиеся, повторяющиеся элементы разреза, представленные сменой в осадочных толщах пород и различных фаций — литоритмы и литоциклы разных рангов и масштабов.

Но возможно рассмотрение цикличности на еще более высоком уровне — формаций и вообще крупных частей разреза, формирующихся за время от миллионов до сотен миллионов лет.

По мере изучения цикличности появилось стремление создать единую номенклатуру для всех проявлений периодического повторения сходных единиц разреза, начиная с таких мелких, как ленты и варвы, и до крупных циклов, объединяющих системы и даже группы и соответствующих крупным тектоническим этапам (Вылцан, 1977 а; Афанасьев, 1974 и др.; Тихомиров, 1967; и др.).

Однако, несмотря на желательность и кажущуюся возможность упорядочения номенклатуры циклов по такой единой системе, осуществить ее вряд ли возможно по следующим основным причинам.

Во-первых, повторяемость мелких единиц разреза (литоритмов), время формирования которых измеряется годами (до сотен лет); циклов разных порядков, формирующихся в течение десятков и сотен тысяч лет и, наконец, крупных циклов, охватывающих огромные регионы и представляющих собой смену различных формаций в течение десятков и даже сотен миллионов лет — эти явления принципиально различные в силу разных причин, их вызывающих.

Во-вторых, сопоставление в глобальном масштабе возможно только для сверхкрупных циклов последнего рода. Чем мельче ранг цикла (но не ритма), тем на меньшей площади он может быть прослежен. Поэтому «единая номенклатура», созданная для одного региона, может не соответствовать таковой в другом регионе. Следовательно, такая попытка носит чисто формальный харак-

тер. Кроме того, даже авторы, создающие такую систему сплошной нумерации, подходят к ней по-разному: одни предлагают нумеровать ранг циклов «сверху вниз» — от крупных до все более мелких (Тихомиров, 1967), другие, наоборот, от меньших к большим, т. е. «снизу вверх» (Вылцан, 1974).

Предпринимались и иные подходы к созданию «циклической иерархии» — по мощности циклов или же по времени их формирования: эти классификации неверны по существу и не пригодны практически. Так, мощности литоциклов могут существенно варьировать в зависимости от местных условий даже в одной и той же осадочной толще, не говоря уже об отложениях разного генезиса. Один и тот же литоцикл может сильно изменяться по мощности при прослеживании его в пространстве. Наконец, литоцикл 1-го порядка может иметь мощность значительно больше, чем литоцикл 2-го порядка, но сформировавшийся в другой фациальной обстановке.

Что же касается классификации по времени формирования, изложенной Н. Б. Вассоевичем и В. В. Меннером (1978) и основанной на том, что границы между циклами разных рангов представляют собой увеличение 10 единиц времени по одну ступень (10, 10², 10³, 10⁴, 10⁵ и т. д. лет), то, во-первых, она исходит из чисто умозрительных заключений, в то время как природные явления значительно сложнее и многообразнее. Во-вторых, она непригодна для применения в практической работе. Геолог, описывая разрез и приступая к выделению в нем циклов, не видит на нем «этикетки» о времени формирования, нет признаков, по которым эту «этикетку» можно «повесить». Следовательно, геологи сразу же обречены на невозможность отнести описываемый цикл к тому или иному рангу, чтобы использовать это в практической работе.

Время формирования — это не признак для классификации, а конечный вывод исследователя, да и то не всегда возможный, часто решаемый лишь приблизительно. Нам же необходимы признаки, по которым возможно намечать порядки циклов параллельно с изучением геологических разрезов. Наконец, циклы одного порядка, но в отложениях разного возраста и в разных формациях зачастую могут иметь разное абсолютное время формирования. Примеры таких различий видны из рассмотрения цикличности разных формаций в первой части работы. Учитывая все сказанное, приходим к выводу, что абсолютное время формирования циклов не может быть принято как признак для практического выделения литоциклов разных рангов.

Есть и другие варианты предлагаемых номенклатур. Так, В. А. Зубаков (1980 и др.) предложил классифицировать циклы отдельно по климату, тектонике и т. д. Но, во-первых, определение климата и тектонической обстановки формирования — это тоже выводы, полученные в результате проведенного исследования

и анализа цикличности. Кроме того, все эти факторы столь тесно взаимосвязаны, что практически расчлениить их весьма затруднительно. И, наконец, если бы даже это и удалось, то зачастую границы «климатических» литоциклов могут не совпадать по своему объему с тектоническими. Поэтому такое предложение тоже нереально ввиду невозможности его практического применения.

Некоторые авторы наименования литоциклов разных порядков проводили по аналогии с уже имеющимися стратиграфическими терминами. Здесь прежде всего следует указать на школу среднеазиатских геологов, возглавляемых В. И. Поповым (Попов и др., 1963, 1979 и др.), которые при изучении молассовых отложений выделили ритмотолщи, ритмосвиты и т. д. (в работах указанных авторов термин «ритм» соответствует нашему понятию «цикл»). Однако повсеместное использование номенклатуры такого рода далеко не всегда возможно, потому что во многих случаях границы литоциклов разного ранга могут не совпадать с границами стратиграфических единиц, так как выделение тех и других основано на различных признаках. Циклическая «иерархия» не должна подменять общепринятую стратиграфическую. Это две различные классификации, основанные на разных признаках и имеющие каждая свое назначение; они должны существовать параллельно (на этом вопросе мы еще остановимся в гл. 7).

Обсуждая вопрос о рангах циклов разного порядка, надо разделять определения общего значения, относящиеся к очень крупным литоциклам высшего ранга, формируемым процессами глобального масштаба, и определения порядков литоциклов низшего ранга, имеющих местное значение, формирование которых зависит от суммы действия местных факторов (аналогично выделению в стратиграфии общих и местных стратиграфических единиц).

Установить общие термины, определяющие ранг, можно только для очень крупных циклов высших рангов, имеющих общее значение. Эти крупные циклы (так же как и любые) выделяются в результате анализа направленного изменения отложений с течением времени, которые обусловлены всем ходом осадконакопления под воздействием многих факторов и тесно связаны с орогенезом (что было показано еще Н. М. Страховым в 1949 г.).

В течение ряда лет у многих исследователей возникал вопрос о необходимости общих наименований для литоциклов разных рангов и порядков. Эти попытки были двух родов: либо, как мы видели выше, добавлены части «ритмо» к стратиграфическим терминам (ритмосвита, ритмотолща и т. п.), либо — разнообразных приставок (мега-, гипер-, супер-, макро- и т. п.). В частности, автором совместно с Р. Э. Эйнасто в 1981 г. на совещании в Ленинграде были предложены следующие наименования для литоциклов высших рангов: эоно-, эра-, гига-, магна-, мега-, меди-, модестоцикл. Однако до сих пор в применении названий такого рода суще-

ствуется большой разноречивостью. Вряд ли можно окончательно решить этот вопрос, пока не будут проведены специальные исследования путем сопоставления проявлений цикличности высших рангов в ходе различных геологических процессов: тектонических движений, фаз орогенеза, чередования мировых морских трансгрессий и регрессий, крупных климатических изменений и др. в их взаимосвязи в глобальном масштабе (а не в пределах одного региона, изучаемого исследователем). Несомненно, здесь необходима увязка и с космическими явлениями.

Пока же, поскольку исследователям необходимо применять какую-то терминологию, мы считаем, что для литоциклов высших рангов лучше употреблять словесные обозначения, причем с минимально необходимым количеством терминов. Исходя из обозначений, ранее предлагавшихся различными исследователями, намечаются следующие термины, отвечающие примерно (но далеко не точно) общим стратиграфическим терминам: эрациклы (например, палеозойский), гигациклы (каледонский, герцинский и пр.). Эти литоциклы достаточно четко видны уже на схеме Н. М. Страхова. Далее три термина: магна-, мега- и медициклы, весьма приблизительно соответствующие по объему системам, отделам и ярусам. Эти термины не следует употреблять для обозначения литоциклов более низких рангов. Если есть необходимость подчеркнуть соответствие литоциклов по времени их образования какой-либо общей геохронологической единице (периоду, эпохе, веку), то можно употребить термины перицикл, эпоцикл и векоцикл.

Так как совпадение стратиграфических подразделений с циклическими обычно неполное, то для того, чтобы словесная номенклатура последних имела значение всеобщей, она должна обладать определенной гибкостью. С этой целью предлагается следующее: в зависимости от конкретных условий каждый из указанных выше основных терминов может получить по две дополнительные приставки: супер- и суб-, определяющие промежуточные единицы, связанные с основной. Например: супермегацикл — мегацикл — субмегацикл. Возможность использования этих промежуточных терминов придаст предлагаемой системе гибкость и вместе с тем обеспечит единство ее употребления. Таким образом, намечается третий «уровень» изучения цикличности — наивысший (глобальный), основанный на изучении смены формаций и их групп.

Так как термины с приставками «мезо-» и «макро-» уже многократно употреблялись различными исследователями для обозначения циклов низшего ранга (причем у разных авторов в различном местном значении), то во избежание путаницы в дальнейшем эти термины не следует употреблять в качестве названия крупных циклов общего значения. Поэтому они не введены и в предлагаемую ниже табл. 10. «Мезоцикл» и «макроцикл» можно считать терминами свободного пользования.

Сравнение различных стратификационных единиц (СЕ)

Характеристика 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 (перидицикл), 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, переменная 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 различные 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

Характеристика СЕ	Периодически повторяющиеся СЕ			Стратиграфические подразделения (с дополнениями «над» или «под»)	
	Литоциклы (ЛЦ) высшего ранга (с дополнениями «супер» или «суб»)	Литоциклы низшего ранга	Литоритмы (ЛР)	Общие стратиграфические и геохронологические	Местные
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	—	—

В табл. 10 показаны признаки, характеризующие литоциклы разных рангов, а также их сравнение с общепринятыми стратиграфическими подразделениями и соотношение тех и других. Мы видим, что при одинаковом принципиальном подходе к выделению литоциклов разных рангов между ними существуют и некоторые отличия. Возможно, что здесь, кроме определяющих земных процессов, играет роль и фактор времени формирования (который, однако, не может служить признаком для выделения литоциклов).

Литоциклы высших рангов в какой-то мере могут соответствовать стратиграфическим подразделениям, но их границы далеко не всегда совпадают. Что же касается литоциклов низшего ранга, то иногда их несовпадение может быть еще резче, а в других случаях они могут совпадать. (Но даже на таком примере, как средний карбон угленосной толщи Донбасса, где установлено соответствие свитам литоциклов 4-го порядка, их границы совпадают неточно).

Литоциклам низшего ранга, имеющим местное значение и выделяемым при более длительных исследованиях, рекомендуется давать только цифровую нумерацию. Однако, как уже было сказано выше, на практике разные исследователи нумеруют порядки этих более мелких литоциклов различно. При нумерации «сверху вниз» первым порядком считается наиболее крупный цикл, выделенный в данном районе и в пределах изучаемого разреза, который затем расчленяется на более мелкие циклы низших порядков. При такой системе элементарный цикл получает n -й порядок, причем его номер будет различным в разных районах в зависимости от конкретных условий, а также от того, с какой части разреза начинается выделение литоциклов. Здесь уместно заметить: если исследования в дальнейшем охватят бо́льшую мощность разреза (в том же регионе), то могут быть выделены циклы более крупного порядка, чем цикл, определенный как цикл 1-го порядка, и тогда возникает вопрос, как же следует нумеровать эти более крупные циклы при системе обозначения «сверху вниз»? (Примеры этого мы неоднократно видели). Поэтому рекомендуется цифровую нумерацию рангов давать «снизу вверх», от меньшего к большему, обозначая порядки литоциклов арабскими цифрами.

Если по каким-либо причинам исследователь все же вынужден применять для циклов низших порядков нумерацию «сверху вниз», по мере их детализации, то их рекомендуется нумеровать римскими цифрами. Таким образом, сразу будет очевидна система, принятая автором, и станет более легким сопоставление конкретного материала разных регионов.

Схематически это показано в табл. 11, где видно, что номер порядка литоцикла, выделенного в одном районе (они обозначены буквами), может не совпадать с таким же порядковым номером литоцикла, выделенного в другом районе. Вместе с тем видна воз-

возможность стратиграфического сопоставления литоциклов, выделенных при разной системе нумерации. Так, например, литоцикл 1-го порядка в районе «Г» может соответствовать литоциклу 2-го порядка в другом районе «В» (по разным причинам, в том числе в результате расщепления). С другой стороны, мы можем установить, что, например, литоцикл II порядка в районе «Б» может соответствовать литоциклу 5-го порядка в районе «В» (где работали другие исследователи, применяющие иную систему нумерации).

Но в обоих случаях это будут стратификационные единицы местного значения. Несовпадение номеров порядка при сравнении отложений одного возраста, но в разных районах, аналогично выделению в разных районах свит различного наименования.

Литоциклы одного и того же порядка, но выделенные в разных осадочных толщах, практически соответствуют по объему различным стратиграфическим единицам. Так, например, в работах по докембрию Карелии (Галдобина, 1975) свите равен цикл 3-го порядка; в работах коллектива геологов по Донбассу (Жемчужников и др., 1960) свите соответствует цикл 4-го порядка. В работах И. А. Вылцана (1974 и др.) свите отвечает цикл VII порядка и т. д.

Порядки литоциклов нельзя выделять по мощности, фациальному набору или занимаемой площади, так как эти признаки могут быть различны в разных районах для литоциклов одного и того же порядка. Определение литоцикла и отнесение его к тому или иному порядку — результат исследования, а не начальная его фаза. Оно основано на рассмотрении многих черт изучаемых отложений, их анализе и синтезе. Вместе с тем как завершение исследования такое определение необходимо для дальнейшего использования цикличности в практических целях (корреляции разрезов, определения места полезного ископаемого и др.).

Таблица 11

Примеры возможной нумерации порядков литоциклов в разных районах и их сопоставление

А*	Б*	В**	Г**
?			
I			5
II	?	5	4
III	I	4	3
IV	II	3	2
	III	2	1
	IV	1	

* Нумерация «сверху вниз», от большего порядка к меньшему.

** Нумерация «снизу вверх», от меньшего, элементарного порядка к большему.

3.5. О толщах «хаотических» и «монотонных»

Выше мы отметили, что цикличность седиментации, как это вытекает из анализа разнообразного фактического материала,— явление всеобщее, независимо от состава и возраста отложений. Однако вслед за рядом исследователей, кроме циклически построенных тел, можно выделить еще две категории толщи нециклического строения: «монотонные» и «хаотические». Для первых характерна монотонность, однородность пород, для вторых, наоборот, разнообразие условий седиментации без какой-либо отчетливо выраженной закономерности. Очевидно, эти явления — результат принадлежности той или иной толщи к растянутым нейтральным частям очень крупных литоциклов высших порядков. Например, в Кузбассе (Ботвинкина, 1953) отмечалась растянутая часть литоцикла 2-го порядка, на фоне которой литоциклы 1-го порядка были неясно выражены. Эта неясность усугублялась еще местной миграцией речных русел и другими мелкими изменениями деталей палеоландшафта. Такие же толщи отмечались и в других районах.

Мы знаем, что закономерности, присущие литоциклам более низких порядков, проявляются и в более высоких порядках. Поэтому вполне вероятно, что и в литоциклах более высоких рангов их регрессивные и трансгрессивные части имеют ясно выраженное циклическое строение, а в завершающих их нейтральных частях подчиненные литоциклы меньшего порядка проявляются слабо, так как тектонические движения одного знака в нейтральной фазе уже «затухают», а другого — еще не набрали силу.

В нейтральной части, завершающей крупную регрессию, формирование осадков обычно происходит в сложных палеогеографических условиях, преимущественно в наземной и прибрежно-бассейновой обстановках, где многочисленные второстепенные факторы как бы затушевывают цикличность, и без того слабо выраженную. Это «хаотические» толщи.

«Монотонные» толщи формируются, по-видимому, также в нейтральной зоне крупного ЛЦ, но завершающей уже трансгрессивную его часть. Здесь развитие цикличности, само по себе слабое, но заметно еще и благодаря однородности осадочного материала при седиментации преимущественно в морских, часто глубоководных, условиях в удалении от берега и от источника сноса. Поэтому понятно, что выделение литоциклов по смене гранулометрического состава в таких условиях — дело весьма затруднительное. Однако при внимательном изучении разреза «монотонных» толщ, с определением комплекса признаков пород и выделением фаций, в таких толщах обнаруживается присущая им цикличность (как это мы видели раньше).

С другой стороны, если изучаемая часть разреза имеет мощ-

ность меньшую, чем слагающие ее литоциклы, то мы увидим лишь какую-то часть ЛЦ, и может показаться, что эта толща построена не циклически. Внимательное рассмотрение комплекса признаков отложений, детальность исследований и знание законов, которым подчиняется циклическая седиментация, позволяют исследователям обнаруживать цикличность там, где ее вначале не видели.

Глава 4. ПРИЧИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИТОЦИКЛОВ

4.1. Факторы формирования цикличности и причины, ее вызывающие

Вопрос о причинах циклической седиментации, пожалуй, один из наиболее сложных, в ряде случаев — спорный и на данном этапе еще не решенный.

Из рассмотрения конкретного материала по отложениям различного состава и происхождения, сформированных в разных обстановках, совершенно очевидно, что литоциклы формируются под воздействием суммы факторов, каждый из которых определяет ту или иную их черту. В ходе исследований, как правило, выясняется наличие ряда причин, из которых какая-то является ведущей, основной, а другие имеют второстепенное значение. Процессы, в результате которых образуются периодически повторяющиеся элементы разреза, можно разделить примерно на три группы.

1. Смена осадочного материала, происходящая только за счет процессов, свойственных отложениям данной фации (или группе смежных фаций) при неизменности общей фациальной обстановки — автоциклические процессы (от греч. *autos* — сам).

2. Изменения осадконакопления в результате смены фаций (или генетических типов) то в одном, то в другом направлении, что вызывает появление литоциклов. Это происходит под влиянием процессов, не зависящих от фациальных условий, но синхронных осадконакоплению и действующих в данной области седиментации (тектонические движения разного рода и ранга, реже — климатические изменения) — аллоцикличность (от греч. *allos* — другой).

3. Циклическая смена отложений, происходящая в результате процессов, действующих вне области седиментации, за ее пределами, в том числе в области сноса — ксеноцикличность (от греч. *xenos* — чужой, чуждый).

Разберем их последовательность (табл. 12).

Процессы формирования повторяющихся единиц разреза, происходящие за счет изменения продуктов седиментации внутри од-

Факторы, обуславливающие формирование цикличности

Процесс, формирующий литоцикл, и место его действия	Осадочный материал	Режим	Характер смены фаций или генетических типов	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 (проходящий 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, инундиты 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 ее	Ксенолитоциклы	Сложное

ной и той же общей фациальной обстановки (ландшафта) и обусловленные особенностями последней, многообразны, имеют разный масштаб действия и вызываются различными причинами. В континентальных условиях это характерно прежде всего для озерных отложений, куда относятся и известные ленточные глины, в которых литоритмы возникают в результате сезонных изменений осадконакопления. В озерных же условиях могут появляться отложения, состав которых периодически изменяется также в результате сезонной смены (расцвета или гибели) живых организмов, в частности летнего расцвета водорослей. Для соленосных отложений — это регулярная смена солей разной концентрации (или состава), что часто подчинено сезонным изменениям внутри самого водоема *. Перечисленные и подобные им процессы, как правило, формируют мелкие литоритмы разных порядков, в составе которых отмечается смена небольшого набора разных по составу отложений, сформированных в пределах одной фациальной обстановки. Причина их появления — сезонные и мелкие климатические изменения. Литоритмы этого происхождения имеют различную выдержанность в пространстве, но в ряде случаев они могут коррелироваться на значительном расстоянии.

Другой фактор, вызывающий повторение сходных отложений в континентальных условиях (преимущественно по изменению их гранулометрии) — это особенности формирования аллювиальных и дельтовых отложений (фации речных выносов в водоем). На площадях, где формируется аллювий, Дж. Бирбауэр (Beerbower, 1969 и др.) выделил два типа процессов: автоциклические, для которых главными факторами являются гидродинамика и топография местности, и аллоциклические, которые находятся под влиянием колебательных движений. Интересные сведения по автономно возникающей цикличности при формировании дельтовых толщ привел В. Т. Фролов (1972). В речных долинах миграция русел (обусловленная жизнью самой речной системы) влечет смену отложений русловых, пойменных, старичных. В дельтовых отложениях речных выносов в связи с отмиранием одних рукавов и появлением других в разрезах отмечается смена и повторяемость сходных по составу компонентов. Польские геологи (Седиментология, 1980) называют это явление «автоциклическими процессами седиментации». По их мнению, появление таких циклов зависит от соотношения скоростей прогибания и седиментации.

Однако такие «циклы», представленные отложениями только одной фации, как правило, не выдерживаются на площади достаточной протяженности и не имеют закономерно направленной последовательности отложений, так как обуславливаются чисто слу-

* В других случаях это может быть связано с чередованием влажных и сухих периодов более крупного масштаба, тогда возникающие литоциклы относятся уже к другой группе.

чайными факторами, а не какими-то регионально действующими причинами. Обычно они представляют собой лишь местные усложнения «внутри» одной фации или фациальной обстановки, отложения которых являются частью «настоящего» литоцикла. Поэтому их следует рассматривать в качестве сублитоциклов (или подциклов). Иногда, при прослеживании литоциклов в пространстве, выявляется, что эти сублитоциклы по существу представляют собой нормальные литоциклы, но урезанные в значительной части в результате размывов. В этом случае их следует рассматривать уже как явление иного рода.

Наконец, в крупных акваториях в морских (а тем более океанических) условиях при длительной стабильности общей фациальной обстановки также могут формироваться отложения, периодически повторяющиеся в результате особенностей самой седиментации именно в данной фации за счет происходящих в этой обстановке автоциклических процессов. Примером могут служить кремнистые сланцы (попеременное отложение кремнистого и глинистого материала), железистые кварциты и др. Исходными единицами здесь являются литоритмы от самых мелких 1-го порядка до все более крупных следующих порядков.

Из сказанного видно, что автоциклическость мы понимаем не только как изменения русловых и дельтовых отложений, а более широко. Понимаемые таким образом автоциклические процессы, приводящие к смене состава отложений внутри автономной системы без изменения общей фациальной обстановки, как в континентальных, так и в морских условиях, обычно образуют периодически повторяющиеся единицы низшего ранга — литоритмы или сублитоциклы. Надо заметить, что при горизонтальном залегании такие литоритмы могут иметь большую пространственную протяженность: в этом случае весьма трудно отличить крупные литоритмы *n*-го порядка от литоциклов. Вопрос этот на данном этапе изучен недостаточно. Однако несомненно, что критерии для их разделения существуют (в частности, направленность изменения, «набор» составляющих элементов и др.).

Вторая категория причин, вызывающих сходную повторяемость единиц разреза — влияние на процесс седиментации факторов, как бы внешних по отношению к фациальной обстановке (ландшафту), но действующих в ее пределах — на территории данной области седиментации. Причин, вызывающих аллоциклическость, в основном две. Прежде всего, это тектонические движения, характер которых зависит от принадлежности области к той или иной тектонической структуре. Во-вторых, изменения климата достаточно большого временного масштаба. Обе причины могут вызвать либо миграцию фаций в пространстве то в одном, то в противоположном направлении (миграционная циклическость), либо разнонаправленную смену фаций или генетических типов во времени (по вертикали) на до-

статочной большой площади. Такую цикличность можно назвать мутационной*. Последняя также часто связана с автопроцессами (например, в биогенных породах).

Характер тектонических движений бывает различным. В одних случаях — это колебательные движения переменного знака, вызывающие миграцию фаций, особенно заметную при осадконакоплении в прибрежно-морской обстановке, в эпиконтинентальных морях. В других случаях это может быть неравномерное либо относительно равномерное погружение дна водоема, в той или иной степени компенсируемое накоплением осадков. Соотношение этих факторов весьма разнообразно и выявляется в результате анализа материала наблюдений в каждом конкретном случае.

Наиболее типичны случаи, когда движения положительного знака (поднятие) вызывают формирование регрессивного ряда осадков, а погружение той территории, на которой происходит седиментация, влечет формирование трансгрессивного ряда отложений от менее до более глубоководных. Перемене знака движения отвечает граница между отложениями регрессивного и трансгрессивного ряда. При этом нередко сказывается влияние еще одного фактора — изменения глубин за счет накопления на дне осадочного материала, что может несколько усложнить образующуюся последовательность отложений (особенно при относительно небольших глубинах или больших скоростях осадконакопления). Так, например, в случае погружения при равных скоростях тектонического движения и накопления осадков, мы не отметим изменения фаций, а в случае перекомпенсации даже на фоне тектонического погружения может возникнуть ряд отложений регрессивного типа (особенно при малой скорости опускания и относительно небольшой глубине бассейна). При движениях положительного знака осадконакопление усиливает регрессивный характер отложений.

«Поворотный момент» в смене отложений одного ряда другим может появиться в случае перекомпенсации раньше смены знака движения, а в случае недокомпенсации — несколько позже. В данных ситуациях имеет значение также глубина, на которой происходит седиментация. Но для практической работы, при фациальном анализе, нам наиболее важно отметить поворотный момент в характере изменения осадков.

В пределах водного бассейна, в котором происходит седиментация, характер осадков может периодически изменяться в результате колебания глубин бассейна, при относительно стабильной береговой линии, т. е. без миграции фаций в пространстве, а только за счет их смены во времени на достаточно большой площади. Такое попеременное изменение глубин возможно не только в результате перемены знака движения того субстрата, на котором

* Аналогично терминам, применяемым к слоистости отложений.

отлагаются осадки, но и на фоне его прогибания, благодаря разнице в соотношениях скоростей тектонического движения и осадконакопления. Такие соотношения часто формируют литоциклы низших порядков, развивающиеся на фоне более крупных по рангу литоциклов, появление которых обуславливается значительными поднятиями. Это особенно характерно для крупных водоемов, в частности для прогибов в геосинклинальных областях. Напрашивается вывод, что миграционная цикличность вызывается тектоническими движениями переменного знака, а мутационная — преимущественно прогибаниями дна водоема, движениями опускания.

Кроме тектонических движений, попеременную миграцию фаций могут вызвать также достаточно резкие и длительные периодические изменения климата, хотя последние чаще влияют на смену отложений генетически разных, но формирующихся в пределах одной и той же фациальной обстановки, т. е. вызывают цикличность мутационную. Периодически повторяющиеся при этом единицы разреза бывают близки по своему характеру к вызванным автоциклическими процессами.

Соотношение влияния на циклическую седиментацию климата и тектонических движений может быть различным. Иногда оба эти фактора действуют совместно, но чаще сказывается влияние одного из них.

Наиболее типично действие тектонических движений, вызывающих циклическую седиментацию в какой-либо одной крупной климатической области. Это мы видели на примерах, приведенных выше (например, угленосная толща Донбасса, меденосные отложения Джебказгана).

В ряде случаев на фоне литоциклов, определяемых тектоникой, формируются подчиненные им сублитоциклы или литоритмы, обусловленные климатом: они приурочиваются к нейтральным частям литоциклов, когда ослабевает действие более сильного тектонического фактора. Примеры этого мы видели в литоциклах, сформированных в разных климатических условиях: периодическое чередование озерных осадков и почвенных образований в аридном климате (см. рис. 7); чередование отложений болот обводненных и зарастающих в гумидном климате (см. рис. 6). В соленосных отложениях отмечались литоциклы, формируемые в результате тектонических движений, вызывающих периодическое отчленение залива от моря, а внутри них — подчиненные им литоритмы, выраженные попеременным изменением состава солей, связанных с изменением климатических условий. (Подробнее такие сложные случаи описаны выше).

Но могут быть и иные соотношения тектонического и климатического факторов. Так, изменения климата, крупные как по захватываемой ими территории, так и по времени (например, чере-

дование периодов холодных и теплых) могут формировать особые самостоятельные крупные климатические циклы. Тектоническая обстановка при этом в одних случаях может быть стабильной (формируются литоциклы чисто климатические), в других же, на фоне таких циклов, могут развиваться подчиненные им литоциклы тектонического происхождения.

Третий тип процессов, формирующих циклическую седиментацию в водных бассейнах (особенно морских), определяется тем, что фациальные условия остаются неизменными, идет непрерывное осадконакопление, свойственное данной фациальной обстановке. Но при неизменности последней в бассейн периодически поступают порции материала, приносимого извне в результате периодических процессов, проходящих в области сноса. Например, в морской бассейн, где происходит непрерывное карбонатонакопление, через определенные интервалы поступает терригенный материал при периодическом усилении разрушения окружающей суши (в результате вертикальных движений положительного знака), в связи с перманентным изменением климата в области сноса или другими причинами — наводнениями, штормами, сейсмическими колебаниями. Надо заметить, что в этих случаях далеко не всегда можно четко разделить литоциклы и литоритмы. Зачастую их границы определяют в основном по масштабу явления, по мощности повторяющихся единиц разреза. С нашей точки зрения, критерием для отнесения сформированных таким образом единиц разреза к литоритмам или литоциклам служит не столько их масштаб, сколько отчетливо выраженная *направленность* изменения (характерная для литоциклов), а также их строение. Если это литоциклы, то они, как правило, имеют более сложное строение; литоритмы же имеют обычно простое строение и состоят из 2—3 элементов, редко больше.

Довольно распространенным является такое положение, когда в глубоководный бассейн со свойственной ему непрерывной седиментацией периодически врываются мутевые или иные потоки: их отложения, чуждые данной обстановке, образуют своеобразную цикличность, со сложным строением литоциклов. Сюда же относятся такие образования, как турбидиты и флиш.

Большое внимание причинам появления цикличности седиментации и вызывающим ее различным факторам уделено в сборнике «Циклическая и событийная седиментация» (1985). Ряд авторов выделяет (в основном в глинисто-известковых толщах) группу литоциклов, представляющих собой «чистый тип циклических осадков с определенными временными интервалами образования циклов (периодиты)» (с. 13). Для них характерно медленное и периодическое изменение седиментационных параметров и непрерывное накопление осадков. Выпадение слоев из разреза и размыв не типичны, но часто характерны биотурбации. Авторы выделили эти

элементы в разрезе в основном в толщах известняков, формировавшихся в обстановках от пелагических до гемипелагических, ниже зоны действия волн. Из характеристики периодитов очевидно, что это частный случай обычных полных литоциклов, формировавшихся в особых фациальных условиях. Первичные признаки

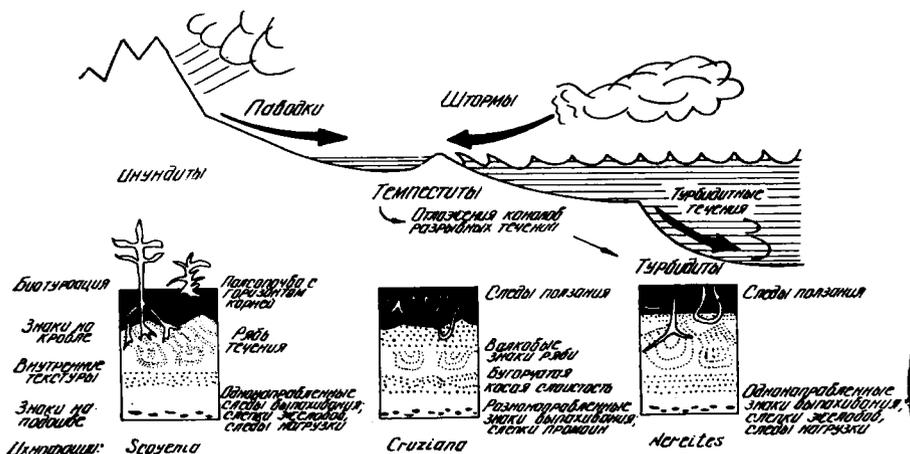


Рис. 49. Схема различий (пары песок — глина) паводковых, штормовых и турбидитных песчаных отложений по седиментологическим и биологическим признакам.

Градационные текстуры в песчано-глинистых парах слоев сходны (по А. Зейлахеру, см.: Циклическая и событийная седиментация, 1985)

их строения часто изменяются при диагенезе и последующих процессах.

В другую группу выделены элементы разрезов, связанные с нарушениями плавной и непрерывной седиментации. Это турбидиты, темпеститы, иундиты, сейсмиды и другие «событийные» отложения (рис. 49).

Что касается турбидитов, то эти образования и их внутренняя ритмичность давно были выделены и описаны многими авторами. Их характерные черты мы показали выше. Особо стоит вопрос о темпеститах: судя по приведенному материалу, в эту группу попадают литоциклы разной породы и происхождения. К ним отнесены осадочные толщи, в которых основной процесс седиментации нарушается в результате эпизодических «событийных» процессов, таких, как штормы (собственно темпеститы), сейсмические колебания (сейсмиды), сильные наводнения (иундиты) и, наконец, пеплопады в результате вулканических извержений.

Нам представляется, что эти явления следует рассматривать по крайней мере в двух аспектах: 1) как нарушающие осадконакопление: сейсмические толчки, встряхивающие, существующий

осадок и образующие в нем особые текстуры (имеющие, в частности, большое значение для корреляции отложений); 2) накапливающиеся с приносом дополнительного осадочного материала в результате штормов и наводнений. Обычно при этом образуются литоциклы с более или менее значительной примесью кластического (в том числе и терригенного) материала, который образует резкую границу между литоциклами. Темпеститы и инундиты формируются в основном на шельфе, на мелководье, ниже базиса действия обычных волн. По проведенным подсчетам, интервалы времени между штормами и ураганами различны и составляют от 2,5—5 до 10—15 тыс. лет для отложений разного возраста. Понятно, что подсчеты приблизительны, так как учитывались лишь самые сильные ураганы. В настоящее время зафиксирована периодичность сильных штормов в Северном море в 20—50 лет. Последовательность слоев в темпеститах в общем сходна с последовательностью, описанной у А. Боума (Bouma, 1962).

Для темпеститов характерно уменьшение мощности слоев в сторону бассейна, а также уменьшение размера частиц с преобладанием иловых и изменение структуры осадка. Ближе к суше в основании литоцикла (темпестита) наблюдаются контакты размыва, промоины. В верхних частях отмечены биотурбации, уменьшающиеся вниз. В ряде случаев такие литоциклы завершаются поверхностями со следами жизнедеятельности донных организмов, на которые налегают новые порции отложений, принесенных штормом. Так как действие шторма оказывается на значительной площади, то темпеститы можно использовать для корреляции, причем более дробной, чем биостратиграфическая корреляция. При этом следует помнить, что более сильные штормы при наличии на дне бассейна неконсолидированного осадка могут размывать и перемещать (а может быть и уничтожать) отложения образованных до этого литоциклов. Темпеститы и их изменения в направлении от суши к морю в какой-то мере могут служить индикаторами палеоглубин. Пример строения литоцикла штормового типа (темпестита) приведен на с. 197 упомянутого сборника (в статье Р. Д. Крейза и Р. К. Бамбаха) — см. рис. 49.

Литоциклы, возникающие в результате периодических наводнений (инундиты), — образования того же плана, что и темпеститы. Отличие их в том, что в темпеститах в основном переотлагается материал, отложившийся на дне водного бассейна, а в инундитах в основании неизбежно присутствует материал, принесенный с суши и зачастую чуждый общему фону осадконакопления в данной обстановке. И штормы, и наводнения создают асимметричные циклы с трансгрессивной направленностью изменений отложений внутри литоцикла.

С другой стороны, они часто образуют литоритмы разного порядка и масштаба.

Литоциклы, сформированные в результате этих «событийных процессов», обязаны своим происхождением факторам иного плана, чем описанные выше тектоника и климат. С. И. Романовский (1985) отложения подобного рода относит к инъективному режиму осадконакопления. Таким образом, мы можем определить еще одну причину появления литоциклов как инъекции одного материала в другой.

В ископаемых отложениях зачастую практически трудно определить, какой именно фактор действовал в данном конкретном случае. Если порции чуждого терригенного материала врываються в карбонатные отложения — задача легче. Но при поступлении порций принесенного извне терригенного материала в терригенный же, формирующийся на своем месте, задача осложняется. Например, трудно отличить литоцикл, начало которого связано с усилением приноса терригенного материала в связи с поднятием суши (тектонический фактор), от литоцикла типа инундита, начало которого формируется материалом, принесенным с суши в результате наводнения (инъекционный фактор). Здесь требуется анализ всех генетических признаков, чтобы решить, изменились ли условия осадконакопления в данном месте или же это результат приноса «чуждого» материала.

Литоциклы, сформированные этими процессами, по существу являются ксенолитоциклами. Но из-за сложности выявления причин их формирования определение типов по этому признаку следует считать выводом, делаемым на определенной заключительной стадии исследования. Поэтому термин «ksenолитоциклы» лучше употреблять только при появлении вулканогенного материала в составе осадочных литоциклов, когда цикличность вулканических процессов накладывается на иную — осадочную и образуются литоциклы сложные и по строению, и по составу.

В областях, куда поступают продукты вулканизма, литоциклы являются результатом совместного действия осадочных и вулканических процессов, причем собственно вулканическая составляющая, в свою очередь, также образует сложную цикличность, возникающую в результате смены химического и минерального состава вулканитов и их генетических типов, представленных разнообразными отложениями; эффузивными, эксплозивными, гидротермальными. Вулканическая составляющая всегда формирует в осадочной толще ксенолитоциклы.

Соотношения вулканогенного и собственно осадочного элементов разнообразны. В одних случаях на фоне вулканогенно-осадочных литоциклов развивается чисто седиментационная цикличность низших порядков. В других случаях, наоборот, на фоне крупных осадочных литоциклов формируются подчиненные им литоциклы вулканогенно-осадочные или даже чисто вулканогенные.

Границы вулканических и осадочных литоциклов часто совпа-

дают, будучи связаны с влиянием одного и того же регионального фактора, например, с тектоническими движениями. Последние вызывают изменение положения береговой линии моря и миграцию фаций и одновременно усиливают вулканическую активность, способствуя появлению разломов, служащих путями поступления в бассейн седиментации глубинного материала. Все же при наложении вулканических и осадочных литоциклов их границы могут и не совпадать. Некоторые примеры вулканогенно-осадочных литоциклов были показаны в предыдущей части. Более подробно они описаны в работе автора (Ботвинкина, 1974).

Даже такое предельно краткое рассмотрение причин циклическости позволяет сделать вывод, что последние многообразны. Обычно литоциклы формируются под воздействием нескольких факторов: тектонических, климатических, палеогеографических, которые теснейшим образом взаимосвязаны (в ряде случаев к ним добавляются инъективные).

Главной причиной, вызывающей циклическую седиментацию и образование литоциклов разных порядков, следует считать тектонические процессы разного рода и ранга, тектонические движения разного знака или переменных скоростей. Они определяют особенности строения литоциклов, последовательность отложений внутри них и взаимоотношение литоциклов в пространстве и времени. Характер тектонических движений, в свою очередь, зависит от принадлежности данной области седиментации к той или иной тектонической структуре.

Состав литоциклов, их характер и даже масштаб различны в зависимости от фациальной обстановки, от того ландшафта, в котором происходит осадконакопление — на суше (в озерах, аллювиальных долинах, предгорьях и др.), в прибрежно-морской обстановке (в паралических условиях) или же внутри водных бассейнов (крупных озер, морей и их частей или, наконец, в океанах). Различия эти мы видели на примере угленосных толщ и других формаций. Однако палеогеографическая обстановка сама по себе не является причиной формирования циклически построенных отложений. Вызывает циклическость лишь периодическая смена обстановок седиментации или же генетических типов с соответствующим попеременным изменением состава отложений.

Резюмируя, можно сказать, что из факторов, влияющих на циклическость, фациальная обстановка определяет состав ЛЦ, а тектонические движения — их строение и границы.

Что же касается климата, то он влияет и на особенности фациального состава отложений (в зависимости от принадлежности области седиментации к той или иной климатической зоне), и на строение литоциклов (в результате климатических изменений).

Наиболее ярко выявляется циклическость, связанная с миграцией фаций. Автоциклические процессы вызывают формирование

единиц преимущественно низшего ранга — литоритмов или сублитоциклов. Для ксенолитоциклов характерна сложность их состава и строения.

Однако и тектонические движения, и климатические изменения разного масштаба возникают не сами по себе, а чем-то обуславливаются. Некоторые исследователи обратили внимание на зависимость стратификации (и ритмической и циклической) от каких-то еще более «отдаленных» причин — космических явлений. В связи с этим необходимо предельно кратко коснуться не только цикличности осадконакопления, но и некоторых других периодически повторяющихся процессов.

4.2. Периодичность различных природных явлений, их взаимосвязь и влияние на цикличность седиментации

Выше мы упоминали о ритмичности осадконакопления сезонного происхождения в самых различных отложениях с образованием ритмов 1-го порядка (лент, варв), зависящих от смены времени года, т. е. от вращения Земли вокруг Солнца. В результате исследования во многих отложениях разнообразного состава и возраста (от молодых до весьма древних) обнаружено периодическое построение слоев. Можно считать также установленной связь ритмичности осадконакопления 2-го порядка с 11-летним периодом изменений климата, зависящим от 11-летнего периода солнечной активности. Отмечена также и менее выраженная «промежуточная» ритмичность, как бы подчиненная 11-летней ритму: 3- и 6-летняя. Такая же периодичность — 3-, 6- и 11-летняя была выявлена при изучении срезов стволов крупных арizonских сосен и зависела от колебаний влажности климата. Сходная периодичность нарастания была обнаружена у известковых водорослей, в скелетах кораллов и некоторых других организмов.

Такое поразительное сходство периодических изменений через одинаковые промежутки времени у столь различных объектов наблюдений, как древесный ствол, колония кораллов и озерные илы, навело исследователей на мысль о том, что должна быть какая-то общая причина такой периодичности. Очевидно, это та причина, которая вызывает изменение климата, смену влажных и сухих, теплых и холодных сезонов, лет и многолетних периодов.

Сопоставляя периодичность в образовании осадков с изменениями уровня водоемов и климатических условий в зависимости от колебаний солнечной радиации, В. Б. Шостакович (1941) пришел к выводу, что изначальная причина периодичности в накоплении донных озерных осадков — космического происхождения (как, впрочем, и само образование слоев, связанное с сезонами года, т. е. тоже планетарного порядка). В результате исследований ря-

дом геологов установлено, что ритмичность осадконакопления в таких отложениях тесно связана с циклом солнечных пятен и другими космическими явлениями. В периоды с минимальным числом солнечных пятен увеличивается испарение, и поэтому наблюдается наиболее низкий уровень воды в озерах. Так как скорость накопления карбонатов и органического вещества зависит в значительной степени от температуры воды, то в годы минимума, когда температура возрастает, увеличивается и мощность органогенно-хемогенных осадков. В годы же с повышенным количеством пятен на Солнце в водоемах накапливается больше обломочного материала. Литоритмы, состоящие из органогенно-хемогенных осадков, более чутко отражают изменение солнечной активности, чем те, которые слагаются целиком обломочным материалом.

Изучению периодических изменений климата было уделено большое внимание, в результате чего установлены еще более крупные периоды: 35-, 50-летний и часто хорошо выраженный 100-летний. Интервалы повторяемости климатических особенностей через 35 лет установлены на многих объектах. Понятно, что эти климатические периоды не могли не отразиться на накоплении осадков и их свойствах в процессах формирования литоритмов разных порядков.

С другой стороны, изучение геологических объектов разного возраста (вплоть до докембрия) и выделение в них ритмичности разных порядков позволяет делать вывод о периодическом изменении климатических условий в прошлом, с накоплением литоритмов в течение еще более крупных интервалов времени. Так, например, Г. Ф. Лунгерсгаузен (1963) в протерозое Витимо-Патомского нагорья выделяет еще более крупные повторяющиеся единицы разреза, формирование которых измеряется сотнями, а может быть, и первыми тысячами лет (с. 13). Этим автором был построен ряд кривых ритмического осадконакопления, на которых отчетливо видна ритмичность разных порядков, причину которых он видит в колебаниях климата, а последние связывает в первую очередь с изменением солнечной активности. Далее он указывает на периодичность осадконакопления значительно более крупную, выраженную уже в формировании литоциклов и сопряженную с иными космическими явлениями.

Были отмечены и еще более крупные колебания климата, охватывающие большие площади, вплоть до имеющих планетарный масштаб. Так, например, по появлению комплексов ледниковых отложений на очень больших территориях были установлены эпохи великих оледенений Земли, отделенные одна от другой интервалами времени примерно в 200 млн лет (Лунгерсгаузен, 1963). С периодами такого масштаба связаны также переломные моменты в развитии животного и растительного мира.

Понятно, что достаточно длительные по времени климатические

изменения создают уже не литоритмы, а литоциклы разных порядков, причем одновременно в различных палеогеографических условиях. С такими литоциклами тесно связано и проявление биоциклов.

Чем же, в свою очередь, обуславливаются как более мелкие колебания климата, так и крупные его периодические изменения? В результате работ многочисленных исследователей возник ряд гипотез, объясняющих периодичность разного рода в смене климата Земли. В общем плане их можно свести к нескольким направлениям.

Одни исследователи объясняют смену климатов Земли изменением количества и свойств солнечной радиации, влияющей на земные процессы. Другие считают, что изменение климата в разных зонах земного шара связано с изменением элементов земной орбиты (ее формы, положения в пространстве), а также с перемещением оси вращения Земли. Третьи соотносят изменения климата в основном с земными процессами: крупными тектоническими поднятиями земной коры, изменением соотношений суши (и ее характера) и моря, появлением крупных трансгрессий и регрессий, переменой направлений морских течений и др. К этой же группе, пожалуй, можно отнести гипотезы, согласно которым влияние солнечной радиации на климат значительно ослабляется в результате крупных вулканических извержений, когда в атмосферу поступают большие массы вулканического пепла, уменьшающие ее прозрачность и понижающие температуру на 6—7°. Это подтверждается наблюдениями в современности. Так, например, после грандиозного извержения вулкана Катмаи в 1912 г. интенсивность радиации даже в Алжире была ослаблена на 20 %, а в Москве в этом году число часов солнечного сияния равнялось лишь 75 % числа, наблюдавшегося в смежные годы (Алисов, Полтараус, 1962). Эти факты, очевидно, могут объяснить нам сопряженность осадочных циклов, обусловленных климатическими изменениями, с циклами, обусловленными примесью к обычным осадкам вулканических образований.

Детальные исследования климатических колебаний уже в историческое время отчетливо выявили зависимость их от изменения активности солнечной радиации, в частности от уменьшения или увеличения количества солнечных пятен. При этом были установлены закономерные периодические изменения солнечной активности: выяснилось, что солнечная деятельность подвержена циклическим колебаниям средней продолжительностью около 11 лет. Но при этом каждый цикл имеет свою длительность, которая может колебаться в небольших пределах (8—16 лет). Были обнаружены солнечные циклы и более крупные — «вековой», в среднем 80—90 лет (от 60—70 до 100—110 лет) и «двойной вековой» (180—190 лет). Далее наметились циклы в 200—300, 600 и, наконец,

1500—2000 лет (последний выявлен недостаточно точно). По масштабу времени все эти циклы соизмеримы с климатическими циклами, а также со временем формирования литоритмов разных порядков. Выяснилось, что периодические колебания солнечной активности, кроме климатических изменений, вызывают ряд иных явлений, также несомненно влияющих на характер накопления различных отложений (увеличение или уменьшение дождевых осадков, возникновение циклонов и гроз, вторжение масс холодного воздуха и ряд других).

Интересно, что и периодичность солнечной активности многопорядковая: и здесь (как мы видели в циклах осадконакопления) более мелкие циклы развиваются на фоне более крупных.

А. В. Шнитниковым (1951) была составлена кривая колебаний солнечной активности за период в 250 лет (начиная с 1700 г.). На ней отчетливо видны 3 вековых цикла (от максимума через минимум до нового максимума). Каждый из этих циклов складывается из 7—8 меньших (низшего порядка) со сторонами разной длины, но более или менее равномерными в месте перегиба крупного цикла, считая от минимума (рис. 50). Кроме того, третий цикл имеет общую тенденцию к подъему, так как его минимум значительно выше и ближе к средней линии, чем у предыдущих циклов. Таким образом, закономерности солнечной цикличности весьма сходны с закономерностями, подмеченными при изучении циклов осадконакопления. Длительность более крупных циклов — 93, 81, 80 лет; более мелких — в среднем 13, 11 и 10 лет.

Другие исследования периодичности космических явлений выявили периоды колебаний эксцентриситета (вытянутости) земной орбиты и ее наклона, а также изменение ориентировки земной оси. Продолжительность таких периодов равна 90, 40 и 21 тыс. лет, т. е. по масштабу времени они соизмеримы с временными периодами циклов накопленных осадков, таких, например, как в угленосных толщах. Найдены и другие периоды в космических явлениях. Параллельно с этими исследованиями геологи также находят в толщах горных пород разного возраста указания на их периодические повторения разного масштаба, часто удивительно совпадающие по продолжительности с той или иной периодичностью космических явлений (Проблемы планетарной геологии, 1963; Фирсов, 1977; и др.).

Мы показали, что вертикальные движения земной поверхности

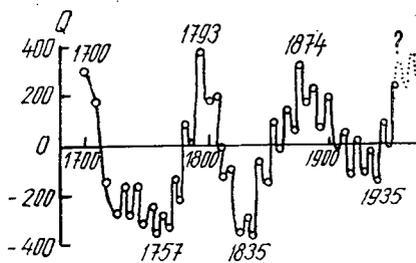


Рис. 50. Вековой цикл солнечной активности (по А. В. Шнитникову, 1951)

вызывают изменения в характере накапливающихся осадков. Вместе с тем известна связь вулканизма с тектоническими поднятиями, чем обуславливается зависимость между циклами, сложенными осадочными и вулканическими породами. Интересно отметить, что установлена связь между периодичностью весьма разнообразных явлений на нашей планете. Так, землетрясения в ряде случаев периодически повторяются, причем были отмечены 3- и 11-летние периоды повышенной сейсмической активности (т. е. такие же интервалы времени, как и для ритмически построенных осадков). С другой стороны, существует одновременность увеличения количества сейсмических толчков и максимума амплитуды морских приливов, связь с приливами отмечается и для вулканической активности. Например, активность некоторых островных вулканов синхронна с длительными периодами приливов. Десятилетние наблюдения над уровнем стояния жидкой лавы лавового озера в кратере вулкана Килауэа показали его сезонные изменения, причем наибольшая активность наблюдалась в весенние периоды, а минимальная — осенью.

Предпринимались попытки сопоставить все эти виды периодичности: наблюдаемую в чередовании осадочных толщ, климатическую и космических явлений. О совпадении мелких ритмов осадконакопления с периодами климатических колебаний, а последних — с периодичностью солнечной активности мы уже сказали. Сложнее объяснить более крупную цикличность, и притом несомненно разного происхождения. Можно предположить, что разные космические явления, имеющие периоды различных интервалов времени, вызывают на нашей планете периодичность земных процессов также разного рода. Г. Ф. Лунгерсгаузен (1956) высказал мысль о том, что осадочные циклы продолжительностью 35—45 млн лет обуславливаются периодическим пересечением солнечной системы с плоскостью Галактики при ее движении по орбите, имеющей волнообразную форму.

Большое внимание этому вопросу уделил Н. Ф. Балуховский (1966), который проанализировал крупную периодичность в накоплении осадков в разных районах Европы, связав их с тектоническими движениями и с галактическими годами. Он считает, что тесная связь геологической активности с обращениями космических тел и их системами несомненна. По его мнению, большое влияние оказывают также пульсации, вызываемые приливообразующими силами Луны и Солнца. Очевидно, это справедливо, так как с периодами усиления приливов, как мы уже указали выше, связан целый ряд других геологических процессов, несомненно влияющих на периодичность в образовании осадочных толщ. Этим автором предложена таблица, в которой сопоставлены геологическая и астрономическая периодичность разного рода с указанием продолжительности различных периодов. С точки зрения Н. Ф. Балуховского,

ритмичность типа флишевой объясняется колебаниями солнечной активности. Такие литоциклы, как угленосные, образуются под влиянием периодичности, результирующей изменении наклона эклиптики и эксцентриситета земной орбиты. Циклы же более крупные обуславливаются космическими явлениями, связанными уже не только с самой Солнечной системой, но и с положением ее относительно других созвездий в космосе. Наконец, очень крупные «мегациклы» в жизни Земли, разделяемые периодами сильных тектонических складкообразовательных движений продолжительностью 165—240 млн лет, возникают при возмущениях ядра Галактики (соответствуя галактическим годам).

В. И. Астраханцев (1974) указывает, что вековые циклы — 86- и 94-летние попарно объединяются в двойной (180-летний) цикл солнечной активности, кратный ритму увлаженности (1800 лет), что имеет палеогеографическое значение. В качестве более крупных звеньев геологической шкалы им намечены: геологические века (432 тыс. лет), геологические эпохи (3,5 млн лет), периоды (35 млн лет), эры (175 млн лет). При этом геологическую периодичность в 175 млн лет он сравнивает с продолжительностью галактического года. Мы видим, что трактовки указанного автора несколько отличаются от приведенных выше (в частности, Н. Ф. Балуховского). Это указывает на недостаточную разработанность «космической шкалы» в применении к осадконакоплению.

И. А. Вылцан (1974) считает, что сезонная ритмичность зависит от обращения Земли вокруг Солнца: ритмичность с периодами в 11, 35—50, 100—170 и 400—600 лет обусловлена колебаниями солнечной активности. Ритмы (или циклы) продолжительностью от единиц до 15—25 тыс. лет вызываются изменением приливообразующей силы, а циклы (он называет их ритмами) продолжительностью 85—110 и 350—450 тыс. лет (т. е. примерно масштаба угленосных литоциклов разных порядков) обязаны своим возникновением изменению наклона эклиптики, что, очевидно, влияет и на тектоническую активность. И. А. Вылцаном была составлена таблица, в которой ритмы и циклы разных порядков были выстроены как бы в один ряд, с указанием последовательного нарастания мощности каждой последующей единицы и времени ее формирования. Однако, с нашей точки зрения, принципиально разные явления нельзя считать единым рядом, тем более что, по мнению самого И. А. Вылцана, они вызываются еще и совершенно разными причинами. Связи земных процессов с солнечными циклами большое внимание уделил А. Л. Чижевский (1976).

Многочисленные материалы по вопросу периодичности различных природных явлений приведены также в работе «Периодические процессы в геологии», где сделана попытка связать осадочные циклы с их масштабом, продолжительностью и стратиграфическими единицами.

В данной работе мы не будем больше приводить различные точки зрения по этому поводу, так как вопрос о причинных связях между земными и космическими процессами по существу еще не решен окончательно, а только разрабатывается. Что же касается земных процессов, то мы неоднократно указывали на их взаимосвязь. Поэтому не всегда легко решить, от какого первичного фактора — тектонических движений или же крупных климатических изменений зависит та смена физико-географических условий, которая определяет цикличность накопления отложений. Это трудно потому, что в природе все взаимосвязано: крупные изменения климата, чередование эпох трансгрессий и регрессий и различного рода тектонические движения часто действуют *одновременно*, и выявить основной процесс — задача не из легких. Трудность также заключена в том, что не решен окончательно и однозначно вопрос, в чем первопричина климатических изменений? Еще более неясна первопричина тектонических процессов, в особенности колебательных многопорядковых вертикальных движений, обуславливающих многопорядковую цикличность в толщах осадочных пород.

Но все, хотя пока еще в значительной степени и разрозненные, наблюдения геологических фактов и, в частности, периодичности в накоплении осадков, наводят на мысль о том, что существующая связь казалось бы очень различных геологических явлений сама по себе указывает на то, что они вызываются какими-то общими причинами, в том числе существующими вне Земли. Как мы видели, это находит свое подтверждение в совпадении геологической и космической периодичности разных масштабов. По-видимому, правы те исследователи, которые считают, что цикличность разного рода и масштаба определяется изначально различными причинами космического порядка, которые иногда проявляются раздельно («сами по себе»), а иногда их влияние как бы суммируется, с наложением одной на другую. Решение затронутых вопросов — дело будущего. Но если понимание существа ряда геологических процессов связано с познанием Космоса, то сами геологические исследования (и в частности, изучение цикличности горных пород) могут помочь выявлению связи земных процессов с явлениями, протекающими в Космосе.

* *
*

Из сказанного в настоящей главе напрашивается несколько выводов.

1. Формирование ритмичности, а тем более цикличности осадконакопления обуславливается цепью взаимосвязанных причин: от непосредственных и наиболее очевидных до все более отдаленных,

о которых мы можем сказать лишь после определенного анализа и трактовки наблюдаемых фактов, с привлечением данных других наук. От явных изменений состава пород — к трактовке смены их генетических типов и фаций, далее — к выявлению «земных» причин, вызывающих эту смену (тектонические движения, климат), и наконец, к изначальным причинам цикличности многих явлений, лежащих вне Земли. От этого в значительной степени зависит и методика работы по выявлению литоциклов и их закономерностей.

2. Космические процессы, вызывающие цикличность процессов земных, различны по своему происхождению: вращение Земли вокруг Солнца, колебания солнечной активности, солярные циклы разного порядка, периодические изменения наклона эклиптики (в пределах 41—56 тыс. лет), изменения эксцентриситета земной орбиты (период 1,0—1,5 млн лет) и другие, вплоть до возмущений ядра Галактики (галактический год с интервалом 165—240 млн лет), обуславливающие появление крупных орогенических эпох (гигалитоциклы — каледонский, герценовский, альпийский). Более подробно они разобраны в уже упомянутой работе Н. Ф. Балуховского (1966), а также у других авторов.

3. Возможно, что изменение солнечной активности определяет появление литоциклов разных порядков, связанных с изменениями климата, а тектонические движения, обуславливающие появление литоциклов разных порядков, вызываются иными космическими явлениями (которые в ряде случаев влияют не только на тектоническую активность, но сказываются и на климате).

4. Периодически повторяющиеся единицы разреза одного ранга накладываются на такие же не только другого ранга, но и существенно иного происхождения. Это еще более подтверждает то, что нельзя выстраивать единый ряд от литоритмов 1-го порядка до гигалитоциклов.

Исходя из перечисленного, можно предположить, что литоциклы разных порядков, происхождение которых обусловлено одной общей причиной, имеют сходную закономерность развития. Литоциклам же, обусловленным иной причиной, очевидно, присущи и иные закономерности. При этом может возникнуть вопрос: если причина вне Земли, но общая для всей ее территории — значит литоциклы можно проследить планетарно? Ответ заключается в том, что влияние изначальных причин космического порядка накладывается на различный земной субстрат, на разные палеогеографические обстановки и, что особенно важно, на различные тектонические структуры, что вызывает и различную их реакцию. Вот почему литоциклы иногда можно проследить на очень больших расстояниях, обычно в пределах одной тектонической структуры. В других случаях их корреляция в пространстве более ограничена. Этим объясняется также и то, что чем крупнее порядок литоцикла, тем на большей площади его можно проследить и сопоставить

отдельные разрезы. Не исключено, что могут быть скоррелированы между собой литоциклы, формирующиеся на одинаковых структурах одного возраста, хотя бы и весьма удаленных друг от друга (например, на платформах). Итак, цикличность осадконакопления подчиняется определенным законам развития, из которых одни являются всеобщими, свойственными цикличности вообще, другие характеризуют только цикличность самого седиментационного процесса, третьи имеют частное значение.

Глава 5. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ СЕДИМЕНТАЦИИ И ИХ СВЯЗЬ С ЗАКОНАМИ ДИАЛЕКТИКИ

5.1. Законы формирования литоциклов (общие и частные)

Рассмотрение многочисленных примеров циклической седиментации (часть которых показана выше) привело к выводу о том, что формирование циклического осадконакопления подчиняется определенным законам, проявляющимся независимо от состава литоциклов и места их формирования. При этом одни законы являются всеобщими, свойственными явлению цикличности вообще, в том числе седиментационной, другие характеризуют только седиментационную цикличность. Кроме того, и в тех и в других выделяются законы основные и более частные, действующие лишь в определенных условиях (табл. 13).

Надо заметить, что периодичность и проявление законов цикличности отмечаются на самых различных уровнях исследования, начиная с элементов (о чем свидетельствует периодическая система элементов Д. И. Менделеева). В предыдущей главе показана периодичность разных явлений и намечающаяся их взаимосвязь. Здесь же остановимся на тех законах, от которых непосредственно зависит формирование литоциклов.

Общим основным законом является закон *многопорядковости*, который состоит в том, что развитие процесса идет по сложной кривой: более мелкие волны накладываются на ветви волн более крупных. Такое многопорядковое развитие отмечалось и схематически изображалось многими исследователями для самых разных объектов. На рис. 41 мы видели кривую цикличности 2-го порядка, на фоне которой расположены кривые, отражающие изменение фаций в элементарных циклах 1-го порядка. Литоциклы 2-го порядка, в свою очередь, образуют ветви кривой литоцикла 3-го порядка и т. д.

Из рассмотрения этой кривой выявляются и другие частные законы. Во-первых, становится понятным, почему цикл низшего порядка по своим характерным признакам отражает особенности той ветви кривой следующего порядка, которой он принадлежит. (Например, циклы регрессивного типа сопоставляют регрессивную

Таблица 13

Законы формирования литоциклов (ЛЦ)
и характер их действия

Законы	Характер действия
Общие:	
основной	Многопорядковость литоциклов на фоне циклической кривой
частные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Соподчинение ЛЦ 2. Неполное сходство смежных ЛЦ 3. Асимметрия ЛЦ
Геологические (седиментационные):	
основной	Всеобщность циклической седиментации (циклическость — один из основных законов осадконакопления)
частные	<ol style="list-style-type: none"> 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 обуславливающих) 7. Приуроченность каждого полезного ископаемого к определенному месту в литоцикле 8. Тяготение большинства полезных ископаемых к нейтральным частям литоциклов

ветвь цикла следующего порядка.) Это можно сформулировать как закон *соподчинения* ЛЦ. Закон имеет ограничение. Он действителен для литоциклов разных порядков, но обязательно обусловленных общей причиной. Если же литоциклы (или литоритмы) одного происхождения накладываются на литоциклы более высокого ранга, но иной природы (например, климатические на тектонические), то в этом случае уже действует закон *наложения* (см. ниже).

Во-вторых, элементарные литоциклы каждой ветви цикла более высокого порядка в чем-то сходны между собой, но не тождественны, так как занимают разное положение на кривой цикла следующего порядка. Каждый из них начинает развиваться на несколько иной основе, чем цикл предыдущий, что обусловлено общим ходом седиментационного процесса. Это можно сформулировать, как «закон *неполного сходства смежных циклов*» (сходства, но не тождества). Подчеркнем, что сходство выражается не только в конкретном составе литоциклов, но и в направленности изменения последнего.

В-третьих, понятно, почему даже для полных литоциклов характерно их несимметричное строение: для литоциклов трансгрессивного и регрессивного типов одна из частей обычно преобладает по каким-либо признакам: фациальному составу, мощности (что отражает время накопления в той или иной фазе) или другим. Более того, замечено, что даже в циклах нейтрального типа, когда отложения и трансгрессивной и регрессивной частей формируются в одной фациальной обстановке, их вещественная характеристика будет различной. Например, лагунные отложения регрессивного ряда будут отличаться от таковых же ряда трансгрессивного (по составу пород, фауне и другим признакам). Несимметричность строения отмечалась для литоциклов, сформировавшихся в разных палеогеографических обстановках (Ботвинкина, 1956 б). Происходит это потому, что обе части любого литоцикла развиваются на различном предыдущем субстрате и определяются разной направленностью процесса седиментации. Это можно сформулировать как закон *асимметрии* циклов, наиболее отчетливо проявляющийся в гемициклах.

Перечисленные законы характеризуют циклический процесс вообще. Они проявляются не только в осадконакоплении, но и в ряде других природных процессов, т. е. имеют *всеобщее* значение. Некоторые примеры этого приведены выше.

Коснемся теперь законов, определяющих только седиментационную цикличность, и того, как они проявляются при прослеживании литоциклов на площади.

Выше мы рассмотрели особенности циклически построенных толщ и показали, что отсутствие цикличности в так называемых монотонных и хаотических толщах — явление кажущееся, обусловленное их местом в литоциклах высших рангов. Отсюда можно сделать вывод, что цикличность осадконакопления имеет всеобщий характер. Таким образом, можно сформулировать закон *всеобщности циклической седиментации*, который является одним из основных законов осадконакопления.

Кроме того, намечается ряд частных законов, которым подчиняется седиментационная цикличность (см. табл. 13):

1) на конкретных примерах мы видели, что несмотря на лате-

ральное изменение состава литоциклов (не только породного, но даже и фациального) выдерживается общая направленность изменения разреза внутри каждого данного литоцикла. Это можно сформулировать как закон *сохранения общей направленности изменения во времени* каждого элементарного литоцикла. Важно, что это дает основание для корреляции литоциклов как определенной стратиграфической единицы;

2) последовательное рассмотрение ряда палеогеографических карт, построенных для частей литоциклов (см. выше), выявило сохранение одного и того же палеогеографического плана для ряда литоциклов. Это можно сформулировать как закон *унаследованности пространственной характеристики* литоциклов (он более присущ литоциклам низших порядков);

3) через анализ тех же карт обнаруживается как изменение во времени палеогеографического плана от цикла к циклу, так и его перестройка на определенном этапе, что определяет границы литоциклов следующего, 2-го порядка. Те в свою очередь формируют литоциклы еще более высокого порядка. При этом, чем выше порядок литоцикла, тем резче отмечается перестройка. Это можно сформулировать как закон *перестройки общего палеогеографического плана на границе* литоциклов разных порядков;

4) чем выше порядок литоциклов, тем на большем расстоянии он может быть прослежен. Это может быть сформулировано как закон *соответствия порядка литоцикла площади его распространения*, что также дает основание для использования литоциклов при корреляции разрезов, а также их сопоставления с общепринятыми стратиграфическими единицами;

5) в определенных тектонических условиях, синхронных осадконакоплению, элементарный литоцикл, обнаруженный в каком-либо одном районе, на достаточно большом расстоянии (десятки и даже сотни километров) может за счет расщепления превратиться в литоцикл следующего порядка, состоящий из нескольких элементарных литоциклов (см. рис. 4). Такое явление было прослежено и описано на материале угленосной толщи Донецкого бассейна (Ботвинкина, 1956, 1960, 1977). Расщепление литоциклов характерно для свит S_2^6 и S_2^5 , оно связано с увеличением общей мощности свит. Расщепление происходит преимущественно за счет отложений, связанных с нейтральной частью литоцикла. Это может быть сформулировано как закон *расщепления литоциклов*. Но надо заметить, что данный закон действует лишь в определенных условиях, в связи с особенностями тектонической обстановки, и не является столь распространенным, как предыдущие. Расщепление усложняет корреляцию разрезов, а также и построение детальных палеогеографических карт. Что же касается полезного ископаемого (например, угольного пласта), то в одних случаях оно может играть отрицательную роль, уменьшая мощность пластов, а в

других может быть полезным, увеличивая число пластов полезного ископаемого. Наконец, закон расщепления литоциклов может помочь при уточнении особенностей тектонических движений;

б) в предыдущей главе были указаны различные причины, вызывающие формирование литоциклов разного ранга. Там же мы видели, что на разных уровнях исследования отмечаются повторяющиеся элементы разреза различного характера: литоритмы, литоциклы разных рангов (до самых высоких). Следствием различия факторов и причин, обуславливающих цикличность, является закон *наложения периодичности* повторяющихся стратификационных единиц низшего уровня на единицы более высокого уровня в тех случаях, когда ослабевает действие причин, вызывающих появление последних (например, наложение ритмичности на цикличность — чаще в нейтральных частях литоциклов). Возможно наложение литоциклов одной природы на литоциклы иного генезиса. Явление наложения может осложнять работу по характеристике цикличности, и, в частности, при корреляции разрезов.

Большое практическое значение имеет вопрос — к какому месту в литоциклах приурочивается полезное ископаемое. И можно ли это сформулировать как закон циклической седиментации? Рассмотрение многочисленных конкретных примеров в разнообразных осадочных толщах показало, что большинство полезных ископаемых дает повышенные концентрации в совершенно определенном месте в литоцикле. Наибольшая концентрация солей, так же как и сульфатов, связана с конечной стадией регрессии; угольные (вернее, изначально торфяные) пласты формируются в начале трансгрессии; фосфориты могут образоваться либо в конце регрессии, либо в начале трансгрессии; россыпные месторождения формируются преимущественно в заключительную стадию регрессии. Бокситы в основном связаны с нейтральной частью литоцикла, завершающей его регрессивную фазу (так же как и другие полезные ископаемые, связанные с корами выветривания). Значительно реже полезные ископаемые приурочиваются к нейтральной части литоцикла, завершающей его трансгрессивную фазу (новакулиты, монокварциты); черные сланцы тяготеют либо к началу морской трансгрессии, либо к зоне ее максимума (т. е. к концу). Даже полезные ископаемые вулканогенно-осадочного происхождения (обычно гидротермального генезиса) формируются в конце вулканического цикла.

Таким образом, получается, что большинство полезных ископаемых приурочивается к «верхней части» перегиба циклической кривой, т. е. к нейтральной фазе и примыкающим к ней завершению регрессивной и началу трансгрессивной фаз. В более же редких случаях полезные ископаемые имеют место в «нижней части» перегиба циклической кривой, т. е. тоже нейтральной части, но завершающей трансгрессивную фазу цикла.

Надо заметить, что указанная закономерность относится преимущественно к тем полезным ископаемым, вещество которых обычно находится в более или менее рассеянном виде и требуются особые условия для их концентрации. Однако в народном хозяйстве полезными ископаемыми являются и такие породы, как глины, пески, песчаники, известняки и другие нерудные ископаемые, образующие достаточно мощные толщи. Они формируются и на «плечах» циклической кривой. Но если, например, глины могут быть связаны с любым местом в литоцикле, то каолиновые глины уже приурочиваются к его нейтральной части. Кварцевые песчаники могут быть найдены в любом месте литоцикла, но чистые кремнистые породы тяготеют к концу трансгрессивной ветви и т. д. (В данном случае мы не касаемся местоположения в циклической схеме скоплений нефти и газа. Этот вопрос должен рассматриваться особо для коллекторов и ловушек. Однако в нефтепроводящих толщах в ряде случаев также отмечается их принадлежность к определенным фазам литоциклов.)

Все сказанное находит свое объяснение в том, что ведущим фактором в формировании цикличности являются тектонические движения разного знака. При активизации тектонических движений происходит и более активная седиментация разного рода «разбавителей». В результате «плечи» циклической кривой менее продуктивны. Когда же тектонический процесс ослабевает, создаются условия для наибольшей концентрации веществ, до этого бывших в рассеянном виде. Кроме того, в этом случае сильнее сказывается и влияние климатических условий.

Если рассмотреть литоциклы более высоких рангов, то полезные ископаемые, формирующиеся на суше и в прибрежно-морских обстановках, также четко приурочиваются к нейтральным частям этих крупных литоциклов, между этапами наиболее активных регрессий и трансгрессий. Это было видно еще на материале, приведенном Н. М. Страховым (1949, рис. 3).

Приуроченность ряда полезных ископаемых к переходу от регрессии к трансгрессии еще раз подтверждает целесообразность выделения литоцикла с начала регрессии, так как при этом мы рассматриваем большинство полезных ископаемых в их неразрывной связи с предыдущей и последующей историей осадконакопления. А в случае приуроченности данного полезного ископаемого к обеим сторонам нейтральной части литоцикла мы рассматриваем его особенности еще и в сравнительном аспекте внутри одного и того же цикла седиментации.

Получается интересная закономерность: различные полезные ископаемые, формирующиеся в разных условиях палеогеографии, климата и гидродинамики, неизбежно тяготеют к более или менее одинаковому месту в литоциклах.

Это можно сформулировать в виде законов.

1. Закон приуроченности каждого полезного ископаемого к своему определенному месту в литоцикле.

2. Закон тяготения большинства полезных ископаемых преимущественно к *нейтральным* частям литоциклов. Оба эти закона имеют практическое значение, так как дают основание для прогнозирования места полезных ископаемых в геологических разрезах и характеризуют полезные ископаемые, формирующиеся на стадии седиментогенеза. Однако такая связь может осуществляться и для образований диагенетических и даже эпигенетических и глубинного происхождения, если они как бы «приспосабливаются», приурочиваясь к слоям, созданным в седиментогенезе и занимающим, соответственно, свое место в литоцикле. Одним из примеров может служить часто наблюдающаяся устойчивая приуроченность конкреций к определенным слоям и горизонтам. Таким образом, наличие связи полезного ископаемого с определенным местом в литоцикле — признак существенный, но он еще не является несомненным указанием на его осадочное происхождение. Отсутствие такой связи свидетельствует о неседиментационном генезисе тех или иных образований.

Выше мы отметили ряд законов, которым подчиняется циклическая седиментация. Они выявлены на основе анализа закономерностей строения литоцикла. Ход циклической седиментации как бы «регулируется» ими. Мы отметили законы общие, характерные для циклического процесса вообще, и законы, связанные лишь с седиментационным процессом (в том числе и имеющие действие, ограниченное определенными условиями). Законы эти имеют практическое значение для решения ряда геологических задач.

5.2. Проявление основных законов диалектики в седиментационных циклах

Законы формирования циклической седиментации соответствуют основным законам диалектики.

Закон *единства и борьбы противоположностей* для осадочных толщ находит выражение в неразрывной связи развития различных противоположно направленных процессов, определяющих формирование литоциклов: тектонические поднятия и опускания, влажные и сухие климатические периоды, трансгрессии и регрессии моря, увеличение и уменьшение глубин водного бассейна, размыв и седиментация, опускание и компенсация и т. д. Все эти явления, определяющие литоциклы, попарно имеют разнонаправленные тенденции, все время находящиеся в противоречии, в борьбе, и вместе с тем — немыслимы одна без другой. И каждый литоцикл, и вся циклически построенная система — результат

единства и борьбы противоположных тенденций в процессе осадконакопления. Таким образом, закон единства и борьбы противоположностей вызывает само появление цикличности.

Попутно упомянем еще раз о том, что концентрации полезных ископаемых приурочиваются в основном к нейтральным частям литоциклов (к «перегибам» кривых цикличности), т. е. к области борьбы двух противоположных тенденций развития, когда одна из них уже затухает, а другая еще только «набирает силы».

Закон *отрицания отрицания* также выявляется очень отчетливо на самых разных уровнях изучения литоциклов. Например, в гранулометрических циклах терригенных отложений грубозернистые породы сменяются тонкозернистыми, на смену которым вновь приходят грубозернистые. В солеродных бассейнах на смену осадконакоплению в море нормальной солености приходят «отрицающие» условия повышенной засоленности водоема, но последние «отрицаются» новым опреснением. Регрессивное развитие фаций сменяется отрицающим его трансгрессивным развитием, но наступившая трансгрессия вновь сменяется регрессией. Смена тектонического поднятия погружением обуславливает формирование литоцикла, но начало нового поднятия определяет возникновение следующего литоцикла. Можно сказать, что этот закон управляет появлением и сменой во времени литоциклов разного состава.

Закон *перехода количества в новое качество* выражается, во-первых, в тенденции развития каждой ветви литоциклов и, во-вторых, в формировании литоциклов разных рангов. Изменение количественного соотношения компонентов состава пород приводит к образованию качественно новых пород (т. е. иных генетических типов), занимающих уже иное место в литоцикле. Неполное сходство смежных циклов, сменяющих друг друга во времени, зависит от появления в каждом из них новых признаков по сравнению с предыдущим. Однако новое качество возникает тогда, когда эти причины находят достаточное количественное выражение. Их сумма создает иное качество — литоцикл следующего, более высокого порядка. Такие литоциклы, в свою очередь, начинают «набирать» признаки, количество которых, нарастая, создает на каком-то этапе развития качественно новую единицу циклически построенного разреза. В какой-то мере можно сказать, что этот закон определяет границы литоциклов разных порядков. Закон перехода количества в качество проявляется также в указанном выше законе расщепления литоциклов. Проследивая литоцикл 1-го порядка в пространстве, мы видели, что в определенной ситуации каждый его член (особенно в нейтральной части) постепенно наращивает какие-то признаки, в результате чего литоцикл 1-го порядка превращается (на значительном расстоянии) в литоцикл 2-го порядка, т. е. переходит в новое качество.

Циклически построенная толща пород — результат эволюционного и вместе с тем скачкообразного развития процесса седиментации (Алексеев, Герт, 1985).

Выше мы показали, что для литоциклов характерна асимметрия (даже при кажущемся, на первый взгляд, симметричном строении разреза), что связано с понятием асимметрии как философской категории, и в то же время — физической единицы. «Понятия симметрия и асимметрия — философские, представляющие собой узловые моменты познания. Они неразрывно связаны с такими категориями, как пространство и время*, движение, причинность, форма и содержание, количество и качество и другие» (Готт, 1965). По мнению Пастера, приведенному В. Готтом, «Вселенная асимметрична». Для природных явлений вообще характерно многообразное проявление свойств асимметрии. И это понятно, так как асимметрия по своему существу — *эволюция плюс скачок*: закон, по которому развиваются материя вообще и циклическая седиментация в частности. Асимметрия литоциклов есть следствие асимметрии механизма, их обуславливающего.

Коснемся еще таких понятий, как форма и содержание, применительно к процессу седиментации. При разборе их, в связи со слоистостью пород, автором было отмечено (Ботвинкина, 1966 а), что с точки зрения философских категорий, если текстуру принимать как форму, то ее содержанием следует считать отнюдь не вещественный состав пород (как это иногда делают), а те процессы, те движущие силы, которые определяют текстуру. То же происходит и на более высоком уровне изучения: если циклическая стратификация (составными частями которой являются литоциклы) — это форма, то содержанием следует считать процесс циклической седиментации. Здесь отчетливо выступает единство формы и содержания при определяющем значении последнего. Развитие процесса, появление иного содержания создают новые особенности стратификации, новую форму, соответствующую новому содержанию: один тип литоцикла сменяется другим в зависимости от изменения причин, его порождающих.

Литоциклы, как всякая вещественная единица, существуют во времени и пространстве. В зависимости от этого и проявляются их основные черты: направленность изменения и повторяемость связаны с временем существования, а порядок и протяженность выявляют их пространственные качества и связи. Совершенно очевидно, что циклический характер седиментации с ее сложной многопорядковостью на фоне общей эволюции осадконакопления — процесс, развивающийся не по другу, а по сложной спира-

* Способ существования литоциклов: пространство — территория, на которой они формируются, и время — за которое последовательность отложений формирует отдельные литоциклы и их смену.

ли, когда кажущееся возвращение к исходной точке происходит уже на другом уровне, на фоне общего развития процесса во времени. На это было указано ранее (Ботвинкина, 1963). Каждый цикл — это как бы «виток» спирали. Группа витков образует цикл следующего порядка, несколько таких групп — цикл еще более высокого порядка. Такой характер развития придает новые качественные отличия, индивидуальные черты каждому литоциклу, выявляя связь литоциклов с общей эволюцией процесса седиментации.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Глава 6. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ

6.1. Основные понятия генетического анализа

Любая методика складывается из теоретических представлений о закономерностях явления, рассмотрения фактического материала в определенной последовательности и использования ряда разработанных приемов исследования.

Основные закономерности циклической седиментации мы охарактеризовали в предыдущих главах, так же как и ряд конкретных примеров фактического материала. Мы видели, что в основе изучения цикличности лежит определение генезиса пород и их смены во времени с применением метода фациального (или генетического) анализа. При этом намечается следующая последовательность действий (рис. 51):

1. Описание генетических признаков пород и на основании их выделение литогенетических типов.

2. Рассмотрение этих признаков с точки зрения того, чем они обусловлены (определение палеоландшафта и агента, формирующего отложения); выделение фаций (или генетических типов отложений).

3. Затем, в результате выявления последовательной смены фаций в разрезах, намечаются литоциклы в каждом из них.

4. Намеченные литоциклы прослеживаются в пространстве от разреза к разрезу, что дает основание для уточнения и окончательной установки границ циклов и определения их рангов.

5. Наконец (если это возможно и необходимо), рассмотрение палеогеографии цикла и особенностей изменения фациального состава литоциклов на площади.

Изложение методики и будет дано в дальнейшем по этим основным этапам исследования. Но прежде чем перейти к рассмотрению значения тех или иных фактических данных, следует коснуться основных понятий, с которыми тесно связано выявление строения литоциклов. Это — «фация» и «генетический тип отложений»,

а также их производные. Определения генетических терминов сведены в табл. 14.

Анализируя цикличность седиментации, мы неоднократно указывали на неразрывную связь изучения цикличности с изучением фаций. Более того, Ю. А. Жемчужниковым и его последователями

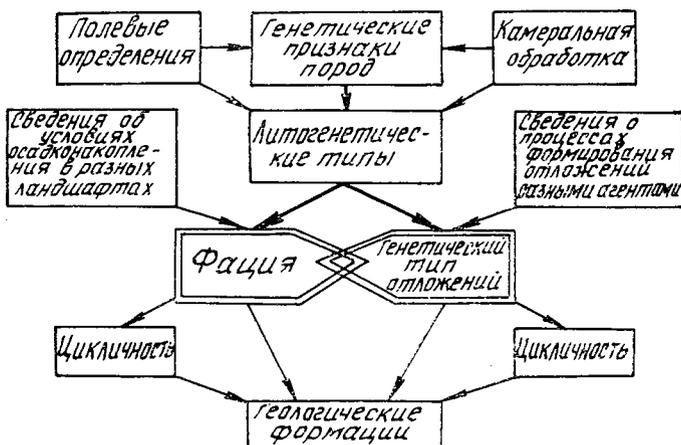


Рис. 51. Схема соотношения понятий «фашия» и «генетический тип отложений»

сам метод исследования был сформулирован как «метод фашиально-циклического анализа». В настоящее время, пожалуй, любой геолог считает, что он знает, что такое фашиальный анализ. Но, к сожалению, и по сей день нет единства в понимании термина «фашия». Так, например, Г. Ф. Крашенинников (1971 и др.) до сих пор настаивает на том, что фашии могут быть выделены только как разновозрастные образования (и что нельзя говорить о смене фаший в вертикальном разрезе), несмотря на то, что в подавляющем большинстве геологических работ рассматривается смена фаший не только в пространстве, но и во времени. Если стать на точку зрения Г. Ф. Крашенинникова, то фашии нельзя выделять и рассматривать до тех пор, пока не разработана точная (и притом детальная) их стратиграфическая привязка. Между тем само изучение фаший и особенно — их циклической смены в ряде случаев способствует уточнению стратиграфии и корреляции разрезов.

Понимание термина «фашия» далеко не однозначно в разных работах. Этот вопрос неоднократно разбирался в литературе многими исследователями, в том числе и одним из авторов (Ботвинкина, 1953). Здесь не место еще раз возвращаться к дискуссии по данной теме, поэтому ограничимся указанием на то, что боль-

Сравнение основных генетических терминов

Термин	Определение термина	Чем определяется термин	Некоторые примеры конкретных названий	Примечания
Литогенетический тип (генетический тип породы)	Порода с определенным сочетанием первичных генетических признаков	Суммой генетических признаков, видимых непосредственно в породе (в название входят основные из них)	Песчаник крупнозернистый с косой однонаправленной слоистостью и включением грубых растительных остатков	Всегда одна порода (или 2—3, но близкие по составу и другим признакам). Генезис может быть еще не установлен
Генетический тип отложений	Естественная группа отложений, связанных общностью процесса формирования. Обладает сочетанием генетических признаков	Генетическими признаками не только пород, но и группы отложений в целом, с учетом сведений о процессах формирования отложений	Аллювиальные отложения равнинных рек. Отложения мутевых потоков. Отложения раскаленных лавин. Кора выветривания	Относится и к породам, и к нелитифицированным осадкам, и к некоторым вторичным образованиям, например, кора выветривания. Может быть представлен несколькими породами
Фацция	Отложения, сформированные в определенной физико-географической обстановке, выраженной в признаках этих отложений	Генетическими признаками пород и их взаимоотношениями, с учетом сведений об осадконакоплении в современных ландшафтах	Фацция песчаных осадков речного русла. Фацция алевритовых отложений зоны морских течений	Может быть представлена несколькими породами (несколькими литогенетическими типами)
Фациальная обстановка	Физико-географическая, динамическая и геохимическая обстановка формирования отложений (палеогеографическая)	Главным образом ландшафтами разных порядков (с учетом динамики среды отложения и других свойств ей особенностей)	Речная долина. Прибрежное мелководье. Трог. Континентальный склон	Употребляется при описании ландшафта (наземного или подводного), в котором формируются отложения (фацции или же генетические типы)

шинство исследователей, в той или иной формулировке, отмечают двойственность этого понятия — и как обстановки осадконакопления, и как породы, в которой выражены признаки, указывающие на данную обстановку. В нашем понимании (Ботвинкина, 1977 б) *фа́ция — это отложения, сформировавшиеся в определенной физико-географической обстановке, выраженной в признаках этих отложений.*

Поэтому и названия конкретных фаций включают как определение самого осадка, так и указание на условия, в которых он сформировался. Например: «фа́ция песчаных русловых отложений», «фа́ция прибрежно-морских алевритовых илов» и т. д.

Конечный этап фациального анализа — определение палеоландшафта (в его широком понимании) и его изменений в пространстве и во времени. Поэтому фациальный анализ и лег в основу изучения цикличности, т. е. определенной закономерности изменений условий седиментации. Однако во многих случаях, например, при изучении субмаринных отложений (глубоководных и др.), иногда — наземных образований (коры выветривания, морены и др.) и особенно при анализе признаков отложений, сформировавшихся в областях активного вулканизма, мы видим, что основные генетические признаки отложений далеко не всегда зависят от ландшафта, в котором они сформировались, а обуславливаются процессами, действием тех агентов, которые образовали данный комплекс отложений, причем один и тот же процесс может действовать в разных фациальных обстановках, а различные процессы — в одной и той же неизменной фациальной обстановке.

Таким образом, для выяснения генезиса отложений в ряде случаев недостаточно выделения фаций в указанном выше понимании. Мы приходим к необходимости либо изменить понятие «фа́ция», либо выделять кроме фаций еще и другие генетические единицы разреза, а именно генетические типы отложений в их первоначальном понимании, предложенном А. П. Павловым (1888), а затем развитом другими исследователями (Давыдова, Гольдштейн, 1949; Ботвинкина, 1953, 1974, 1977 б; Шанцер, 1966; и др.).

Генетический тип отложений — это естественно сформировавшаяся группа отложений, обладающая определенным сочетанием характерных генетических признаков, которые указывают на общность процесса их формирования каким-либо определенным агентом. Названия типов будут такими: «отложения аллювия горных рек», «отложения мутевых потоков», «отложения оползней» и т. д. Мы видим, что в них не входят названия пород, которыми типы представлены, и далеко не для всех из них даются определения ландшафта, в котором они сформировались. Генетический тип отложений может быть представлен и рыхлым осадком, и горной породой, и даже несколькими породами, при условии, что процесс, который их создал, был единым (общим).

Необходимо оговориться, что понятие «генетический тип отложений» не следует смешивать со значительно более узким понятием «литогенетический тип», употребляемым в ряде работ. *Литогенетический тип — это всегда тип породы, обладающий совокупностью признаков, связанных с ее генезисом.* Конкретное название литогенетического типа — название породы с указанием характерных признаков, отличающих ее от других пород, но не обязательно с расшифровкой значений этих признаков. Например: песчаник среднезернистый с крупной косою слоистостью; алевролит с большим количеством корневых остатков; глина плотная с включением гравия и гальки и т. д. Литогенетические типы — это генетические типы именно литифицированных пород, а не осадка. Выделение их — лишь начальный этап фациального и генетического анализа геологических разрезов.

Выделение и фаций и генетических типов отложений — результат как анализа (определение генетических признаков пород, выделение литогенетических типов, изучение их соотношения в пространстве и т. д.), так и синтеза (обобщение всех этих сведений и сравнение их с данными по другим объектам наблюдений) — см. схему на рис. 51.

Таким образом, «фация» и «генетический тип» — понятия, на первый взгляд, сходные, но на самом деле — разные и их не следует путать. Они часто смешиваются потому, что в основе их лежит общность проведения анализа (выделение генетических признаков пород). Однако на стадии синтеза они отличны. При выявлении фаций мы в первую очередь учитываем особенности осадконакопления в определенных физико-географических условиях, в том или ином ландшафте. При определении генетических типов отложений мы обращаем внимание на признаки, обусловленные действием того или иного агента осадкообразования, часто не зависящего от фациальной обстановки (Ботвинкина, 1977 б).

Значит, за терминами «фация» и «фациальный анализ» следует сохранить их преимущественно палеогеографическое значение, основой же выделения генетических типов отложений является рассмотрение того процесса, который их создает.

Во многих случаях признаки генетических типов отложений определяются процессами, протекающими именно в данной ландшафтной обстановке. Тогда понятия «фация» и «генетический тип» сближаются, становятся как бы однозначными. Например, аллювий (генетический тип) характеризуется признаками, обусловленными формированием его именно в речной долине (отложения которой представляют собой фацию песчано-гравийных речных осадков). Но совпадение фации и генетического типа — лишь частный случай.

В других случаях в каком-либо ландшафте может образоваться генетический тип с не зависящими от него признаками. К при-

меру, отложения мутевых потоков с их характерной градационной сортировкой могут быть встречены на территории разных субмаринных ландшафтов.

С другой стороны, в одной и той же фациальной обстановке могут сформироваться разные генетические типы, причем один из них будет характерен именно для данной обстановки, а другой будет «чужим». Так, в области активного вулканизма в речной долине, кроме характерного для нее аллювия, могут оказаться отложения раскаленных лавин, признаки которых не зависят от этого ландшафта, а определяются вулканическим процессом формирования. При этом мы говорим, что в фациальной обстановке речной долины сформировались два генетических типа, обусловленных различными процессами.

Соотношение понятий «фация» и «генетический тип отложений» по их объему также может быть разнообразным в зависимости от конкретных условий. Е. В. Шанцер (1966) считает, что генетический тип (аллювий) делится на фации (русловую, пойменную, старичную). Другие принимают, что фация — более крупная единица, которая делится на генетические типы. Рассуждать подобным образом в принципе неправильно, так как мы видели, что это понятия разные. Даже если в одной фациальной обстановке формируется два генетических типа (как в вышеприведенном примере), нельзя сказать, что они составные части одной фации, это лишь комплекс отложений разных типов, сформировавшихся в одном ландшафте. При разделении же аллювия (генетический тип) на русловый и пойменный последние будут подтипами, соответствующими более дробным фациям (по сравнению с результатами фациального анализа).

И при фациальном, и при генетическом анализе возможно выделение единиц более общих и более частных, в зависимости от степени детальности и задач, стоящих перед исследователем. Кроме того, имеет значение объем наших знаний по тем или иным отложениям. Так, генетические типы, выделенные А. П. Павловым 100 лет назад (1888), сейчас по существу должны рассматриваться как более крупные генетические единицы — классы (Ботвинкина, 1974). Последние включают по несколько типов, объединенных общим процессом формирования, но разделяющихся по деталям особенностей этого процесса, которые ранее не были известны. (Например, аллювий равнинных постоянных рек, горных рек и временных пересыхающих водотоков.)

По существу, генетический анализ — дальнейшее развитие методики фациального анализа, применение его основ к сложным полигенным объектам исследования. Но вместе с тем фациальный и генетический анализ — все же два разных метода исследования, и оба они имеют право на существование в науке, не исключая, а дополняя друг друга. Пути их сходны, но конечные цели раз-

личные, и поэтому смешивать их при изучении одного и того же объекта нельзя, надо выбрать какой-либо один метод.

Необходимость выделения генетических типов отнюдь не означает, что нужно вообще отменить фациальный анализ как метод исследования. Он существует и будет существовать в дальнейшем, так как необходим при акцентировании внимания на деталях обстановки осадконакопления. Но при изучении сложных, резко полигенных формаций метод оказывается недостаточным, так как появляется необходимость познания процессов, в результате которых возникали те или иные образования.

Естественно, встает вопрос — какой же метод можно рекомендовать для изучения цикличности? Как показывает практический опыт работы в этом направлении, фациальный анализ успешно применяется при изучении цикличности во многих формациях — угленосных, соленосных, молассовых, многих рудоносных и др., т. е. там, где цикличность выявляется по смене обстановок осадконакопления во времени и пространстве. Особенно успешно он применим при изучении цикличности миграционного типа. Переходя же к формациям, для которых характерна ксеноцикличность (и частично цикличность мутационного типа), мы невольно начинаем говорить о временной смене генетических типов (но не фаций). Особенно это относится к смешанным вулканогенно-осадочным отложениям.

Исходя из сказанного, методику изучения цикличности мы рассмотрим на основе фациального анализа, как наиболее разработанного метода.

6.2. Литоциклы в геологических разрезах и фактический материал для их выделения

Литоциклы «в первой пристрелке» иногда намечаются еще в полевых условиях. Они заметны по разным признакам. Во-первых, по повторяющейся смене разных пород, особенно в тех случаях, когда «набор пород» невелик, и в частности, если осадконакопление происходило в одной фациальной обстановке (например — отложения флиша). Во-вторых, если имеется «репер» в виде какой-либо одной породы, отчетливо видной в разрезе и периодически повторяющейся (пласты угля, горизонты пепла и др.). В-третьих, по изменению гранулометрического состава. Этот признак бывает так отчетлив в кластогенных толщах, что ряд исследователей придает ему основное, ведущее значение. Однако часто он сугубо местный, не выдерживается в пространстве и поэтому не может быть положен в основу для выделения литоциклов.

Все перечисленные признаки хотя и необходимы, но далеко не достаточны для выявления истинной цикличности, представляющей собой сложное региональное явление. (Это не относится

к повторяемости литоритмов — явлению более низкого ранга, которое можно рассматривать на уровне пород.) В толщах же сложного строения, с частым чередованием пород, сходных по составу, но генетически различных, с многократной повторяемостью одних и тех же пород, в зависимости от местных особенностей среды отложения, цикличность непосредственно в разрезе выявляется с трудом, а иногда сразу вовсе не обнаруживается, что, видимо, и дало основание некоторым геологам вообще отрицать циклическое строение в таких толщах.

Таким образом, мы приходим к выводу, что для выявления истинной цикличности в осадочных толщах необходимо выяснить, в каких первоначальных условиях формировались породы данной толщи и как эти условия изменялись с течением времени.

Следовательно, в основе углубленного анализа цикличности обязательно должен лежать фациальный (или генетический) анализ, включающий изучение первичных генетических признаков пород с точки зрения возникновения их в тех или иных палеогеографических, палеоклиматических, палеотектонических и других условиях.

В предыдущих главах мы видели много примеров того, что выделение литоциклов основано на выяснении последовательной смены пород разного генезиса, что является итогом определения генетических признаков пород, выделения их типов и обобщения их в фации. Эти признаки — неотъемлемая часть детальных описаний пород, проводимых геологами, они отмечаются при любом послыном изучении разрезов. Поэтому ограничимся кратким их перечислением.

На полевом этапе работ должны быть отмечены:

1. Название самой породы, ее вещественный состав, часто сразу видный.

2. Структурные признаки. Для обломочных терригенных пород — гранулометрия и характеристика элементов, слагающих породу: состав и форма зерен, их сортировка, окатанность, включения. Для органогенных пород — такие же определения слагающих породу остатков фауны (или флоры): их состав, сохранность, размер, сортировка, а также следы их жизнедеятельности.

3. Тектурные признаки. Общее определение текстуры, характер распределения составных элементов в слое. Для слоистых (слоистых) пород наиболее точно определяется морфологический тип слоистости или соотношение в слое нескольких ее типов. Характеристика морфологических и генетических типов слоистости детально разобрана в работах одного из авторов (Ботвинкина, 1962 б, 1965, 1970). Кроме текстуры, видимой в поперечном разрезе породы, следует отмечать (если это возможно) текстуры, видимые на поверхностях наложения: размывы, ходы животных, следы ползания, трещины усыхания и др. В некоторых случаях

эти признаки очень существенны (например, при изучении карбонатных пород).

В случае ритмического повторения в породе тонких слоев указывается характер «ритмита» (см. ч. II, гл. 3, а также: Ботвинкина, 1977 б). Этот признак особенно важен для хомогенных пород (эвапоритов, карбонатных, кремнистых), а также для вулканогенно-осадочных отложений.

4. Включения в породе — органические и неорганические и их характеристика: состав, форма, распределение в породе, приуроченность и т. д. При этом указываются не только синхронные седиментационные включения (неокатанные обломки, гальки, растительные остатки, раковины и др.), но и минеральные, в том числе образовавшиеся на стадии диагенеза и особенно конкреции*. Это существенно потому, что зачастую состав, распределение в породе и другие их признаки бывают подготовлены на стадии седиментогенеза.

Наконец, обязательным является указание на наличие и приуроченность к тому или иному слою к той или иной его части полезного ископаемого, даже если оно не содержится в достаточно большом количестве, чтобы это представляло интерес с точки зрения его непосредственного практического использования. Например, в угленосных толщах — указание на наличие углистых прослоев; в фосфатоносных отложениях — наличие соответствующих стяжений; в рудоносных — вкрапления и гнезда разных рудных минералов и т. д.

Особо следует подчеркнуть, что во всех описаниях необходимо отмечать не только что мы видим, но и как изменяются признаки породы. Независимо от масштаба работ и степени их детальности, в каждой стратификационной единице (слой, пачка слоев, горизонт и вплоть даже до свиты) необходимо отмечать не только чем она представлена, но и обязательно в какой последовательности расположены слагающие ее элементы: не только «что с чем», но и «что за чем». Только такой подход позволяет достаточно обоснованно намечать литоциклы, слагающие разрез.

Существенное значение, особенно при изучении закономерностей циклического осадконакопления, имеет характер контактов и переходов как между слоями, так и между смежными горизонтами. Это может быть: постепенный переход (за счет однонаправленного изменения пород или же через переслаивание), отчетливая граница, резкий контакт, размыв или перерыв в отложении.

При этом сама зона перехода одного слоя в другой (рис. 52, слой 2) может быть различной. Во-первых, очень постепенное

* На генетическое значение конкреций указывали многие авторы (Конкреции и конкреционный анализ, 1970). Особое внимание в связи с циклическостью им уделил А. В. Македонов (1966 и др.).

изменение структуры или же состава породы. Это весьма характерно для изменяющейся гранулометрии осадка, реже его химического состава (рис. 52, *а*). Во-вторых, переход за счет смещения элементов нижнего и верхнего слоя, причем доля первого постепенно убывает, пока не исчезнет совсем (рис. 52, *б*). Этот тип

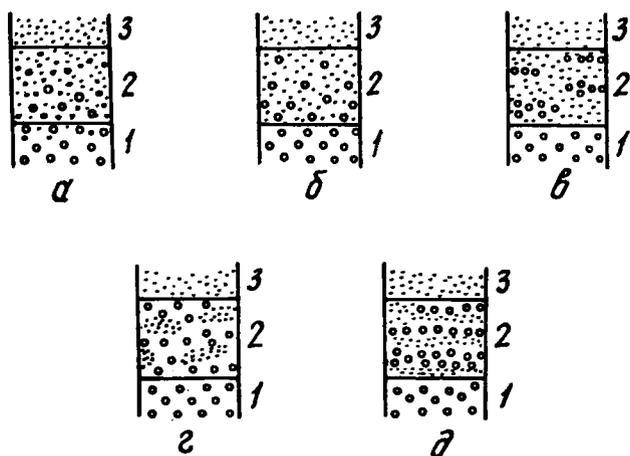


Рис. 52. Типы постепенных переходов между слоями:
а — за счет изменения структуры (или состава) слоя 1 через слой 2 в слой 3; *б* и *в* — в слое 2 на фоне состава слоя 3 проявляются реликты состава нижнего слоя (*б* — рассеянные, *в* — в виде постепенно убывающих линз); *г* — проявление на фоне слоя 1 признаков слоя 3 (явление, обратное случаю *а*);
д — постепенный переход через переслаивание элементов слоев 1 и 3 (с убыванием значения первых снизу вверх)

более характерен для хемогенных пород. В-третьих, когда в переходном слое на фоне породы одного слоя имеются линзы или участки состава другого слоя. При этом переходы, изображенные на рис. 52, *в* и *г*, на первый взгляд, кажутся сходными, но с точки зрения понимания изменений в процессе седиментации (особенно циклической) они принципиально различны: в случае *в* новые условия наступают в конце слоя 1, а в переходной зоне (2) наблюдаются лишь реликты нижнего слоя, постепенно исчезающие. В случае *г* смена условий седиментации — в начале слоя 3, но несколько раньше в переходной зоне (2) начинают появляться признаки нового. Такие контакты могут быть характерны для биогенных пород. Наконец, на рис. 52, *д* изображен переход через переслаивание элементов слоев 1 и 3. Этот тип перехода в равной степени может быть присущ разнообразным отложениям. Все эти случаи, особенно последние, могут быть отмечены в литоциклах на границе трансгрессивных и регрессивных частей. В случае *д* этот переход может быть выражен в появлении горизонта, сло-

женного литоритами. Условные обозначения характера контактов показаны на рис. 53.

В ряде случаев характерным генетическим признаком породы является ее цвет, который, естественно, следует указывать.

Наконец, замеряется мощность как слоя в целом (и ее колебания), так и отдельных его составляющих — слоев, линз и прочих элементов, а также их изменения снизу вверх по слою.

указываются на литологической колонке.				К колонкам структурных признаков
Контакты	включения			
		конкреции	органические остатки	флора
 переход пористый  чехол пористый  лавинный  отчетливый,  резкий  перерыв  размыв  с трещинами  усыхания  со следами жизнедеятельности животных  со следами корневых растений	 по расположению:  цепочками  по слою  пластовые  рассеянные  по форме:  округлые  овальные  неопределенной формы	 по обстановке:  морская  лагуна  не определенная (детрит)  по количеству:  много  имеется  редкая,  единичные экзemplары	 хорошей сохранности  средней сохранности  растительный детрит  корневые остатки  стволы,  стебли	 плоская  средняя  хорошая  ритмическая  окатанность зерен  окатанные  плоскоокатан  ные  угловатые  осколочатые

Рис. 53. Примеры дополнительных условных обозначений к литологической колонке, а также к колонкам структурных признаков

Все эти замечания не представляют собой ничего нового, но, к сожалению, они далеко не всегда учитываются в практической работе геологов. А между тем такое подробное описание уже на начальном этапе работы позволяет в первом приближении наметить генетические типы пород — основные элементы будущих генетических построений и основу для последующего выделения литоциклов.

Генетические типы пород были названы нами кратко — литогенетические типы (ЛГТ). Название они получают по наиболее характерным признакам, позволяющим отличать один ЛГТ от другого, но генезис их обычно на этом первом этапе еще не расшифровывается. Например: 1. Песчаник преимущественно среднезернистый, плохо сортированный, с косой однонаправленной слоистостью и включением растительных остатков. 2. Песчаник среднезернистый, хорошо сортированный, с косой разнонаправленной слоистостью. Сразу ясно, что эти два типа среднезернистых песчаников отличаются условиями формирования, хотя мы пока еще не знаем, какими именно.

Можно рекомендовать завести тетрадь или блокнот и в них тут же, в поле, по мере изучения разреза, выписывать намечающиеся ЛГТ с их подробной характеристикой — каждый на отдельной странице. По мере дальнейших описаний эти намеченные типы будут дополняться, уточняться. (Так, в приведенном выше примере типа 2 могут быть обнаружены остатки морской фауны,

не зафиксированные в предыдущих описаниях, но имеющие существенное значение для выяснения генезиса.) Следует обращать внимание на последовательность намеченных литогенетических типов и их взаимные связи снизу вверх по разрезу, т. е. во времени, а при сопоставлении разрезов — их взаимосвязи в пространстве. Лучше начинать описание с наиболее полного разреза.

Иногда в результате ряда добавлений первоначально выделенный ЛГТ может разделиться на два самостоятельных, иногда, наоборот, два ЛГТ могут объединиться в один. (Уточнения обычно производятся позже, во время камеральной обработки материала.)

Не откладывая, тут же, в поле, строится литологическая колонка по возможности в наиболее крупном масштабе, в зависимости от материала исследования — конкретного объекта и поставленных задач, например, 1 : 100, 1 : 200, 1 : 500.

Таблица 15

Таблица данных, используемая при анализе цикличности осадконакопления

Основные данные													Дополнительные данные (с учетом камеральной выработки)												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
Высота	Текстура (или характерная текстура) (или: форма, ориентация, или slope)	Литологическая колонка (породы, материалы, включения)	Мощности слоев в м	Фациа	Органические остатки	Флора	Колонка текстур	Штатковая колонка	Литогенетические типы (группы)	Колонка фаций (или генетические типы толщ)	Сухие органические остатки (или генетические типы толщ)	Море и границы литологических зон	Стратиграфия	Ориентация	Векторность	Анализ (или фазовый анализ) (или: анализ)	Классификация	Литологическая колонка	Текстура	Состав	Свойства	Данные минералогической и химической анализ	Данные каротажу (карты)	Ориентированные выделенные образцы литологических	

● Эти графы вводятся в случае необходимости дать такие сведения более детально

В табл. 15 показаны разделы, по которым может быть дана характеристика разреза. При этом на литологической колонке, кроме состава пород и их структуры, условными знаками наносятся еще включения: органические остатки, конкреции и др., а также отмечается характер контактов (см. рис. 53).

Если определения органических остатков или конкреций производятся более детально (например, в карбонатных отложениях), то для них в таблице выделяются специальные колонки, где условными знаками указывается видовой состав, соотношения органических остатков, а для конкреций — химический состав и другие их особенности.

Для характеристики текстур сразу строится специальная колонка, так как текстурный анализ — это преимущественно полевой метод исследования, причем весьма существенный для определения фациальных условий осадконакопления. В камеральный период лишь уточняются некоторые детали текстурной характеристики.

Колонки с указанием цвета строятся тогда, когда изменение цвета пород важно для выявления направленности изменения обстановки осадконакопления.

Уже на основании полевых сведений строится колонка литогенетических типов. Фациальная колонка (или колонка генетических типов отложений) иногда может быть построена сразу, а иногда лишь после выяснения дополнительных данных, получаемых при камеральной обработке материала и других результатов. Тогда литогенетические типы получают индексы в соответствии с индексами фаций, к которым они относятся. Справа на графике желательно оставлять свободное место для нанесения тех или иных дополнительных данных и показа результатов камеральных работ.

В камеральный период обработки фактического материала многие указанные выше признаки уточняются и дополняются различными методами исследования. Точно определяется минеральный состав пород, проводится их химический и другие виды анализов. Уточняется структура породы (механический анализ, просмотр в шлифах). Исследуются органические остатки, определяется их видовой состав. В ряде случаев, особенно если породы темные или в той или иной степени метаморфизованы, первичные текстуры бывают плохо видны и их необходимо уточнять путем шлифовки образцов (для керна с предварительным его распиливанием). При этом иногда в породе, казавшейся почти неслоистой, однородной, отчетливо выявляется слоистая или иная текстура. У хомогенных или органогенных пород бывает необходимо уточнить детали их микростроения. Для этой цели можно рекомендовать сделать специально несколько крупных шлифов (площадь в 4—5 раз больше обычных, а иногда и еще более) в зависимости от материала и вопроса, который надо решить.

Таким образом, с началом камерального этапа привлекается ряд дополнительных методов исследования, которыми не следует излишне перегружать литологическую колонку (см. табл. 15). Все эти сведения могут быть изображены графически и показаны параллельно основной литологической колонке в виде нанесения условных знаков, построения кривых и т. д. (в дополнительных колонках).

Однако не следует считать, что обязательно во всех случаях надо приводить все сведения. Приводятся лишь те показатели, которые необходимы для характеристики именно данного объекта исследования или для решения поставленных специальных вопросов.

Наконец, при наличии каких-либо полезных ископаемых в особой колонке можно привести данные о последних. Они могут быть различны. Иногда необходимо показать в большем масштабе строение пластов полезного ископаемого, иногда дать их качест-

венную характеристику или указать какой-либо другой признак. При этом достаточно отчетливо проявится зависимость свойств полезного ископаемого от его места в седиментационном цикле и влияния предшествовавших и последующих условий седиментации. Такие данные интересны и с практической точки зрения.

Все это — продолжение аналитической работы, но на другом, более высоком уровне. Совершенно понятно, что в полевой и в камеральный периоды для различных толщ наибольшее значение имеют то одни, то другие генетические признаки, которые помогают определять генезис отложений и выявлять их циклическое строение.

Другая сторона камерального периода — обобщение всего полученного материала. Для этого недостаточно иметь только фактические данные, пусть даже очень разнообразные и детальные. Их необходимо еще осмыслить с учетом имеющихся разнообразных сведений о процессах формирования отложений, проходящих в различных физико-географических условиях, а также обусловленных действием тех или иных агентов (в частности, не зависящих от фациальной обстановки). Устанавливаются характерные генетические связи выделенных ЛГТ, связь их с теми или иными фациальными условиями. ЛГТ прослеживаются также от разреза к разрезу — выясняется их соотношение не только во времени, но и в пространстве.

В результате синтезирования всего полученного материала и рассмотрения его в сравнительном аспекте окончательно определяются различные фации (или же генетические типы отложений, не зависящие от фациальной обстановки) и их последовательная смена в разрезе. Это — главный материал, дающий основание для выделения литоциклов и смены их во времени. Правильно составленные фациальные колонки, как это мы видели в гл. 2, выявляют периодическую направленность изменения условий, т. е. цикличность седиментации.

График цикличности может быть построен по разным исходным данным. Для терригенных толщ наиболее часто — по изменению фациальной обстановки, различию глубин осадконакопления и степени удаленности от береговой линии (как это показано на рис. 1 и ряде других). В других случаях, например, для солей, это может быть изменение степени засоленности бассейна, концентрации тех или иных элементов; для биогенных толщ (например, известняков) — изменение видового состава фауны, свидетельствующее о смене экологических условий существования организмов. Однако принцип остается один: для тех или иных данных, в зависимости от объекта, строится соответствующая шкала и каждый слой (или более крупная стратификационная единица) находит свое место на этой шкале. Соединение этих отметок (уровней) показывает направленность изменения условий осадконакоп-

ления, выражающуюся в цикличности. Намечаются литоциклы 1-го и следующего порядка (2-го, 3-го и т. д.). Их границы можно указать в крайней правой колонке. Конечно, чем выше порядок, тем больше степень обобщения имеющихся данных. Циклы более высоких порядков выделяются по смене разного типа циклов предыдущих порядков.

В некоторых случаях, особенно при осадконакоплении в наземных условиях, или, наоборот, в обстановке, удаленной от берега, и на значительных глубинах, т. е. в нейтральных частях циклов более высоких рангов, направленность смены условий от цикла к циклу бывает выражена неотчетливо. В этом случае циклы следующего порядка намечаются не по смене ЛЦ разных типов, а по смене группы циклов одного фациального типа группой циклов другого фациального типа, что отражает изменение общей фациальной обстановки на значительной площади.

Например, в отложениях ерунаковской свиты в Кузбассе (см. рис. 42) были выделены циклы 2-го порядка, каждый из которых состоял из групп циклов, однородных по своей фациальной характеристике.

1. Группа циклов бассейнового характера сменяется циклами, сформированными в приустьевых частях речных долин и вновь аллювиально-бассейновыми.

2. Группа циклов аллювиального типа, сформированных в речных долинах, сменяется циклами, сформированными в низовьях речных долин. Соотношение этих двух литоциклов 2-го порядка отмечает общую тенденцию к усилению «регрессивности» осадконакопления; намечается регрессивная ветвь ЛЦ следующего, 3-го порядка.

Надо иметь в виду, что циклы, выделенные в колонках, — еще не окончательное решение вопроса. Иногда мы видим в разрезе неполный или недоразвитый циклы и по данному разрезу не можем решить: что это? — местное усложнение какой-либо части литоцикла или проявление «настоящего» литоцикла, более отчетливо видного в ином разрезе. Такие и многие другие вопросы неизбежны при рассмотрении отдельных разрезов. Лишь их сопоставление, прослеживание литоциклов от одного разреза к другому позволяет полностью выявить циклическое строение изучаемой толщи.

В связи с этим, особенно при работах на первом этапе исследований, возникает вопрос, неоднократно поднимавшийся при обсуждении циклической седиментации: возможно и правомерно ли выделение литоциклов по одному разрезу? На этот вопрос можно ответить так же, как если бы применить его к любой стратификационной единице. Окончательное решение вопроса о циклическом строении разреза и выделении литоциклов разных порядков (тем более при фациальной изменчивости разреза на относи-

тельно небольших расстояниях) возможно лишь после прослеживания литоциклов на площади.

Но в ряде случаев, особенно если фациальные условия выдержаны на больших расстояниях, в морских, достаточно глубоководных отложениях, в геосинклинальной обстановке и т. п. — цикличность осадконакопления и ее специфика могут быть отмечены даже по одному имеющемуся разрезу. При этом может выделяться литоцикл более высокого, n -го порядка (пример тому — приведенный в I части разрез геосинклинальных отложений, расчлененный на литоциклы Н. А. Азербайевым, см. рис. 21). К тому же нельзя забывать, что выделенная таким образом цикличность может быть уточнена при переходе к изучению ее на площади.

Мы детально рассмотрели методику выделения литоциклов в отдельных разрезах. Эта работа сопровождается прослеживанием литоциклов по профилям (с учетом различных возникающих сложностей), рассмотрением их состава и его изменения на площади, а также применением тех или иных вспомогательных методов, в зависимости от объекта исследования. В конце такого проведения фациально-циклического анализа дается итоговое описание литоциклов, их состава, строения, особенностей изменения во времени и в пространстве и других характерных черт, связи с литоциклами полезных ископаемых.

Кроме описания, основные показатели могут быть сведены в таблицу по схеме, приведенной во II части (см. табл. 7). По этой схеме легко и удобно сопоставить особенности цикличности с разных точек зрения: внутри одной формации или в разных формациях; литоциклы, различные по местоположению или времени формирования и т. д. Проведение сопоставлений тесно связано уже с формационным анализом.

Количество и методику отбора проб трудно регламентировать: они зависят от специфики геологического строения региона, масштаба работ, решаемых задач, возможностей лабораторной базы и других обстоятельств. Можно наметить два аспекта исследований: 1) изучать одни и те же или максимально близкие по составу и свойствам породы в разных горизонтах и областях; 2) изучать различные породы и их взаимные переходы во времени и в пространстве. В обоих случаях наиболее целесообразно проводить комплекс анализов по каждой из взятых проб, т. е. так называемые сопряженные анализы (допустим, гранулометрический, текстурный, минералогический, химический и спектральный). Кроме того, всегда имеет смысл детально опробовать не просто породу (например, среднезернистый песчаник), а песчаник с набором одинаковых диагностических признаков, т. е. литогенетический тип. И, наконец, если уже определена фациальная характеристика пород, то интересно провести комплексное опробование пород разных фаций.

6.3. Прослеживание литоциклов в геологических разрезах и их корреляция

В начале предыдущей главы мы говорили о возможных принципах выделения литоциклов в вертикальных разрезах. Сопоставление самих разрезов (корреляцию) в первую очередь стремятся также проводить по сходству пород, соединяя песчаник с песчаником, известняк с известняком и т. д. Но такой подход давно применяется лишь как первоначальный вариант, особенно при изменчивости отложений на площади.

Более точна корреляция с учетом фациальной принадлежности пород, путем составления фациальных профилей. Но и фашии, как мы знаем, изменяются на площади, переходят одна в другую. Таким образом, синхронные горизонты оказываются представленными не только разными породами, но и разными фашиями.

Следующий, еще более точный, метод сопоставления разрезов — через сравнение литоциклов. Мы уже показали в начале

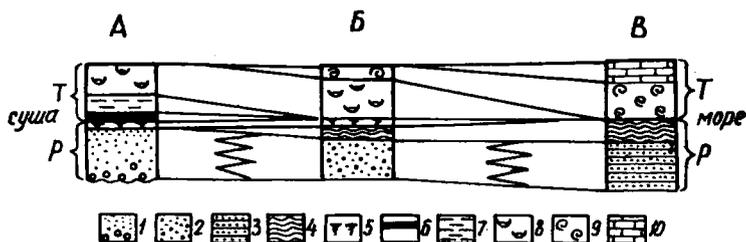


Рис. 54. Сопоставление литоциклов, различных по фациальному составу в разных пунктах наблюдений:

А — частично на суше; *Б* — переходная обстановка; *В* — 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 — лагуны, 9 — морские; 10 — карбонатные морские отложения (известняк)

данной работы, как отложения разного генезиса соотносятся по общей направленности их развития внутри ЛЦ. Пример такого сравнения схематически показан на рис. 54. Слева, в колонке *А*, наблюдается аллювиально-лагунный ЛЦ с угольным пластом в нейтральной части. В колонке *Б* — дельтово-морской, имеющий в нейтральной части отложения болот, завершающих регрессивную часть ЛЦ. Справа, в колонке *В* — ЛЦ, сформировавшийся целиком в морской обстановке. И, несмотря на почти полное различие не только в породах, но и в фашиях, эти три разреза легко сопоставляются, так как по вертикали в каждом из них видна

одна и та же направленность изменения фаций — сначала регрессивная, затем трансгрессивная. При рассмотрении здесь переходов на площади обнаруживается переход речных отложений в дельтовые, а последних — в песчаники морских течений. Видно выклинивание отложений зоны волнений от пункта В к пункту А, а болотных и озерных отложений в обратном направлении. В трансгрессивной части ЛЦ слева направо лагунные отложения сменяются морскими глинистыми и затем отложениями открытого моря, представленными известняком.

Корреляция геологических разрезов по выделенным в них литоциклам основывается на нескольких положениях, установленных в результате анализа большого фактического материала (Ботвинкина, 1952 а, 1953, 1956 а; Жемчужников и др., 1959—1960).

1. Литоциклы — 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.

3. Литоциклы, наряду со сходством их состава и строения, обусловленных периодическим характером осадконакопления, имеют и 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.

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. Это определяет закономерное изменение строения ЛЦ, что также способствует их прослеживанию в пространстве.

6. Чередование литоциклов в разрезе не случайно, а подчиняется определенной, также периодической, закономерности, что позволяет выделить ЛЦ следующих, высших порядков. Последние, как мы уже знаем, являются седиментационными единицами, выдерживающимися на еще больших площадях.

Все сказанное позволяет использовать литоциклы как самостоятельные стратиграфические единицы разрезов.

Корреляция в осадочных толщах на основании прослеживания литоциклов состоит из нескольких этапов. Первый — выделение ЛЦ в вертикальных разрезах (о чем мы говорили в предыдущем разделе). Следующий этап — сопоставление разрезов по элементарным ЛЦ на более близких расстояниях: в пределах участка, месторождения. Наконец, завершающий этап — межрайонные сопоставления ЛЦ (обычно уже более высоких порядков).

Как же практически подойти к увязке разрезов по литоциклам на втором этапе работы? В зависимости от особенностей объекта исследования возможны разные варианты.

Чаще всего — это выявление каких-либо опорных литоциклов, составляющих как бы «каркас» разреза, а между ними сопоставляются отдельные выделенные ЛЦ. При этом, если мощность толщи более или менее постоянна, то количество ЛЦ обычно сохраняется. Сравнение ЛЦ на площади помогает понять изменчивость их фациального строения по латерали в разных направлениях. Таким образом, не только фациальный анализ позволяет выявить цикличность, но и последняя, в свою очередь, способствует уточнению фациальных переходов. Такое сопоставление легко проводится на относительно больших расстояниях. Изменение количества ЛЦ от разреза к разрезу вызывает необходимость проанализировать каждый отдельный случай. Это может быть в результате: 1) размывов (континентальных и морских); 2) расщепления литоциклов; 3) перерывов осадконакопления, а также других причин. На этих усложнениях мы остановимся подробнее немного ниже.

Для характеристики циклического состава разреза строятся фациальные или литолого-фациальные профили. Последние отличаются от обычных геологических профилей не только тем, что здесь «снята» последующая тектоника и они максимально приближены к условиям, существовавшим при седиментации, но и тем, что от пункта к пункту прослеживаются изменения не пород, а фаций (или же генетических типов). Для максимального приближения к тому соотношению отложений, которое существовало на стадии седиментации, мы принимаем условно за горизонтальную линию какой-либо слой, занимавший во время своего формирования наиболее горизонтальное положение и вместе с тем имеющий наибольшую протяженность. Это может быть угольный пласт (так как торфяник, из которого он образовался, обычно развивается на выровненной поверхности, по уровню близкой к нулевой линии бассейна), или известняк, образованный на плоском выровненном морском дне, или пласты вулканического плана, явно синхронные в ряде разрезов и т. д. Обычно пласт, принятый за нулевую линию, принадлежит опорному, маркирующему ЛЦ. Затем все колонки «привязываются» к этому уровню, от условной горизонтальной линии откладываются вниз

нормальные мощности слоев каждого вертикального разреза. При этом все лежащие ниже по разрезу пласты занимают приблизительно то положение, которое они имели в момент формирования пласта, принятого нами за исходный горизонтальный уровень. Если выше последнего нет маркирующего горизонта, то от этой условной линии разрез продолжается не только вниз, но и вверх; при этом верхние слои занимают положение, заведомо несколько искаженное по сравнению с первоначальными условиями седиментации.

Колонки, по которым строятся фациальные профили, иногда сразу представлены колонками фаций, так было сделано в коллективной работе по Донбассу (Жемчужников и др., 1959—1960). Однако наиболее привычно и убедительно построение двойной колонки: в середине — литологическая колонка, а по бокам наносятся фации, соответствующие каждому слою, как выполнено в работе по Кузбассу (Ботвинкина, 1953). Затем производится увязка фаций внутри каждого выделенного литоцикла: промежуток между колонками показываются знаками фаций (или генетических типов). Эта обобщающая работа не только выявляет фациальные особенности разреза, но и помогает окончательному уточнению границ циклов разных порядков. При построении профилей для колонок обычно принимают более мелкий вертикальный масштаб (1:500, 1:1000) по сравнению с исходными полевыми описаниями. Горизонтальный же выбирается с таким расчетом, чтобы разница между обоими масштабами по возможности была наименьшей.

Допустимо построение фациальных профилей и без снятия тектоники путем привязки колонок к условной горизонтальной линии; в этом случае к колонкам обычного геологического разреза добавляются фациальные, и затем отдельными разрезами прослеживаются границы фаций и литоциклов. Это более приемлемо при относительно простом тектоническом строении изучаемой толщи. Примером таких построений служат некоторые работы по изучению карбонатных отложений Прибалтики В. С. Сорокина (1978).

В ряде случаев более значительную информацию относительно изменений состава и строения литоциклов (или даже части литоцикла) можно получить путем составления сопряженных профилей в виде своеобразных блок-диаграмм. Могут быть построены два взаимно перпендикулярных или три профиля (из которых два параллельных, а один к ним перпендикулярен — конечно, относительно, в зависимости от положения пунктов наблюдений). Это показано на рис. 55. Наконец, возможно и построение профилей в четырех взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 56). Такие профили при сильной изменчивости фаций могут быть сопоставимы на относительно небольших расстояниях

ях (километры и десятки километров); их лучше строить для ЛЦ 1—2-го порядков. При большей выдержанности фаций их интереснее составлять для прослеживания ЛЦ на больших расстояниях.

На рис. 56 показан пример сопоставления четырех взаимно перпендикулярных профилей. Здесь мы видим следующее.

1. Соотношение фаций и их смену по мере перехода от наземной обстановки к морской, в связи с чем меняется фациальный тип литоцикла (при сохранении направленности изменения фаций).

2. Фациальный переход аллювиальных песчаников в дельтовые, а последних — в баровые, в направлении поперек к берегу моря (по линии *Б—В*, а также частично по линии *Б—Е*).

3. Значительное изменение пород и фаций по направлению от суши к морю. В зоне преимущественно морского осадконакопления (линия *Г—В*) эта изменчивость значительно слабее.

4. Заболачивание и продвижение образований подпочв и почв, развивающихся на различном субстрате и завершающих регрес-

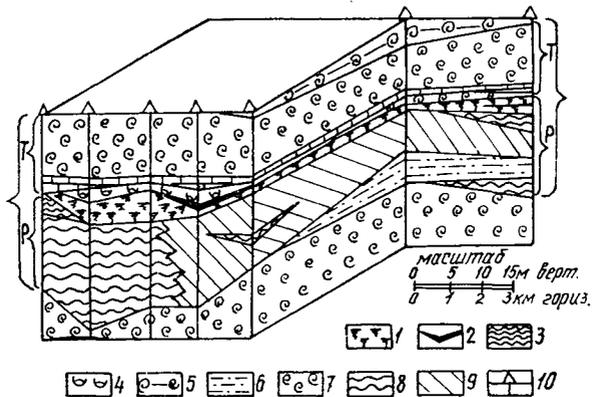


Рис. 55. Фациальные изменения в литоцикле морского типа, прослеженные по трем взаимно перпендикулярным разрезам (Донбасс, свита S_2^6):

1 — наземные образования почвы и подпочвы; 2 — то же с большим количеством растительных остатков; 3 — песчано-алевритовые лагунные отложения зоны волновой ряби; 4 — аргиллиты с лагунной фауной; 5 — алевритовые морские отложения (начало регрессивной фазы следующего цикла); 6 — глинисто-алевритовые морские отложения (спокойная седиментация); 7 — преимущественно аргиллиты спокойного моря; 8 — алевритовые морские отложения зоны волнений; 9 — песчано-алевритовые морские отложения зоны течений; 10 — скважины; части литоцикла: *р* — регрессивная, *т* — трансгрессивная

сивную часть литоцикла, отмечается по направлению к морю дальше, чем формирование торфяных болот, начинающих трансгрессивную часть литоцикла.

5. Такое последовательное прослеживание фаций и их переходов позволяет сопоставить нижнюю часть литоцикла, видную по линии А—В, с таковой, зафиксированной по линии Г—В, несмотря на их резкое различие.

Все это второй этап корреляции разрезов по литоциклам. В конце его четко намечаются границы ЛЦ не только элементарных, но и более высоких порядков. Для каждого района выявляется наиболее типичный для него фациальный разрез и его циклическое строение.

Завершающий этап — межрайонные сопоставления на больших расстояниях (десятки и сотни километров). В зависимости от фактического материала, при выдержанности фаций и литоциклов, можно строить фациальные профили и сопоставлять разрезы, как и на втором этапе. Но чаще здесь сопоставляются сначала выделенные ранее ЛЦ более крупного порядка (2-го, 3-го), а затем анализируется изменение или выдержанность подчиненных им ЛЦ низших порядков. Особая необходимость этого возникает, когда общая мощность изучаемой толщи сильно

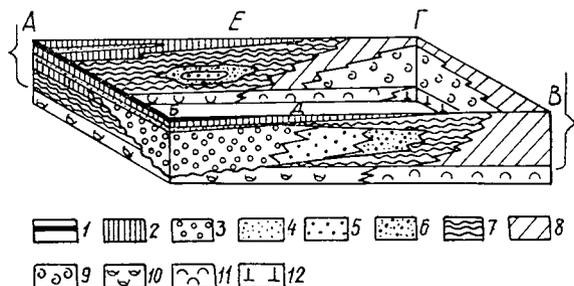


Рис. 56. Соотношение фаций в регрессивной части литоцикла в четырех взаимно перпендикулярных разрезах (Донбасс, свита S_2^6):

отложения: 1 — торфяных болот (угольный пласт), 2 — глинисто-алевритовые заболоченных равнин (образования подпочвы и почвы), 3 — песчаные речные русловые, 4 — песчано-алевритовые пойменные, 5 — песчаные речных высов (подводной части дельты), 6 — песчаные баров, кос, пересыпей, береговых валов, 7 — песчано-алевритовые зоны волнений лагунного мелководья, 8 — песчано-алевритовые прибрежной части моря, 9 — алевритовые морские; *отложения, завершающие трансрессивную фазу предыдущего цикла:* 10 — глинисто-алевритовые с лагунной фауной, 11 — глинистые с фауной открытого моря, 12 — известково-глинистые морские

варьирует в связи с расщеплением литоциклов, либо из-за неоднократных размывов — континентальных или морских, а иногда и в случаях чрезвычайно большой пестроты фаций и сильной их изменчивости в пределах даже нескольких сотен метров. Нако-

нец, это приходится делать при сопоставлении цикличности в разрезах толщ, сформировавшихся в разных тектонических структурах. Последний вариант требует дополнительной разработки методики исследования.

Понятно, что при проведении работ значительно меньшей детальности, чем описанные выше, исследователям бросается в глаза прежде всего цикличность более крупных порядков, что и приводит их к необходимости выделять сначала именно такие литоциклы, с последующим разделением их на ЛЦ низших порядков, если это позволяет фактический материал.

При составлении и корреляции разрезов в циклически построенных толщах надо иметь в виду, что границы литоцикла, как стратиграфической единицы, выделяемой по направленности изменения фаций, далеко не всегда совпадают со стратиграфическими интервалами, выделяемыми, в общем, по сходству пород и их признаков, особенно остатков фауны.

6.4. Усложнения при корреляции разрезов

Нелегкая сама по себе задача корреляции отложений зачастую усложняется такими явлениями, как выклинивание отдельных слоев, пачек и т. д., их расщепление и др. Разберем несколько наиболее распространенных случаев.

6.4.1. Разрезы, вмещающие аллювиальные отложения

Аллювиальные отложения встречаются в разных формациях, связанных с осадконакоплением в наземных условиях (угленосных, молассовых и др.). Они имеют различные формы залегания в ископаемом состоянии, в зависимости от того, в какой стадии развития речной долины были захоронены ее осадки. Кроме того, существенно, имелась ли одна речная долина или же их было несколько. В последнем случае мы видим в разрезах либо отложения отдельных долин, либо, напротив, сливающиеся, особенно в низовьях. При этом в толще пород мы можем обнаружить значительную площадь, представленную речными отложениями. Наконец, для конфигурации ископаемого аллювия имеет значение, какая его часть сохранилась в толще отложений.

Аллювий отдельных речных долин в поперечном разрезе обычно образует выклинивающиеся линзы большего или меньшего размера. В направлении вдоль речной долины речные отложения могут быть прослежены на значительном расстоянии. Нижний контакт аллювия, как правило, представлен размывом или во всяком случае бывает виден в породах достаточно отчетливо.

При этом надо иметь в виду, что глубокие корытообразные впадины аллювиальных отложений, отчетливо видные на разрезах с искаженным масштабом, имеют в действительности значительно более пологий уклон и меньшую амплитуду, что очевидно, если показать их в одинаковом вертикальном и горизонтальном масштабе.

Строение самой аллювиальной толщи бывает одноярусным или многоярусным, в зависимости от времени формирования и степени миграции речного русла. Кроме того, в результате циклического строения разреза, аллювий одного цикла может налегать с размывом на аллювий цикла нижележащего, образуя в разрезе, на первый взгляд, единую мощную толщу речных отложений (см. рис. 9).

Кроме общих закономерностей строения, аллювиальные отложения имеют свои специфические черты и взаимосвязи в зависимости от общей фациальной обстановки, в которой находилась речная долина (морское побережье, горная область и др.).

Неоднократно дискутировался вопрос о том, в какую стадию цикла седиментации — регрессивную или трансгрессивную — формируются аллювиальные отложения. Существует мнение, что формирование их связано только с трансгрессивным характером осадконакопления. Однако детальный анализ соотношения фаций, проведенный на ископаемом материале (в частности, в разрезах угленосной толщи Донбасса), привел к выводу, что размыв в основании аллювиальной толщи и накопление последней происходили в регрессивную фазу цикла. При этом «классический» литоцикл, начинающийся с размыва (против которого всегда протестовали противники теории циклической седиментации), является лишь частным случаем и не может считаться типичным. Так, в отложениях, сформированных в паралической обстановке (например, в угленосных толщах), мы видим начало регрессивной части литоцикла, представленной морскими отложениями, которые сменяются через прибрежно-морские или лагунные накоплением аллювия, лежащего с размывом. Завершается аллювиальная толща отложениями болот и почв, занимающих наиболее продвинутую в сторону моря площадь, что указывает на максимум регрессии (см. рис. 43). На смену отложениям зарастающих болот приходит формирование торфяника, знаменующего начало трансгрессивной части цикла. Этот вопрос на конкретном материале был разобран специально (Ботвинкина, 1954 б, 1956 б, 1958). Плоскость размыва, лежащая в основании аллювиальной толщи, чаще обусловлена движениями положительного знака, создающими условия, когда речная долина начинает врезаться в предыдущие осадки. В паралической обстановке этот размыв отмечает поднятие, выводящее морские осадки выше уровня моря с последующим их размывом. Затем формируется аллювиальная толща.

В трансгрессивную фазу цикла, при опускании территории, происходит только закрепление аллювия в толще осадков путем перекрытия их иными отложениями (чаще всего бассейновыми: морскими, лагунными, озерными и др.). Исключение составляют случаи, когда из области сноса, обычно горной, река начинает выносить такое количество осадков, что несмотря на продолжающееся погружение накапливается мощная толща аллювия, создающая «ложную регрессию». Таким образом, формирование ископаемого аллювия связано не только с континентальной обстановкой осадконакопления, но и с тем, что эта обстановка должна испытывать особый тектонический режим, причем не только в области седиментации, но и в области сноса.

Выделение в разрезе аллювиальных отложений и знание всех

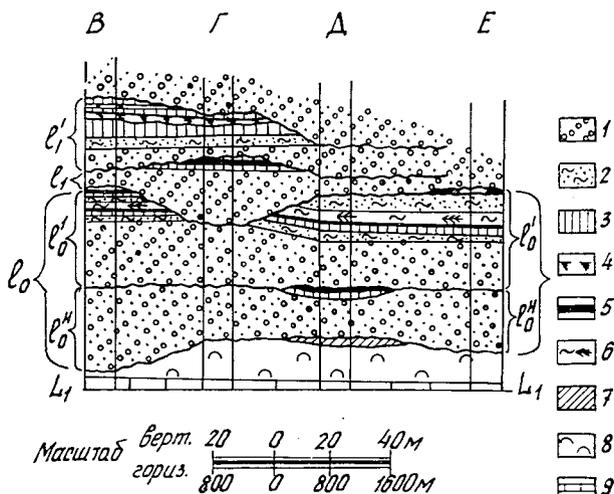


Рис. 57. Размыты и уничтожены литоциклы в толще с большим развитием аллювия (Донбасс, Яновский участок):

1 — русловый аллювий; 2 — пойменный аллювий; 3 — образования подпочв и почв; 4 — следы корней растений; отложения: 5 — торфяного болота (угольный пласт), 6 — озерные, 7 — лагунные, 8 — морские глинистые, 9 — морские карбонатные (известняк); В — Е — колонки скважин

перечисленных закономерностей позволяет более правильно интерпретировать разрез, а следовательно, сопоставлять литоциклы и принадлежащие им пласты полезных ископаемых. Исчезновение последних из разреза становится понятным, если мы видим на их месте аллювиальные отложения. При этом, анализируя циклически построенный разрез, мы можем сказать, есть ли основа-

ния для того, чтобы обнаружить интересующие нас слои в другом месте, или же возможность этого маловероятна.

Рассмотрим некоторые конкретные примеры строения аллювиальных толщ и их латеральные изменения. (Более подробно этот вопрос разобран в специальной статье — Ботвинкина, 1954 б.) На рис. 4 и 54 видно простое одноярусное строение аллювия, лежащего в основании литоцикла. Завершаются речные отложения широким развитием зарастающих болот, указывающих на завершение регрессивной фазы цикла. На рис. 8 наблюдается двухъярусное строение песчаной аллювиальной толщи, образовавшееся в результате миграции речного русла.

На рис. 57 (Яновский участок Донбасса) мы видим пример прослеживания нескольких литоциклов с аллювием в основании. Литоциклы обозначены индексами тех угольных пластов, которые они содержат. Расстояние между крайними скважинами около 6 км. В нижнем литоцикле l_0^H низы регрессивной части представлены лагунными отложениями только в скв. Д, в остальных пунктах они уничтожены последующим размывом в основании аллювиальной толщи. Строение литоцикла l_0^1 сложное. В скв. Д мы видим в середине аллювия появление угольного пласта; очевидно, это был небольшой торфяник, сформировавшийся на междуречных пространствах. Данный факт, а также усиление размывающей деятельности рек, намечает здесь два сублитоцикла l_0^H и l_0^1 . Являются ли они «настоящими» литоциклами или нет, возможно установить только путем сопоставления с разрезами в других районах. Часть литоцикла l_0 , содержащая угольный пласт, в скв. В сложного строения. В скв. Г она полностью уничтожена размывом, предшествовавшим формированию следующего литоцикла l_1 , так же как и вся верхняя часть литоцикла l_0 .

Литоцикл l_1 , хорошо выдерживающийся на территории Донбасса, на данном участке представлен лишь аллювиальной толщей в основании и болотными отложениями (с угольным пластом), обнаруженными только в скв. Г. В следующем ЛЦ l_1^1 аллювиальные отложения уже значительно меньшей мощности и, как показали палеогеографические карты, занимают меньшую площадь, формируя узкие речные долины. Это подтверждает его трансгрессивный характер. В данном разрезе он виден в скв. В и Г, а далее уничтожен последующим размывом. В скв. Д мы видим последовательное налегание аллювиальных отложений, принадлежащих трем ЛЦ: l_1 , l_1^1 и лежащему выше. На этом чертеже мы видим также миграцию от цикла к циклу снизу вверх области наибольшего врезания русел: в скв. В виден мощный многоярусный аллювий нижнего литоцикла, в скв. Г добавляется аллювий ЛЦ l_1 ; в скв. Д и Е нижний сложный ЛЦ более полный, но сливаются уже аллювиальные толщи верхних литоциклов. Из рас-

смотрения чертежа понятны затруднения в увязке таких разрезов.

Надо заметить, что, как правило, отложения аллювия увеличивают мощность литоцикла по сравнению с тем его разрезом, где аллювий отсутствует. На рис. 58 (слева) показана сводная литологическая колонка литоциклов в разрезах того же Яновского участка, что и на предыдущем рисунке, и дано ее сопоста-

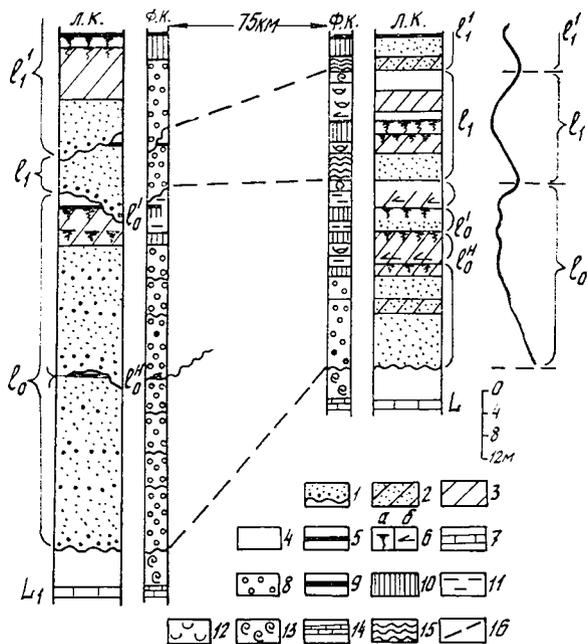


Рис. 58. Изменение отложений между двумя удаленными районами: слева — Центральный район (Яновский участок), справа — Юго-Восточный район (Должанский участок) (Донбасс, свита S_2^6):

литологические колонки (л. к.): 1 — песчаники разной зернистости; 2 — песчано-алевритовые отложения; 3 — алевриты; 4 — аргиллиты; 5 — угольный пласт; 6 — растительные остатки (а — корневые, б — детрит и листья); 7 — известняк; отложения на фациальных колонках (ф. к.): 8 — аллювиальные, 9 — торфяников, 10 — почв и подпочв, 11 — озерные, 12 — лагунные, 13 — открытого моря, 14 — карбонатные морские, 15 — морские зоны волнений; 16 — границы литоциклов

вление с ЛЦ Должанского района, на расстоянии уже около 75 км. В левой литологической колонке отчетливо видно многоярусное строение аллювия нижнего ЛЦ, возникшее в результате миграции речного русла, а также отличный от них горизонт большого погружения материала, намечающий границу сублитоциклов. Нижний из них — l_0^H явно регрессивного характера, судя по мощному аллювию в основании и отсутствию трансгрессивной части. (В правой колон-

ке эта часть представлена только озерно-болотными отложениями.) В сублитоцикле l'_0 , судя по правой колонке, регрессивный характер выражен менее резко. Верхняя его часть в обоих разрезах имеет строение аллювия нижнего ЛЦ, возникшее в результате миграции сложное строение, представленное двумя горизонтами слабого торфонакопления.

Кривая литоцикла, построенная для Должанского района, не испытывавшего такого развития бурной речной деятельности, отчетливо выявляет, что l_0 — это единый ЛЦ, но сложно построенный как в нижней (аллювиальной), так и в нейтральной его части. Трансгрессивная же часть его выражена очень слабо. ЛЦ l_1 в левой колонке почти не имеет верхней части — она уничтожена последующим размывом, и лишь местами сохранился угольный пласт. Но резкое уменьшение мощности его регрессивной части по сравнению с нижележащими литоциклами заставляет предполагать, что направленность изменения фаций уже иная. Это подтверждается колонкой справа, где данный ЛЦ имеет почти симметричное строение и завершается морскими отложениями небольшой мощности. Этот ЛЦ содержит (по сравнению с нижним и верхним литоциклами) наиболее мощный угольный пласт.

Завершается разрез литоциклом l'_1 , представленным на данном разрезе лишь нижней частью. Однако прослеживание на всей площади Донбасса выявило его явно трансгрессивный характер с широким развитием морских отложений, и, таким образом, этот литоцикл завершает ЛЦ 2-го порядка, как это подтверждается и палеогеографическими картами.

Из сопоставления колонок ясно, насколько затруднена была бы межрайонная корреляция такого разреза без учета генетических признаков отложений, а также закономерностей формирования аллювиальных горизонтов. Интересно отметить, что погрубение песчаника с включением гальки в средней части аллювия в нижнем литоцикле, видимом в левой колонке, соответствует смена алевролита песчаником в правой колонке. Аллювий в обоих разрезах безусловно принадлежит разным рекам. Значит, выдержанность в этом литоцикле горизонта погрубения материала указывает на региональность усиления эрозионной деятельности рек, связанной, очевидно, с синхронными тектоническими движениями положительного знака.

На различных рисунках мы рассмотрели два морфологических типа строения ископаемых аллювиальных отложений: одноярусное и многоярусное. Одноярусно построенный аллювий обычно бывает меньшей мощности и, по-видимому, соответствует одной речной долине на более молодой стадии ее развития с однонаправленным боковым смещением руслового потока. Многоярусный аллювий, в свою очередь, бывает различным генетически: он может быть *миграционно-многоярусный*, формируемый в результате раз-

вития речной долины с миграцией речного русла, и *циклически-многоярусный*, образуемый налеганием аллювиальных отложений разных литоциклов.

Отдельные ярусы миграционного многоярусного аллювия про-

Таблица 16

Сопоставление признаков эрозионного и морского размывов
(по материалам изучения угленосных отложений Донбасса)

Признаки для определения	Эрозионный размыв	Морской размыв
Линия контакта размыва:		
в керне	Обычно неровная, извилистая, с карманами	Обычно ровная
в обнажении	Отчетливо неровная, с карманами	Не наблюдалась
на профиле	В зависимости от среза — вогнутая кривая или вытянутая неровная	Прямая
Глубина вреза	На разрезе, поперечном к речной долине — может быть большой, до 20—30 м; на продольном разрезе глубину вреза определить трудно	При слабой трансгрессии (в прибрежной части моря) небольшая (1—2 м)
Количество срезаемых слоев	Различное, может быть много	Обычно немного (не более 2—3)
Наклон линии среза	В зависимости от направления речной долины от крутого до почти горизонтального	Обычно пологий
Выше линии размыва:		
породы	Выше всегда более грубозернистые, чем ниже	Могут быть того же гранулометрического состава или даже органогенные
фации	Выше линии размыва — аллювий, ниже — любые отложения	Выше линии размыва морские отложения, ниже — любые
включения	Выше линии размыва характерна галька нижележащих пород, иногда — неокатанные обломки	Выше линии размыва иногда встречаются неокатанные обломки подстилающих пород

слеживались в угленосной толще на расстоянии до первых километров. Налегание разновозрастных песчаных аллювиальных толщ различных литоциклов является результатом тектонических движений, выведивших осадки выше уровня моря в наземные усло-

вия. В этом случае, в отличие от миграционно-многоярусного аллювия, песчаная толща в вышележащем ЛЦ часто бывает значительно грубее, чем в ЛЦ нижележащем. Ярусы циклически-миграционного аллювия прослеживаются на расстояния, измеряемые десятками километров и более.

Если линия разреза совпадает в общем с направлением древней речной долины, то рано или поздно речные отложения последней переходят в отложения речных выносов в какой-либо бассейне (т. е. в отложения подводной части дельты) или же в другие прибрежно-бассейновые песчаные отложения (зоны морских течений, пересыпи, бары и др.), которые имеют уже несколько иные черты в результате их переработки в водном бассейне. В то время как в речных отложениях наиболее грубый материал располагается внизу, в отложениях подводной части дельты он может быть в ее различных частях, и чаще — в середине. Меняются и остальные признаки (слоистость, включения и др.).

Нельзя забывать, что при осадконакоплении в прибрежно-морских условиях контакт размыва может лежать в основании не только аллювиальных, но и морских отложений. Нами была проделана работа по сопоставлению признаков эрозионного и морского размыва на материале паралических угленосных толщ, признаки их сведены в табл. 16, которая не претендует на универсальное значение: в отложениях иных формаций вполне вероятны ее изменения, дополнения и уточнения.

В результате развития речных долин и формирования аллювия уничтожению подвергаются прежде всего отложения, завершающие морскую серию в регрессивном ряду фаций и предшествовавшие осушению в результате размыва их рекой того же цикла.

Во вторую очередь размываются отложения, завершающие трансгрессивную часть литоцикла в случае наложения аллювия за счет речной деятельности в последующем цикле. При очень активной деятельности древних рек и относительно небольшой мощности предшествовавшего литоцикла возможно уничтожение не только его части, но и всего целиком, а иногда и более — двух-трех ЛЦ, как это мы видели на рис. 9.

Из разобранных примеров видно, как неполная сохранность отдельных частей разреза, в связи с наличием в нем аллювиальных отложений, значительно осложняет корреляцию литоциклов, особенно если характеристика составляющих слоев недостаточно детальна, в связи с чем неточно определен их генезис.

6.4.2. Разрезы с расщеплением литоциклов

Расщепление литоциклов, в частности угольных, многократно отмечалось и детально описывалось в различных угленосных тол-

щах. С другой стороны, давно известно явление значительного возрастания мощности одного и того же интервала осадочной толщи, формирующейся в определенных тектонических структурах (например, в краевых прогибах). Детальный анализ и прослеживание строения ЛЦ позволили установить, что увеличение мощности происходит за счет изменения строения разреза в результате сложных тектонических движений разного знака.

Сопоставление значительно удаленных один от другого циклически построенных разрезов, проведенное на материале угленосной толщи Донецкого бассейна, позволило установить весьма интересное явление, а именно — расщепление литоциклов с превращением элементарных ЛЦ 1-го порядка в сложно построенные литоциклы следующего порядка. Это явление было прослежено одним из авторов на примере почти всех литоциклов свиты S_2^6 Донбасса (Ботвинкина, 1956 а, 1977 а; Жемчужников и др., 1960).

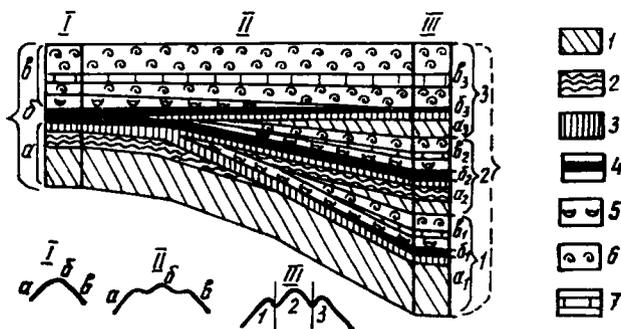


Рис. 59. Схема расщепления литоцикла 1-го порядка и перехода его (на большом расстоянии) в три литоцикла (1, 2, 3), образующие литоцикл 2-го порядка:

a — отложения регрессивного ряда: 1 — морские, 2 — лагунные, 3 — болотные; *б* — отложения торфяного болота; 4 — угольный пласт; *в* — отложения трансгрессивного ряда: 5 — лагунные, 6 — морские глинистые, 7 — морские карбонатные (известняк).
Внизу кривыми показаны относительные поднятия и опускания, влияющие на формирование циклической седиментации в пунктах I, II, III

На рис. 4 мы видели расщепление литоцикла с угольным пластом l_5 . Прослеживание на всей территории Донбасса с запада на восток рассмотренного выше ЛЦ с угольным пластом l_1 показало (см. рис. 58), что в самой западной части бассейна фиксируется лишь один ЛЦ l_1 , имеющий сложное строение как в средней, угленосной части, так и в нижней, представленной сложно построенным аллювием. В центральных районах выше ЛЦ l_1 , в результате расщепления его средней части, появляется ЛЦ l_1^1 (трансгрессивного типа), а за счет расщепления нижней части — рег-

рессивный ЛЦ l_0 . Последний далее к востоку, в свою очередь, разделяется на сублитоциклы l_0^H и l_0^1 . Это же деление отмечается и в юго-восточной части Донбасса.

Как показали многочисленные примеры прослеживания изменений строения литоциклов на больших расстояниях, весьма характерно расщепление за счет усложнения строения средней, нейтральной части ЛЦ (для угленосных толщ — в результате расщепления болотных отложений с угольным пластом). Схематически это изображено на рис. 59. По мере продвижения с запада на юго-восток угольный пласт сначала приобретает сложное строение: в нем появляются глинистые прослои, что указывает на временное прекращение роста торфяника и изменение глубины перекрывающих его болотных вод. Затем между пластами болотных отложений появляются еще и лагунные, а еще восточнее — морские. Элементарный ЛЦ 1-го порядка превращается в три самостоятельных литоцикла, образующих ЛЦ 2-го порядка.

Каковы причины этого явления? Можно предположить, что когда на западе формировалась регрессивная часть a , в юго-восточном районе на фоне общего поднятия произошло относительно небольшое погружение, постепенно как бы «затухавшее» к западу. Это опускание временно нарушило общий ход осадконакопления, создав в юго-восточной части предпосылки для формирования угольного пласта и перекрывающих его отложений. Затем поднятие продолжалось вплоть до общего заболачивания всей территории, сменившегося общим же слабым погружением, при котором вся территория оказалась покрытой торфяным болотом, давшим угольный пласт $b-b_2$. При этом в то время, как на западе погружение оставалось слабым, в юго-восточной части оно усилилось настолько, что кроме угольного пласта здесь сформировалась еще и лежащая выше него трансгрессивная часть v_2 второго литоцикла, как бы расщепившая угольный пласт. Оно сменилось новым поднятием, также «затухавшим» к западу. Это выразилось в формировании в юго-восточном разрезе регрессивной части a_3 верхнего литоцикла, которая постепенно выклинилась к западу. Наконец, началось общее погружение, захватившее всю территорию. Сначала оно было слабым (образовывался торфяник, давший пласт $b-b_3$), но затем настолько усилилось, что привело к формированию общей трансгрессивной части простого элементарного ЛЦ на западе и верхнего ЛЦ на юго-востоке ($v-v_3$). Интенсивность движений на юго-востоке, очевидно, была вообще сильнее, потому и окончательное погружение там было интенсивнее, вследствие чего угольный пласт в верхнем ЛЦ имеет небольшую мощность (торфонакопление было более кратковременным), а трансгрессивная часть представлена глинистыми морскими отложениями, включающими достаточно мощный пласт известняка.

Такие расщепления можно объяснить тем, что в области более

интенсивного опускания на фоне поднятия появляются импульсы дополнительных прогибаний, затухающих по направлению к более стабильной области. А затем на фоне общего погружения возникают слабые движения положительного знака, также затухающие. И наконец, общая тенденция к опусканию становится основной на всей площади. Наложение на какое-либо вертикальное движение (достаточно интенсивное) движений более слабых, но противоположно направленных, является не только причиной расщепления литоциклов, но может быть и причиной формирования литоциклов более высоких порядков.

Существует иной вариант объяснения расщепления — только за счет изменения соотношения скоростей погружения и седиментации, когда регрессивные серии отложений формируются в результате усиления приноса обломочного материала. На фоне продолжающегося погружения подобные случаи возможны, однако в разобранных нами примерах такое объяснение исключается: в результате анализа общего палеогеографического плана мы установили, что суша все время была на западе, и трудно предположить, что с пенеппенизированной заболоченной суши в более мористую юго-восточную часть вдруг начинает поступать неизвестно откуда в большом количестве грубозернистый материал. Кроме того, последний часто представлен аллювием с размывом в основании, налегающим на бассейновые отложения, что указывает на положение области выше уровня моря (т. е. поднятие). Принципиально это дела не меняет: погружение с периодическим замедлением или с периодическим движением обратного знака — явления, которые могут переходить одно в другое. (В наших примерах мы имели второе.)

Наконец, при наличии мощного пласта, образующего особый торфоцикл (см. I часть), последний во времени накопления может соответствовать сложнопостроенной осадочной толще в другом районе, являясь своеобразным литоциклом следующего порядка, переходящим на площади в таковой, но слабоугленосный или даже безугольный.

Расщепление литоциклов усложняет сопоставление разрезов. Расшифровать и проследить их помогает детальный фациальный и циклический анализ отложений. При этом становится понятным, почему при таких условиях сопоставление разрезов на больших расстояниях целесообразно проводить по литоциклам более высоких порядков, число которых оказывается величиной более постоянной, и, таким образом, они являются более надежной стратификационной единицей. Надо только учитывать, что в том районе, где количество литоциклов (а также соответственно и мощность разреза) уменьшается, литоцикл 2-го порядка может быть представлен только одним элементарным литоциклом простого строения. Расщепление литоциклов затрудняет не только корре-

ляцию разрезов, но и составление палеогеографических карт.

Указанное явление установлено при рассмотрении угленосной толщи, так как здесь было наличие таких четких реперов, как угольные пласты и известняки небольшой мощности. Надо полагать, что оно может быть обнаружено и в иных формациях, при наличии сходных палеогеографических и тектонических условий. Несомненно, что такое явление находится в тесной связи с синхронной осадконакоплением «жизнью» той тектонической структуры, в которой оно происходит.

6.4.3. О выдержанности мощностей литоциклов

Наблюдения над расщеплениями литоциклов в угленосной толще Донбасса показали, что значительное увеличение мощности циклически построенной толщи может происходить не за счет увеличения мощности литоциклов, а в результате увеличения количества последних. Мощности же каждого элементарного литоцикла сохраняются в более или менее одних и тех же пределах. В иных условиях, в частности в геосинклинальных областях, синхронные отложения одного и того же седиментационного цикла могут иметь весьма различную мощность за счет недокомпенсации в прогибах с малым поступлением материала (или, наоборот, перекомпенсации). В такой обстановке мы можем сопоставить литоцикл мощностью в сотни метров с литоциклом, измеряемым метрами. Но обычно это будут уже ЛЦ не элементарные, а более высоких порядков, которые, в свою очередь, слагают ЛЦ более низких порядков.

Другое более или менее резкое изменение мощностей литоциклов происходит в результате различного уплотнения осадочного материала (отличающегося и по вещественному составу, и генетически). Так, например, аллювиальные песчаники, как правило, относительно мало изменяют свою мощность с переходом в ископаемое состояние. Вследствие этого линзы аллювия образуют раздувы, сильно увеличивающие мощность ЛЦ, к которым они относятся.

С другой стороны, такие отложения, как торфяные, с переходом в ископаемое состояние резко сокращаются в мощности (примерно до 10 раз). Становится понятным, почему в приведенных выше примерах характерно расщепление именно нейтральной части с угольным пластом: в последнем мы имеем как бы «зародыши» элементарных ЛЦ, не заметные в результате уплотнения болотных отложений (торфяных и глинистых). Как показано в работе (Алексеев, 1979 а, в), мощный угольный пласт Нерюнгринского месторождения состоит из нескольких торфоциклов, синхронно соответствующих обычным элементарным ЛЦ, но большей мощности (см. I часть). Таким образом, литоцикл, вмещаю-

щий мощный угольный пласт сложного строения, в ряде случаев можно рассматривать уже как торфоцикл 2-го порядка.

Наконец, различие мощностей литоцикла в разных пунктах возможно в результате исчезновения большей или меньшей его части в результате последующего размыва. В частности, в паралической обстановке возможно резкое уменьшение мощности ЛЦ, завершающего ЛЦ 2-го порядка, в результате более резких поднятий, предшествующих последующему ЛЦ также 2-го порядка. Это явление особенно характерно в случае общей регрессивной направленности процесса осадконакопления в прибрежно-морской обстановке.

6.4.4. Неполнота разреза

Дополнительные сложности для анализа возникают при неполноте геологического материала, которая может зависеть от двух причин: неполноты геологической летописи вследствие выпадения части отложений, обусловленной геологическими процессами, и неполноты материала вследствие плохого выхода керна, недостаточной обнаженности и тому подобных причин. Отсутствие части разрезов, возникающее в результате действия размывов (не только речных, но и морских), оживления тектонической деятельности, перекомпенсации, выводящей площадь осадконакопления выше уровня моря, и других геологических факторов, синхронных осадконакоплению, при изучении циклически построенного разреза имеют не только минусы (затруднения при корреляции), но и плюсы, так как большинство перечисленных явлений подчеркивает границы литоциклов разных порядков, нарушая эволюционный и непрерывный ход осадконакопления.

Что касается неполноты геологического каменного материала в результате, например, недостаточного выхода керна, то в этом случае помощь оказывают дополнительные методы исследования, в первую очередь — геофизические (каротаж), помогающие определить не только состав пород, как это принято, но в ряде случаев и фациальную обстановку, о чем речь пойдет ниже.

6.4.5. Изучение литоциклов инъективного режима

Литоциклы инъективного режима, с одной стороны, усложняют корреляцию в силу их сложного генезиса. Они образуются под действием различных процессов: основного седиментационного и иных, накладывающихся на него. Это или процессы вне области седиментации (поднятия в области сноса, наводнения, оползания и др.), или результат деятельности вулканов, зачастую находящихся в этой же области, но поставляющих в толщу отложений

генетически чуждый материал (собственно ксенолитоциклы). Поэтому анализируя циклически построенные толщи, следует различать особенности периодичности и тех и других. Вместе с тем наложенные образования часто подчеркивают строение литоциклов в целом, особенно таких, как вулканогенно-осадочные, что в ряде случаев способствует корреляции. Вообще появление чего-то «чуждого» в разрезе должно заставить исследователя внимательно проанализировать это с точки зрения закономерностей циклической седиментации. Например, при внезапном появлении на фоне более глубоководных отложений с признаками мелководности, следует рассмотреть, связаны ли они последовательным изменением фациальных условий. Если нет, то, очевидно, это следует рассматривать не как начало регрессивной ветви литоцикла, а как цикличность инъективного режима, образованную приносом более мелководных осадков извне (например, штормом).

6.5. Прослеживание литоциклов на площади, палеогеографические построения

Следующий этап анализа и синтеза наших знаний о литоциклах — рассмотрение их связей с определенными палеоландшафтами. Этот вопрос затрагивается в той или иной степени в большинстве работ, посвященных циклической седиментации. Но прежде чем перейти к рассмотрению вопроса, необходимо кратко остановиться на том, что такое палеоландшафт и в чем его отличие от понятия о современном ландшафте.

Большинство географов под ландшафтом понимает часть земной поверхности с определенным климатом, рельефом, биоценозом, гидрогеологическим режимом и почвой. В ряде случаев к этим признакам добавляются геохимические условия и состав пород. Непрерывное взаимодействие всех этих факторов, выражающееся в механических, химических и биологических процессах, вызывает возникновение определенного ландшафта. Таким образом, любой ландшафт — это непрерывно изменяющаяся и развивающаяся единица земной поверхности, эволюционирующая как в частных проявлениях, так и в связи с общим развитием Земли. Объем этого понятия может быть различным в зависимости от масштаба наблюдений. Географы дают название современному ландшафту преимущественно по генетической однородности территории. Современный ландшафт мы видим непрерывно на всем его протяжении.

Палеоландшафт мы восстанавливаем по более или менее частой сети пунктов наблюдений (скважины, обнажения и др.). Таким образом, построение на этой основе (даже очень детальной) палеогеографических карт неизбежно получает некоторый элемент условности. При этом палеоландшафт может быть и однородным, но чаще (особенно в связи с циклическостью) он содержит разно-

родные элементы, так как литоцикл — это направленное изменение фаций и фациальных обстановок.

Кроме того, степень условности зависит и от неполноты геологического материала. Как правило, восстанавливаемые палеоландшафты связаны с большими интервалами времени и пространства, чем современные. Из современных ландшафтов рассматривались в основном наземные и лишь в последние десятилетия геологи пытаются восстанавливать ландшафтную обстановку на дне морей и океанов (по данным подводного бурения и др.). С другой стороны, даже при детальном исследовании трудно показать на палеогеографической карте все разнообразие и изменчивость древних наземных обстановок. В результате возникают сложные названия (например, «прибрежная равнина, периодически затапливаемая морем», и т. п.).

Особые сложности возникают при палеогеографических реконструкциях вулканических областей, где нормальный ход накопления осадков эпизодически прерывается вулканической деятельностью (и эксплозивной, и эффузивной), причем вулканизм не только поставляет огромные массы продуктов, но и может значительно изменить общий ландшафт местности. Однако, несмотря на все сложности реконструкций в этих условиях, имеется уже много работ с освещением палеоландшафтов вулканических областей.

Ряд различий в определениях современных и древних ландшафтов приводит к тому, что при геологических исследованиях описываются по существу не палеоландшафты как таковые, а физико-географические условия, существовавшие во время накопления тех или иных отложений. Пожалуй, можно сказать, что понятию «ландшафт» (независимо от его масштаба) соответствует понятие «фациальная обстановка», также понимаемая то более узко, то более широко.

Еще одно отличие в изучении ландшафтов географами и геологами в том, что первые отчетливо видят изменение его в пространстве, но в течение небольшого отрезка времени, тогда как вторые прослеживают его изменения с течением времени (в том числе — на очень больших временных интервалах), но не непрерывно в пространстве. Для решения последней задачи много может дать изучение цикличности и палеогеографические построения на этой основе.

Палеогеографические карты разных масштабов строились и строятся многими исследователями для самых разных объектов. Однако, в связи с цикличностью, эти построения имеют некоторые особенности. Весьма интересные результаты дает построение карт для отдельных ЛЦ и их частей. При этом большое значение имеет степень детальности фактических наблюдений и их количество, позволяющее проследить каждый ЛЦ на всей изучаемой территории.

Большая работа по составлению палеогеографических карт для различных частей литоциклов была проведена при детальном изучении угленосной толщи Донбаса с коллективом геологов (Ботвинкина, 1954 б; Жемчужников и др., 1960). Все ЛЦ были прослежены по разрезу, для каждого строилось по 2 карты: одна (для его нижней части) отражала формирование пород при регрессии моря и наибольшем развитии суши; вторая — обстановку формирования верхней трансгрессивной части цикла при максимальном развитии морских условий, которые особенно подчеркивались границей распространения известняков (см. рис. 3). Иногда добавлялась третья карта, где показывалось отдельно распространение торфяника (угольного пласта). На рис. 60 изображены для примера три таких карты для всей свиты C_2^6 . Общая протяженность территории (ширина карты) около 300 км. Время существования изображенного ландшафта составлено примерно 15—20 тыс. лет.

На нижней карте видно разнообразие фациальных условий в регрессивной стадии формирования литоцикла. Широкое распространение имеют наземные образования почв и подпочв. Прослежены аллювиальные долины. Песчаники речных

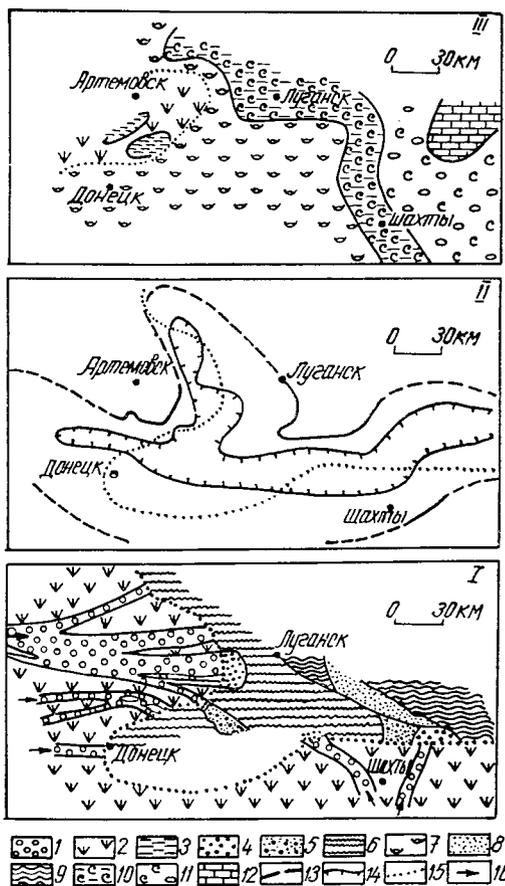


Рис. 60. Палеогеографические карты с угольным пластом l_6 и известняком L_2^6 (Донбасс):

1 — карта регрессивной части литоцикла; II — распределение на площади угольного пласта; III — карта трансгрессивной части литоцикла; отложения: 1 — речные, 2 — почв и подпочв, 3 — озерные, 4 — подводной части дельты, 5 — баров, кос, пересыпей, 6 — лагунные зоны волнений, 7 — лагунные в затишных условиях с фауной, 8 — морские зоны течений, 9 — морские зоны волнений, 10 — морские мелководные, 11 — открытого моря, 12 — морские карбонатные (известняк); границы: 13 — распространения угольного пласта (торфяного болота), 14 — максимальной мощности угольного пласта, 15 — древней суши; 16 — направления речных долин

выносов (дельтовые) и зоны морских течений отгораживают лагуну, где накапливались преимущественно алевролитовые осадки.

На средней карте показан контур распространения угольного пласта l_6 (торфяника), а также границы его наибольшей мощности. Максимальное торфонакопление в общем приурочено к побережью близ нижних, приустьевых частей речных долин и междолинным пространствам (как для западной, так и для юго-восточной суши). Развитие угольного пласта рабочей мощности связано с областью слияния двух литоциклов — l_6^H и l_6 , причем угольный пласт индексируется как l_6 .

На верхней карте видно, что при трансгрессии примерно половина территории занята лагунными отложениями, а половина — морскими, преимущественно алевроитовоглинистыми; лишь на северо-западе, в месте слияния двух литоциклов, сохраняется небольшой участок суши, занятый озерами и болотами. Граница между лагунными и морскими отложениями обрисовывает три языка последних, причем самый большой (южный) продвигается далеко на юг, за пределы изученной территории, что указывает на небольшое погружение ложа седиментации в этом районе. Новое поднятие привело к началу нового седиментационного цикла.

При рассмотрении таких карт можно сделать выводы о связи угольного пласта с предшествовавшими и последующими условиями седиментации, а также выяснить зависимость от этих условий его количественных и качественных характеристик. На картах мы также видим, что в разных пунктах территории литоцикл формировался в разных фациальных условиях, но тенденция к их изменению везде сохраняется, что и позволяет проследить циклы осадконакопления на площади.

Всего по свите S_2^6 карты были построены для 22 литоциклов, их сравнение показало, что объединение ЛЦ по 2 или по 3 выявляет 8 литоциклов 2-го порядка. Таким образом, не только разрезы, но и палеогеографические карты и их сопоставление позволяют обнаруживать ЛЦ следующего порядка. Карты такой детальности могли быть построены благодаря большому количеству скважин, по которым определялся фациальный состав отложений. В каждой точке на карте условным знаком указывалась фацис, формирующаяся при максимуме регрессии (а на другой карте — при максимуме трансгрессии). Затем по всем точкам вырисовывались площади, занятые той или иной фацией с учетом их интер- и экстраполяции, отражающие хотя в какой-то мере и обобщенный, но тем не менее конкретный ландшафт, сопоставимый с ландшафтами современными.

В связи с построением палеогеографических карт неоднократно возникал вопрос о том, не следует ли «снять» влияние последующей тектонической деятельности (тектонические нарушения,

существующую складчатость). Мы считаем, что этого делать не надо, так как, во-первых, точно не доказано, куда надо перемещать отдельные толщи и в какой мере, а во-вторых, и это самое главное, пользуясь картой, показанной выше, мы можем уверенно сказать, какие отложения, в том числе и полезные ископаемые (в данном случае уголь), мы встретим в каждом цикле в любой точке изучаемой территории. Это особенно важно с точки зрения практического использования карт — для определения обстановки осадконакопления и связанных с ней особенностей полезного ископаемого, которое может быть обнаружено там, где оно находится в настоящее время, а не там, где оно было во время его формирования миллионы лет назад. Конечно, это не исключает попыток «снятия» нарушений, «разворачивания» складок и построения палинспастических карт, но цель их иная, связанная с изучением тектонических процессов. Методика их должна рассматриваться в других аспектах, выходящих за рамки нашей работы.

Описанный выше способ построения карт, отражающих палеогеографию цикла, может быть осуществлен при наличии трех обстоятельств: 1) достаточно частая сеть наблюдений; 2) точная корреляция по разрезу того литоцикла, для которого строится карта; 3) сильная изменчивость фаций как во времени, так и в пространстве.

Если же набор фаций довольно разнообразен, то возможен иной подход к определению обстановки (ландшафта) осадконакопления. Например, на Полысаевском месторождении Кузбасса (Ботвинкина, 1953) литоциклы были детально прослежены по разрезам, но при этом выяснилось, что они представлены очень ограниченным набором фаций, близких по месту их формирования (в основном — наземные условия, в меньшей степени — мелководье бассейна). Смена фаций определила четыре фациальных типа ЛЦ: бассейновый, аллювиально-бассейновый, аллювиально-болотный и аллювиальный. В разрезе эти ЛЦ группируются, образуя зоны (снизу вверх): бассейновую, переходную, аллювиально-болотную, аллювиально-бассейновую и аллювиальную.

Таким образом, здесь группа литоциклов одного фациального типа характеризует соответствующий ландшафт в целом, но без детализации его составных частей на карте. Смена группы ЛЦ (зон) показывает эволюцию ландшафта во времени — от прибрежно-бассейновой обстановки до целиком наземной. При этом, как мы показали выше, смена литоциклов одного фациального типа другим выявляет ЛЦ 2-го порядка, последовательность которых указывает на их принадлежность к регрессивной ветви ЛЦ 3-го порядка. Обстановка осадконакопления за все это время в целом может быть охарактеризована как обстановка низовьев речных долин вблизи побережья бассейна, с постепенным уходом последнего с данной территории. Палеогеографические карты для

данного района построены не были, однако рассмотрение большого количества данных по скважинам показало, что речная система представлена серией мелких рек, часто мигрировавших по низкой регулярно заболачивающейся прибрежной суше, с образованием торфяников. Общая направленность изменения обстановки шла в сторону усиливающегося влияния континентальных условий и все большей потери связи данного района с бассейновыми обстановками.

Мы рассмотрели палеогеографические карты, построенные для терригенных угленосных толщ. Такие детальные карты строились и для иных формаций. Так, например, в упоминавшейся выше (см. гл. 2) работе В. П. Сорокина приведен ряд детальных палеогеографических карт (они названы палеогеографическими схемами), отражающих соотношение фациальных обстановок осадконакопления на северо-западе Русской платформы и их изменение в течение различных этапов франского времени (см. рис. 15). Они строились для трансгрессивного и регрессивного этапов развития бассейна. На картах отражено не только соотношение суши и моря, но и характер солености последнего. Последовательное рассмотрение их также показывает унаследованность ландшафта и его направленное периодическое изменение, отражающее циклическое развитие осадконакопления. Фациальная обстановка в основном морская, но автор выделил здесь участки накопления отложений в условиях разной степени солености морских вод.

А. А. Трофимуком и Ю. Н. Карогодиным (1977 б) предложено для литоциклов разных порядков (или их частей), сформированных в нефтеносных отложениях, строить схемы и карты, предшествующие составлению литолого-палеогеографических схем. На них должна быть показана следующая информация: «...морфология кровли и подошвы (в изогипсах), характер изменения мощностей (в изопахитах), литологический состав пород, установленный или предполагаемый возраст и фациальные условия их образования, по возможности — количество и тип более мелких циклокомплексов, слагающих толщу... содержание и тип органического вещества, степень его метаморфизма, тип коллекторов и изменение их свойств, изменение экранирующих свойств и другие данные...» (с. 27—28). Построение таких или иных вспомогательных схем, безусловно, полезно, хотя для отложений каждой формации будет своя специфика. Так, например, коллекторские и экранирующие свойства присущи нефтегазоносным толщам. Фациальные же условия образования — основа именно палеогеографических карт. Но по существу для всех толщ и на этих картах в ряде случаев могут быть показаны некоторые данные предварительных схем (например, изолиниями — содержание органического вещества, или же какие-либо иные показатели, существенные для решения каких-то частных задач).

Мы видим в циклически построенных отложениях тесную связь изменения ландшафта во времени с миграцией его элементов в пространстве. Палеогеографические карты отражают степень детальности исследований. При значительно меньшей детализации материала, даже при сильной изменчивости фациальной обстановки осадконакопления, палеогеографические карты приобретают уже не конкретный, а более или менее схематический облик, где изображается палеогеография не конкретного цикла, а той общей обстановки, в которой они формировались.

При палеогеографических построениях, характеризующих цикличность, следует всегда еще иметь в виду те осложнения, о которых мы говорили, и в особенности — явления расщепления, часто связанные с седиментационной цикличностью. Это вызвало затруднения при построении карт по Донбассу, так как для области расщепления литоцикла приходилось строить уже не одну, а несколько карт, сопряженных с той, где расщепления нет. Такие карты приведены в уже упоминавшейся работе (Жемчужников и др., 1960). Можно сказать, что палеогеографические построения на основе изучения ЛЦ 1-го порядка наиболее близки к определению конкретных ландшафтов прошлого, и чем больший интервал времени соответствует карте, тем больше она теряет связь с цикличностью седиментации и конкретным ландшафтом, приближаясь к обычным палеогеографическим картам, являющимся обобщением и усреднением данных по обстановкам формирования отложений. К примеру, была построена карта расположения основных элементов палеоландшафта, усредненного для всей свиты S_2^6 (по масштабу соответствующая ЛЦ 4-го порядка), где были показаны усредненная береговая линия, основные направления речных долин на суше, а также морских трансгрессий.

Соотношение палеогеографической карты с разрезами для циклически построенной толщи наглядно может быть показано в виде блок-диаграмм, на которых очевидна связь изменения строения литоцикла (или его части) и во времени, и в пространстве (рис. 61). Такие построения интереснее делать для определенных частей литоциклов, заканчивая разрез наиболее разнообразным сочетанием фаций или же теми отложениями, которые нуждаются в параллельном их рассмотрении на площади.

Палеогеографические построения по циклам 1-го порядка наиболее интересны для параличских условий при сильной миграции фаций, смене наземных обстановок прибрежно-морскими, шельфовыми, т. е. при миграционном режиме цикличности. Палеогеографические же карты для ЛЦ мутационного типа (в том числе формирующихся в глубоководных условиях) будут либо слишком обобщенными, либо (если строить для каких-то частей ЛЦ) очень однообразными и невыразительными.

С другой стороны, в областях, постоянно занятых сушей, где

отмечается смена фаций, но только континентальных, наблюдаются частые явления размывов, в большей или меньшей степени уничтожающие предыдущие отложения, в результате чего геологическая летопись становится неполной. Это затрудняет корреляцию литоциклов, а следовательно, и построение палеогеографических карт. Элементы палеогеографии, которые могут быть отражены на картах, различны, в зависимости от характера области осадко-

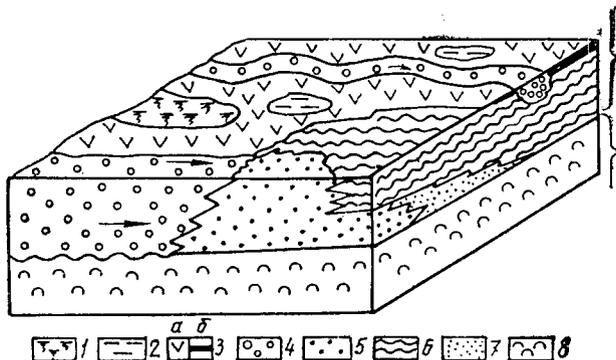


Рис. 61. Блок-диаграмма, показывающая соотношение фаций в разрезах и на площади (скобками справа показаны литоциклы):

1 — торфяное болото; 2 — мелкие пойменные озера; 3 — наземные образования почв и подпочв (*а* — на площади, *б* — в разрезе); отложения: 4 — речные, 5 — речных выносов (подводной части дельты), 6 — лагунные зоны волновой ряби, 7 — кос, прибреговых валов, баров, 8 — морские трансгрессивной части предыдущего цикла.

Стрелками указаны направления речного потока

накопления: суша или море. Вообще при составлении палеогеографических карт их не следует чересчур перегружать, выбирая те показатели, которые наиболее интересны для данного объекта (надо давать основную информацию).

6.6. Вспомогательные методы выявления циклического строения осадочных толщ, основанные на признаках пород

Выявлению цикличности помогают различные исследования, с одной стороны, позволяющие определить фациальную принадлежность отложений, а с другой, подчеркивающие, а иногда и непосредственно выявляющие литоциклы. Эти исследования (и соответствующие методы) определяются основными генетическими признаками пород, а именно: 1) вещественным составом (основной состав пород, примеси, включения) — анализы минералогический, химический, конкреционный и др.; 2) структурой — гранулометрический анализ и его детали; 3) текстурой — текстурный ана-

лиз; 4) биогенной составляющей (определения видового состава и сохранности остатков организмов) — экологический и палеонтологический методы; 5) физическими свойствами пород — геофизические методы (каротаж).

Изменения каждого из указанных признаков прямо или косвенно связываются с цикличностью осадконакопления.

6.6.1. Вещественный состав

Мы уже говорили выше, что «в первой пристрелке» литоциклы часто намечаются уже в полевых условиях по смене пород. Этот признак, пожалуй, был первый, натолкнувший геологов на мысль о циклическом строении осадочных толщ. Закономерные изменения состава пород уточняются при камеральной обработке, с помощью минералогического, химического и других анализов. Конечно, вещественный состав отложения имеет прямую связь с фациальными условиями осадконакопления.

В ряде случаев имеет значение соотношение отдельных компонентов пород. Например, по методике В. П. Казаринова и ряда других исследователей (Опыт изучения..., 1960, с. 11) было предложено для выделения литоциклов использовать коэффициенты разного рода, отражающие соотношение тех или иных минералов: коэффициент терригенности — отношение содержания в осадке алевритовых и более крупных частиц породы к ее общей массе (принятой за 100 %); коэффициент мономинеральности, т. е. отношение устойчивых породообразующих минералов и обломков горных пород (кварца, кварцитов, халцедонов и др.) к неустойчивым (полевые шпаты, амфиболы, слюды и др.); коэффициент выветрелости — отношение кремнезема к глинозему в терригенной алевритово-пелитовой фракции. В составе тяжелой фракции — отношение общего количества минералов, устойчивых к выветриванию, к минералам неустойчивым, что авторы не совсем удачно (по их собственному мнению) назвали палеогеографическим коэффициентом. Впоследствии целый ряд коэффициентов для оценки соотношения минералов тяжелой фракции предложен М. Г. Бергером (1986 и др.) — они названы терригенно-минеральными коэффициентами.

Перечисленные коэффициенты, по существу, отражают изменение общих условий — палеогеографии, климата и тектоники в более крупном масштабе, чем это мы рассматривали для литоциклов низших порядков. Поэтому кривые, построенные по изменению этих коэффициентов для толщ значительной мощности, намечают серии, соответствующие литоциклам более высоких порядков. Каждая осадочная серия рассматривается указанными авторами как производная одной тектонической фазы, которая начинается при интенсивных тектонических напряжениях и заканчивается при

относительном тектоническом покое. Эти ЛЦ соизмеримы с такими стратиграфическими единицами, как ярусы и свиты. В указанной работе приведен ряд примеров с параллельным показом разрезов и кривых различных коэффициентов. Авторы считают, что наиболее простым, дешевым и быстрым методом является определение коэффициента мономинеральности.

На примере условий осадконакопления в девоне и нижнем карбоне в Южно-Минусинской котловине на основании построенных кривых ими намечаются литоциклы, соответствующие ярусам девона, и делается вывод о предполагаемом ходе тектонического развития данного региона. Методика вывода указанных коэффициентов дана в работах В. П. Казаринова, В. И. Бгатова и других исследователей. В. И. Будниковым (1976 и др.) был выделен «коэффициент мористости» по отношению бора к галлию в глинистой фракции пород и прослежено его изменение по разрезу.

Химический анализ играет большую вспомогательную роль при выявлении цикличности в камеральный период обработки материала. Особенное значение он имеет при изучении толщ хемогенных и смешанного состава. В I части данной монографии на некоторых примерах мы показали, как изменение химического состава пород отчетливо выявляет литоциклы разных порядков (в частности, в соленосных толщах). В других случаях могут рассматриваться различные соотношения, например: $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; CaO/MgO ; $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{N}_2\text{O}$ и ряд других, анализ этих коэффициентов содержится в работе Я. Э. Юдовича (1981). Наконец, рассматриваются изменения по разрезу содержания отдельных химических элементов и их соединений (например, K, Ca, FeCO_3 , CaCO_3 , CaO, P_2O_5 и др.).

При выделении литоциклов в хемогенных толщах ведущее значение имеет определение их химического состава, в карбонатных толщах — в первую очередь соотношение кальцита, доломита и ангидрита. Может иметь значение также распределение по разрезу не только основных, но и незначительных концентраций прочих элементов и их соединений, подчеркивающих цикличность (например, цинка, меди, ванадия, стронция и др.).

Какие именно определения необходимы, решается в зависимости от характера объекта и тех задач, которые стоят перед исследователем, особенно в связи с выявлением соотношения какого-либо полезного ископаемого с его местом в литоцикле. Все эти определения, будучи выраженными количественно, являются более или менее объективными и могут подчеркнуть закономерности циклического осадконакопления. Поэтому они играют вспомогательную роль при циклическом анализе.

Следует отметить также значение тех или иных примесей в основной массе породы. Нам известны случаи, когда в мощной толще известняков, казалось бы однородной и монотонной, при ка-

меральной обработке выявление примеси терригенной составляющей и изменение последней позволило установить литоциклы нескольких порядков. В других случаях существенную роль может сыграть выявление роли и места появления глинистого компонента породы.

Изучение примесей имеет существенное значение при мутационном характере седиментации, когда идет непрерывное накопление осадков в неизменной фациальной обстановке, но состав их циклически изменяется дополнительным периодическим поступлением материала извне. Этот процесс может формировать различные элементы разреза — от литоритмов и литоциклов 1-го порядка до значительно более крупных. Некоторые конкретные примеры этого мы рассмотрели выше.

Могут быть случаи, когда при изучении смешанных хемогенно-терригенных толщ периодически изменяются как химический состав отложений, так и количество и размер частиц кластического компонента. В таком случае можно рекомендовать составление двух кривых, из которых одна будет отражать изменение химического состава пород (например, соотношение известняков и доломитов), а другая — изменение поступления и характера терригенного материала. Такие кривые могут дополнять одна другую, но иногда могут и не совпадать. Дело в том, что первая будет отражать периодичность автопроцессов, проходящих непосредственно в данном бассейне седиментации. Вторая же кривая может отразить и процессы, проходящие далеко за его пределами (например, поднятия в области сноса).

Опробование для проведения целеустремленного минералогического и химического анализов при изучении цикличности рекомендуется проводить с отбором образцов по генетическим типам пород. При этом изменения того или иного показателя, с одной стороны, подчеркнут закономерность изменения условий в ходе циклической седиментации в каждом литоцикле. С другой стороны, сравнение показателей для одного и того же генетического типа снизу вверх по разрезу (от цикла к циклу) выявит направленность изменения общих условий седиментации с течением времени и подчеркнет цикличность более высоких порядков.

В некоторых случаях цикличность подчеркивается особенностями конкреций, определяемых в породах. Хотя конкрециеобразование связано с постседиментационными процессами, но оно развивается в тесной зависимости от того, что создавалось на стадии седиментогенеза. Кроме свойств самих конкреций, имеют значение особенности вмещающих слоев, к которым конкреции как бы «приспосабливаются». Поэтому конкреции, особенно раннедиагенетические, могут рассматриваться как элементы литоциклов. В них совмещаются признаки вещества, строения и формы.

В ряде случаев те или иные конкреции формируются в опреде-

ленном месте литоцикла. Например, при изучении фаций в угленосной толще Донбасса был выделен особый литогенетический тип — аргиллит с поясками — цепочками конкреций, формирующийся в условиях открытого моря. Этот тип был в числе завершающих трансгрессивные части ЛЦ 1-го порядка.

А. В. Македонов предложил конкреционный анализ как самостоятельный метод исследования (1966, 1985 и др.), разработанный им на примере толщи Печорского бассейна (История угленакпления..., 1965), а также на основании изучения конкреций в современных осадках. Он показал, что состав конкреций, их строение, количество, размер, форма и размещение в разрезе подчиняются определенным закономерностям. По его мнению, в конкрециях особенно четко проявляются: 1) климатические изменения разного масштаба; 2) основной состав иловых и грунтовых вод и его изменение во времени; 3) состав и энергия органического вещества; 4) характер изменения геохимических условий в течение времени образования конкреций.

Мы видим, что первые три пункта тесно связаны с фаціальными условиями формирования отложений. Конкреции и их характеристика связаны не только с общей ландшафтно-климатической горизонтальной и вертикальной зональностью, но и с различными деталями фаціальной обстановки, вплоть до отличий разных фаций в озере. Таким образом, значение конкреций при проведении фаціального анализа достаточно велико.

Исходя из всего этого понятно, что конкреционный анализ можно рассматривать как вспомогательный метод при изучении цикличности. Но «общим методическим условием применения конкреционного анализа является также более или менее полный сбор конкреций в любом данном литотипе с последующей, достаточно детальной и комплексной классификацией» (Македонов, 1985, с. 105) по методике, предложенной этим автором. Понятно, что данные конкреционного анализа должны рассматриваться совместно с другими признаками вмещающих пород и с иными характерными чертами литоциклов. Кроме того, надо учитывать, что постдиагенетические конкреции будут отражать уже иные закономерности формирования осадочных толщ, вне связи с их седиментационной цикличностью.

В некоторых случаях цикличность выявляется даже таким признаком, как цвет породы, когда он бывает обусловлен ее составом, связанным с фаціальными условиями формирования отложений. Весьма отчетливо разница в цвете проявляется при чередовании темных (глинистых) и светлых (песчаных) пород, как, например, в ленточных глинах. Этот признак часто подчеркивает ритмичность.

Но изменение цвета пород может быть связано и с цикличностью седиментации. Так, например, в меденосной осадочной толще Джезказгана (см. выше) чередование красноцветных и серо-

цветных отложений местами подчеркивало литоциклы. Это определялось формированием тех и других в различных климатических условиях, когда в засушливые периоды накапливались более тонкозернистые красноцветные породы и при этом в континентальных условиях образовывались специфические красноцветные «подпочвы» и «почвы», завершающие регрессивную часть литоциклов. В пермских отложениях Приуралья (Ботвинкина и др., 1963) цвет являлся одним из признаков генетических типов отложений в их закономерном циклическом чередовании.

Мы видим, что цвет в ряде случаев помогает выявлению периодичности осадконакопления уже при полевых работах. Однако пользоваться им надо очень осторожно, внимательно рассмотрев и проверив, действительно ли тот или иной цвет породы связан с определенным первичным осадком и фациальными условиями его формирования.

6.6.2. Структура пород

Гранулометрический состав и соотношение частиц неизменно отмечаются при описании разрезов. Эти признаки, отчетливо видные уже при полевых работах, впоследствии уточняются при камеральной обработке материала, дополняясь, в некоторых случаях, определением, кроме размера частиц, слагающих породу, их сортированности, окатанности и других структурных особенностей.

Легкость определения данных признаков и их изменений, а также возможность внести как бы элемент математизации путем статистической обработки данных побудили ряд исследователей положить изменения размерности пород в основу выявления цикличности при помощи построения гранулометрических кривых и других графических выражений изменений структуры (рис. 62). Но если этот признак в какой-то мере отражает цикличность седиментации в терригенных толщах (причем и здесь далеко не всегда), то в толщах хемогенных, биогенных и смешанного состава он для данной цели непригоден.

Надо заметить, что и отбор проб для гранулометрического анализа часто бывает случайным, через какой-то определенный интервал (2, 5, 10 м и т. д.), причем эти интервалы большей частью ничем не обусловлены и часто выбираются в зависимости от мощности толщи: чем она больше, тем больше и интервалы.

Гранулометрия осадков и ее изменения тесно связаны с характером текстуры (так как они определяются процессами, формирующими осадок). Например, гранулометрический спектр может изменяться в зависимости от места отбора пробы в той или иной части крупной косої слоистости.

Особенно осторожно к использованию этого метода следует подходить при изучении толщ, содержащих аллювиальные отложения.

Как мы уже показали на некоторых примерах, изменение гранулометрии осадков в этих случаях далеко не всегда обуславливается циклическим развитием осадконакопления, а связано с автопроцессами.

Размер и характер частиц, слагающих породу, их сортировка и другие структурные признаки зависят от условий формирования

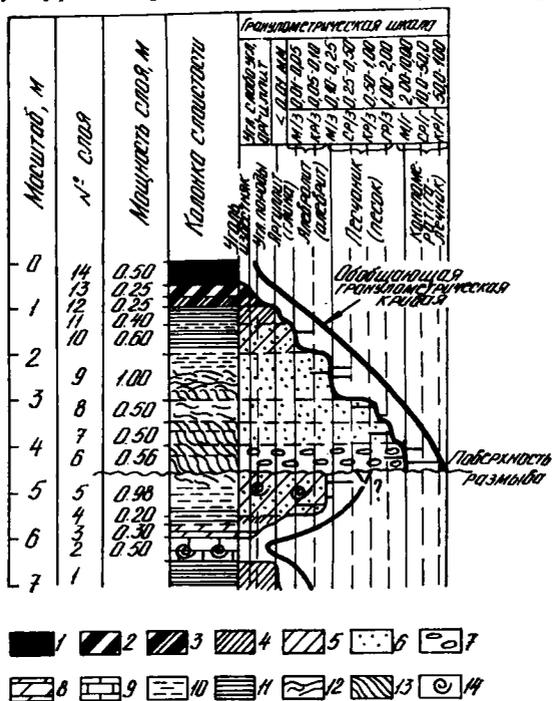


Рис. 62. Пример рельефной колонки (по Г. А. Иванову, 1967) с упрощениями:

породы: 1 — уголь, 2 — углистый аргиллит, 3 — слабоуглистый аргиллит, 4 — аргиллит, 5 — алевролит, 6 — песчаник, 7 — конгломерат, 8 — мергель, 9 — известняк;
слоистость: 10 — отсутствует (неясная), 11 — горизонтальная, 12 — волнистая, 13 — косая; 14 — фауна

осадка. Поэтому структура является одним из основных генетических признаков, вместе с другими, помогающими определению фаций. Таким образом, гранулометрический анализ можно рассматривать как вспомогательный метод для фациального анализа, а через последний и для выявления цикличности.

На более детальном рассмотрении использования структурного признака для выявления цикличности мы остановимся в следующем разделе, в связи с методиками, предложенными Г. А. Ивановым, Ю. Н. Карогодиным и другими исследователями.

6.6.3. Текстура пород

Данный признак является весьма существенным при фациальном анализе отложений, так как первичная текстура отражает механизм их формирования на стадии седиментогенеза. Текстуальный анализ — вспомогательный метод при изучении цикличности отложений. Особенности текстур и их значение при циклическом анализе не одинаковы для осадочных толщ разного состава и происхождения (Ботвинкина, 1978). Так, для терригенных обломочных отложений, которые формируются в разнообразных гидродинамических и аэродинамических условиях, большое значение имеют различные слоистые структуры, особенности которых освещены в специальных работах (Ботвинкина, 1962б; 1965 и др.). Текстуальный анализ должен обязательно рассматриваться параллельно со структурным (определениями гранулометрии, сортировки, окатанности и др.). Выявление же особенностей хемогенных и преимущественно пелитовых толщ, характеризующихся спокойными условиями седиментации, базируется на изучении разновидностей горизонтальной и пологоволнистой слоистости, а также различных неслоистых текстур и текстур нарушения (Ботвинкина, 1970). Выводы при этом обязательно сопоставляются с вещественным составом пород и его изменениями.

Органогенные толщи (карбонатные, кремнистые и др.) имеют свои специфические текстуры, обусловленные не только фациальными обстановками, но и жизнедеятельностью формировавших их организмов. Это большей частью различные текстуры нарушения, рассмотрение которых должно проходить неразрывно с палеонтологическими и экологическими исследованиями. Большое значение при определении границ литоциклов имеют текстуры поверхностей наслоения: трещины усыхания, следы размывов, знаки нагрузки и др., а также следы жизнедеятельности различных организмов (ползания, зарывания и др.).

В ряде случаев первичные текстуры рудоносных слоев помогают найти их место в литоцикле. Косвенное значение могут иметь текстуры, помогающие определить кровлю и подошву слоев в складчатых толщах (Шрок, 1950).

Расчленение разреза на основе преимущественно текстурного анализа показано на рис. 63. В литологической колонке отражается неоднократное переслаивание всего трех пород, разнящихся по гранулометрическому составу: песчаника, алевролита и аргиллита. Вместе с тем в слоях одной и той же породы текстуры различны, как это видно из схематических зарисовок во второй колонке. Они указывают на изменения в гидродинамике среды отложения, что следует из их краткого послыоного описания.

Слой 1 — текстура неясно горизонтально-слоистая, очень однородная, указывает на седиментацию алевролитового осадка в спо-

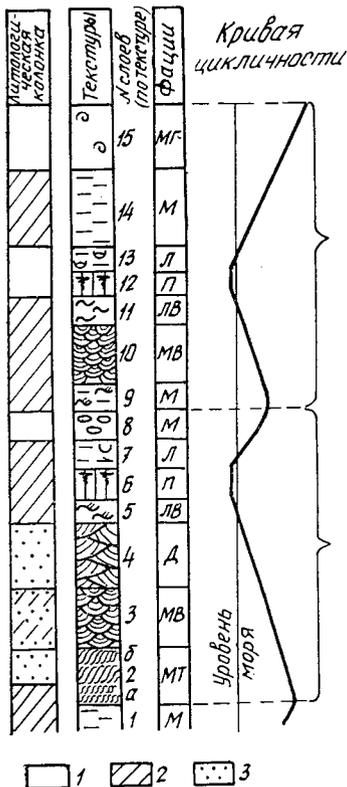


Рис. 63. Пример расчленения разреза и выделения фаций и циклов с учетом текстурного признака (послойное описание текстур дано в тексте, их схематическое изображение — на рис. 64):

породы: 1 — аргиллиты, 2 — алевролиты, 3 — песчаники; фациальные обстановки: М — морские в спокойных условиях, МТ — морские зоны течений, МВ — морские зоны волнений, Д — подводной части дельты, ЛВ — лагунные с рябью волнений и слабых течений, Л — подпочв и почв, Л — лагунные в спокойных условиях, МГ — морские наиболее глубоководные.

Скобками показаны границы литоциклов

слоев. Слой 10 — аналогичен слою 3 (МВ). Слой 11 — слоистость пологоволнистая, местами неясно выраженная, сформированная в условиях волновой ряби крайнего мелководья типа лагунного (ЛВ).

койной, ничем не нарушаемой обстановке, видимо, в морской (М). Слой 2 — слоистость косая, внизу мелкая (а), выше крупная (б), но одной и той же разновидности с S-образной формой слойков. Этот и ряд других признаков указывает на формирование и алевроитового и песчаного осадка в одной и той же зоне морских течений, постепенно усиливающихся (фация МТ). Слой 3 — слоистость волнистая, симметричная, мелкая, образуется в зоне волнений моря (МВ). Слой 4 — крупная косая слоистость, резко перекрестная, все признаки которой указывают на гидродинамику в подводной части дельты (Д). Слой 5 — мелкая косо волнистая неправильная слоистость, образующаяся рябью волнений на лагунном мелководье (ЛВ). Слой 6 — неслоистая комковатая текстура с вертикальными желваковидными сидеритовыми конкрециями; в верхней части слоя — большое количество растительных остатков, в том числе корневых. Это наземные образования: континентальных подпочвы и почвы (П). Слой 7 — слоистость неясная горизонтальная. В породе мелкие растительные остатки — листья и детрит. Это отложения лагуны или залива наступающего моря (Л). Слой 8 — неясно-слоистый аргиллит с поясками — цепочками известковистых конкреций по наслоению. В других местах этот тип отложений содержал редкую морскую фауну. Это отложения трансгрессирующего моря (М). Слой 9 — чередование слоистости горизонтальной, мелкой косой и косо волнистой. Усиление гидродинамики и слабое погрубение породы указывает на начало регрессии моря (МР), что подтверждается последующей сменой

Слой 12 аналогичен слою 6 (П). Слой 13 — тонкая горизонтальная слоистость, в породе редкие остатки лагунной фауны (Л). Слой 14 аналогичен слою 1 (М). Слой 15 — слоистость не отчетлива. Встречены остатки фауны, типичной для более глубоководных морских условий (МТ).

На основании анализа текстур в комплексе с другими признаками в правой, третьей колонке показана смена фаций (даны бук-

слоистость				неслоистые текстуры	
Горизонтальная		неясная (слабость)	по форме слоистости по материалу по материалу и направлению иногда встречается неслойная слоистость		плоскошайные
		прерывистая			вазнутые
		сплошная			вазнуто-выпуклые (S-образные)
		ритмическая			однаправленные
		пачечная			попеременно-разнонаправленные
					перекрестные (без поперечно-направленных)
Волнистая		прерывистая			параллельная
		пологая			смещенная
		параллельная			перекрестная
		смещенная			неясно выраженная
		многообразная (перекрестная)			
Косовая		прерывистая			
		непрерывная			
					комковатая
					пятнистая
					оплывевая
					растрескивающая
					взмучивания
					взламывания
					надрывная (разрывная) (показана живых)
					огибания
					вдавливания

Рис. 64. Примеры некоторых наиболее характерных текстур (слоистых и неслоистых)

венными индексами), выявляющая седиментационные циклы. Смена фаций по разрезу, как мы видим, показывает, что осадконакопление дважды изменялось от морских к наземным и обратно. Направленность изменений и характер литоциклов отражает кривая цикличности, справа от которой скобками показаны границы ЛЦ 1-го порядка. По характеру кривой видно, что нижний ЛЦ явно регрессивного типа с небольшой трансгрессивной частью. Таким образом, они составляют литоцикл следующего 2-го порядка трансгрессивного типа, так как начало его формирования было в более мелководных условиях, а конец — в наиболее глубоководных.

Из рассмотрения этого примера видно, что одинаковые по структуре породы могут формироваться в разных фациальных обстановках, на что указывает их текстура. Так, в данном случае песчаники формировались в трех различных обстановках, алевролиты — в еще более разнообразных. С другой стороны, разные по гранулометрии породы могут иметь один и тот же генезис (например, слои 2 а, 2 б; 3, 10; 6 и 12). Все это необходимо учитывать при выделении литоциклов, определения их типов, а также при корреляции циклически построенных разрезов.

Итак, изучение текстур, в совокупности с другими признаками пород, является основой для выделения элементарных литоциклов (низшего порядка), но не непосредственно, а через фациальный анализ (за исключением некоторых биогенных текстур, которые в ряде случаев указывают на перерыв в осадконакоплении, подчеркивая границы ЛЦ). Кроме того, текстурный анализ помогает типизации литоциклов, как частной (по их фациальной принадлежности), так и общей — по направленности изменения фаций. Таким образом, текстурный анализ является вспомогательным методом при изучении цикличности. Некоторые наиболее характерные текстуры приведены на рис. 64 (более подробно см.: Ботвинкина, 1962б, 1965).

6.6.4. Биогенная часть

Эта составляющая отложений и ее изменение имеют очень большое значение для выявления циклической седиментации и ее особенностей, причем в разных аспектах. Наличие в различных породах остатков той или иной фауны или флоры часто прямо указывает на фациальную обстановку накопления осадка. Этот аспект широко известен всем геологам и пояснений не требует. В данном случае изучение биогенного компонента породы является вспомогательным методом выявления цикличности через фациальный анализ.

Это относится как к определению видового состава в качестве генетического признака, зависящего от фациальной обстановки, так и к выявлению степени сохранности биогенных компонентов (целые формы, раздробленные, детрит и т. д.), что свидетельствует о гидродинамических условиях, характере и дальности их переноса. В литературе приводятся многочисленные примеры такого использования сведений о биосе при циклическом анализе, в зависимости от изменения фациальной обстановки.

В работе П. Даффа и др. (1971) выделяются фаунистические циклы по смене фаунистических комплексов: прогрессивные и регрессивные гемициклы, обусловленные изменением солености вод. В ряде случаев даже названия фаций даются по тем или иным

органическим остаткам. Например, фацции раковинная, плоских водорослей, фузулиновая, биокластическая и т. д. (Дафф и др., 1971, с. 245). Значение имеет не только наличие и состав органических остатков, но и какие именно их части приурочены к определенному месту в литоциклах. В работе М. В. Ошурковой (1981) была выделена цикличность по смене остатков определенных частей растений (см. гл. 2).

В. С. Лучников (1977) по составу фауны, постройкам различных животных и результатам их деятельности определил участки морского дна с разными глубинами: 0—40 м (приливно-отливная зона), 30—100 м (малые глубины) и более 100 м (до 150—200 м). Хорошим показателем глубин осадконакопления являются рифовые известняки (коралловые и водорослевые).

Кроме использования сведений о биогенных компонентах породы, как показателя фациальной обстановки среды отложения, периодическое изменение биогенной составляющей пород, особенно карбонатных и кремнистых, может непосредственно выявить циклическое строение разреза. В работах Д. М. Раузер-Черноусовой (1949, 1953) показана периодическая смена фауны фузулинид в отложения карбона Прикамья, совпадающая с цикличностью осадочного процесса. Ею были подмечены следующие интересные закономерности связи фауны с местом в осадочном цикле: появление новых родов и видов, а также значительно большее их количество приходится на начало цикла или на его первую половину. Вторые половины неизменно характеризуются слабым или отсутствующим видообразованием и объединением по числу родов и видов. Далее она поясняет, что причины такой связи литоциклов и фауны в том, что в начале циклов существовали условия, наиболее благоприятные для видообразования: мелководные разнообразие осадки, усиление динамики водных масс, обновление их химизма и др., в зависимости от усиления тектонических движений в начале циклов. Вторые половины последних характеризуются затуханием тектонических движений, и в связи с этим наблюдается ослабление динамики водных масс, изменение гидрологии водоема, уменьшение органических элементов и питательных веществ, ослабление выносов рек и преобладание продуктов химического выветривания, что создает менее благоприятные условия для развития флоры и фауны. Наилучшие условия для развития фузулинид наступали не с самого начала цикла, а несколько позднее: при очень резких изменениях физико-географических условий этот максимум сдвигался ближе к середине цикла. Такая периодичность существует на фоне общей эволюции развития фауны. Отмечается, что периодичность в развитии фузулинид — процесс необратимый, «неповторяемость» этапов обусловлена непрерывностью эволюции органического мира и на этом основании стадии развития организмов являются более надежной основой для корреляции отло-

жений, чем седиментационные циклы, нередко полностью повторяющие друг друга» (Раузер-Черноусова, 1949, с. 146). На данном примере мы видим возможность использования биогенного компонента для непосредственного выделения биоциклов, совпадающих с литоциклами.

Во многих работах, в частности, в уже упоминавшемся сборнике «Циклическая и событийная седиментация» (1985) приводится ряд примеров цикличности, связанной с изменением экологических условий (т. е. формирование экоциклов). Большой материал по смене экологических условий рассматривается в работах Р. Ф. Геккера (1957 и др.), по биофациальному анализу — в работе Б. П. Марковского (1966) и ряде других руководств.

Костеносные слои, чистые ракушняки и другие остатки фауны, свидетельствующие о многократной переработке и переотложении органических остатков, обычно завершают регрессивную фазу литоцикла (реже — фазу возобновленного переотложения в начале следующего литоцикла). Таким образом, они отмечают верхнюю часть перегиба циклической кривой. Наконец, во многих случаях взаимная связь деятельности животных и формируемых ими биогенных текстур отмечает непосредственно границы литоциклов и, в частности, обусловленные перерывом в осадконакоплении.

Однако говоря о циклическом или ритмическом распределении фаунистических остатков и их положении в разрезе, нельзя забывать и о диагенетических процессах (растворении, уплотнении и т. д.), которые могут иногда создать диагенетическую, а не седиментационную ритмичность в органогенных отложениях (Циклическая и событийная седиментация, 1985, с. 207).

В заключение этого раздела следует упомянуть, что в крупном плане смена фаун во времени (но не изменение тех или иных видов, а вымирание одних форм и появление других) отражает границы очень крупных этапов осадконакопления, на чем, по существу, издавна строилась стратиграфия. Эти этапы отражают крупную цикличность процессов осадконакопления, зависящую от смены глобальных эпох трансгрессий и регрессий, потепления и похолодания климата, орогенических стадий и других причин, формирующих литоциклы высших порядков и одновременно изменяющих характеризующий их состав фауны и флоры.

6.6.5. Физические свойства

Известен целый ряд различных, часто специфических методик изучения физических свойств пород с особенно большой ролью геофизических исследований. Составляя колонку скважины, особенно при малом выходе керна, необходимо привлекать данные

каротажа. Его применение имеет следующие преимущества: исследование пород в их естественном состоянии; получение объективных количественных параметров, практически не зависящих от исследователя; непрерывность данных, характеризующих геологический разрез. Здесь нет необходимости вдаваться в сущность и методику каротажа, отметим лишь, что наилучшие результаты геофизик получает при тесном содружестве с геологом. При интерпретации каротажных данных, в зависимости от сложности геологического строения, разрешающей способности аппаратуры и применения специальных методов, удается выделить различное число петрофизических типов пород, интерпретируемых и геологически. При этом их количество может оказаться больше, чем при обычных геологических работах (Гречухин, 1980 и др.). Помимо повышения детальности литологического расчленения разреза, производится определение различных химических и физических свойств выделяемых петрофизических типов.

Проводя интерпретацию выделенных слоев, следует иметь в виду, что каротажная диаграмма отражает не только состав пород, но и контакты отложений разных фаций. Одним из авторов (Ботвинкина, 1962а) был проанализирован с этой точки зрения фактический материал по 12 буровым скважинам (около 4 тыс. м керна) в Донбассе, и в каждой из них были отмечены пики кривой ПС, появляющиеся при смене фаций. Отмеченную связь подтвердили более 200 случаев, отклонения же были единичны (обычно тогда, когда материала было недостаточно). Наиболее четкие пики появлялись при смене болотных отложений морскими (ведь пики кривой, обусловленной наличием угольного пласта, по существу, тоже указывают на смену болотных отложений бассейновыми). Отмеченные связи проявлялись различно. Так, в одних случаях пик кривой отметил смену фаций среди однородных по составу отложений, например, смену алевролитов болотных алевролитами лагунными. В других же случаях различие вещественного состава пород не выявлялось пиком на кривой ПС, если они формировались в единой фациальной обстановке. Это вполне понятно, так как отложения разнофациальные различаются также и по физическим, и по химическим характеристикам.

Итак, каротажная кривая может помочь уточнению границ раздела фаций, а следовательно, и строения циклов. Более того, в отдельных случаях каротаж может помочь и уточнению фациального состава пород. Так, например, в одном случае песчаник с недостаточно четко выраженными генетическими признаками первоначально был отнесен к аллювию. Однако отсутствие аномалии на кривой ПС на нижнем контакте слоя поставило под сомнение его аллювиальный генезис, сопоставление же с другими разрезами подтвердило, что этот песчаник относится к дельтовым образованиям.

Более подробно этот вопрос рассмотрен в упомянутой статье на материале угленосной толщи в специфической паралической обстановке формирования. Для использования данных каротажа в связи с фаціальным анализом и выделения литоциклов в отложениях иных формаций эти зависимости следует проследить на новом конкретном материале. Надо полагать, что и в других условиях осадконакопления данные каротажных диаграмм могут быть привлечены как вспомогательный метод при проведении и фациального, и циклического анализа, и в этом аспекте его применение сомнений не вызывает.

Естественно, встает вопрос — а можно ли путем применения каротажа непосредственно выделять литоциклы? Этот вопрос стал наиболее актуальным при изучении нефтегазоносных толщ, часто перебуриваемых при малом выходе керна, а иногда и вообще без него.

Интересный материал по отражению цикличности в каротажных кривых приведен в работе В. Н. Деча и Л. Д. Кноринга (1985). Так, на диаграмме ПС они отчетливо показали «ритмы» двух порядков с выделением их трансгрессивных и регрессивных частей (рис. 65). Более крупные «ритмы» 1-го порядка* имеют мощность около 30 м. Полный ритм состоит из четырех ритмов 2-го порядка мощностью около 8 м. Однако, судя по рисунку, каждый из них, в свою очередь, имеет подчиненную, более мелкую ритмичность. С другой стороны, намечается тенденция к выявлению ритма более высшего ранга, чем первый (как его нумеровать по системе указанных авторов — неизвестно).

На кривой ПС мы видим разную периодическую направленность ее изменения, соподчинение построенных периодически повторяющихся единиц и их отчетливо выраженную асимметрию. Отмечено также не только сходство, но и различие ритмов. Таким образом, кривая ПС, видимо, может способствовать выявлению литоциклов и их основных признаков. К сожалению, авторами не показан геологический разрез, который характеризуется указанной кривой. Это не дало возможности сопоставить данные каротажа с геологическими.

Теоретическое обоснование и примеры выделения циклитов** по данным промыслового каротажа преимущественно для Западно-Сибирского региона приводятся в работах Е. А. Гайдебуровой, Ю. Н. Карогодина, С. И. Филиной и др. (Карогодина, Гайдебурова, 1985). В рамках теоретических концепций Ю. Н. Карогодина анализируется чередование выделяемых литологических типов пород, направленность их смены, выделяются циклиты разных ран-

* Сохраняется терминология и порядок ритмов по указанным авторам.

** Терминология сохраняется по указанным авторам.

гов. Но выполняемый анализ, как об этом говорят сами авторы, достаточно «тонок» и, по нашему мнению, довольно субъективен.

А. В. Никишин и В. И. Никишин предлагают трансформировать реальные каротажные кривые путем их сглаживания с различными размерами скользящего окна и по разности кривых анализировать

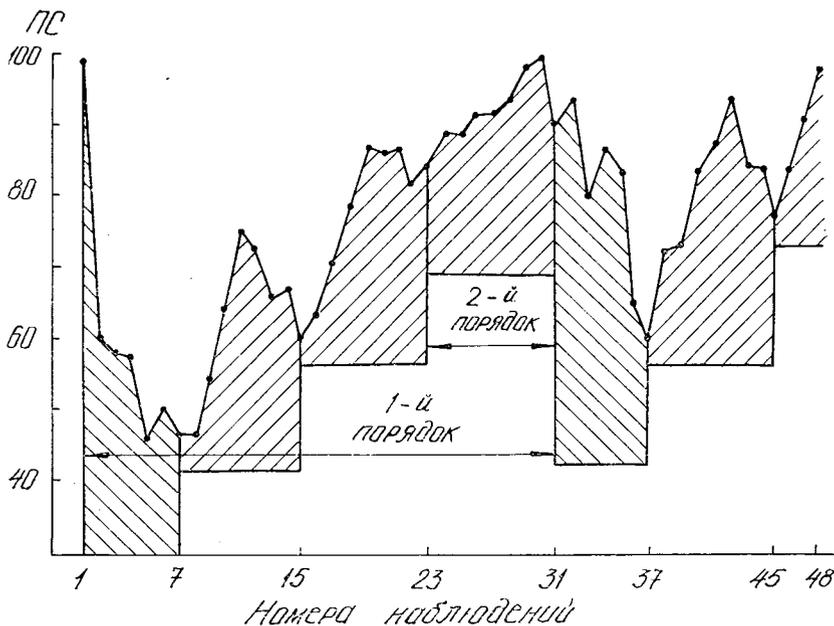


Рис. 65. Выделение ритмов 1-го и 2-го порядка на диаграмме ПС
(по В. Дечу и Л. Кнорингу, 1985).

Разной штриховкой показаны трансгрессивные и регрессивные части ритмов 1-го порядка

цикличность разного порядка. При этом предварительный учет реальных закономерностей строения разреза позволяет получить совершенно конкретные данные. Привлекает положение авторов о том, что «Различные фациальные изменения... влияют на величину и расположение экстремумов на осредненных электрокаротажных кривых, не влияя на характерные ритмичные колебания значений на диаграммах...» (Математические методы..., 1984, с. 78).

Таким образом, мы видим, что в настоящее время ведется интенсивная работа по применению каротажа для выделения литоциклов, но она еще далека от завершения. Давать какие-либо конкретные рекомендации, кроме указанного выше использования каротажа, авторы пока не решаются.

6.7. Математические методы изучения литоциклов

В общем виде для процесса математизации любой отрасли знаний можно выделить три этапа: 1) количественная обработка экспериментальных данных; 2) моделирование; 3) создание полной математической теории (Вистелиус, 1980).

В настоящее время в геологии ведется интенсивная реализация второго этапа, однако до полного освоения вопросов моделирования сложных, многовероятностных событий, протекавших длительное время и в настоящий момент запечатленных в горных породах — «немых свидетелях прошлого» — еще очень далеко. Осуществление же третьего этапа, по мнению многих исследователей, в геологии вообще вряд ли возможно.

Постоянное усиление внимания геологов к математическим методам реализуется и при изучении периодичности геологических процессов. Кроме целого ряда отдельных работ и статей, данные такого рода сосредоточены в трудах Новосибирского совещания 1975 г., а также являются предметом широкого обсуждения на регулярно проводимых конференциях «Математические методы анализа цикличности в геологии» (1984, 1986 и др.). Не ставя целью исчерпывающее освещение проблемы, остановимся на отдельных примерах использования математического аппарата при анализе цикличности.

В принципе, практически всегда, говоря о цикличности, мы используем те или иные числовые характеристики — для оценки мощности литоцикла, соотношения его трансгрессивной и регрессивной частей и т. д. Хороший пример использования количественных показателей при изучении цикличности содержится в работах М. И. Ритенберг. Ею в результате исследования угленосных отложений разных бассейнов высказано и практически подтверждено предположение о том, что отношения мощностей соседних циклов, угля, заключенного в цикле, регрессивных и трансгрессивных осадков цикла следуют числовому ряду $1,5^n$, где $n=0, 1, 2, 3 \dots$, при этом со значениями членов ряда совпадает 60—80 % цифр отношений. Такая же закономерность установлена ею в Донецком бассейне и для изменений перечисленных характеристик по площади, что позволило обосновать закономерный характер колебательных движений периода осадко- и торфонакопления (Периодические процессы в геологии, 1976 и др.).

Вполне естественно, что уже с самого начала изучения цикличности ее пытались изобразить графически, в виде синусоидальных кривых. Связывая происхождение цикличности с колебательными движениями земной коры, многие исследователи предлагали схемы и графики, отражающие периоды и амплитуды поднятий и опусканий разного масштаба. Кинематический анализ кривых подобного рода выполнен Г. А. Ивановым, в работе которого

(1967) приводится математическое описание гармоничных кривых и их прекрасная графическая иллюстрация (на примере угленосных отложений).

На рис. 66, *а* показан пример кинематического анализа колебательных движений на фоне однонаправленного погружения (прямая линия) с постоянной скоростью V и мелкое гармоническое

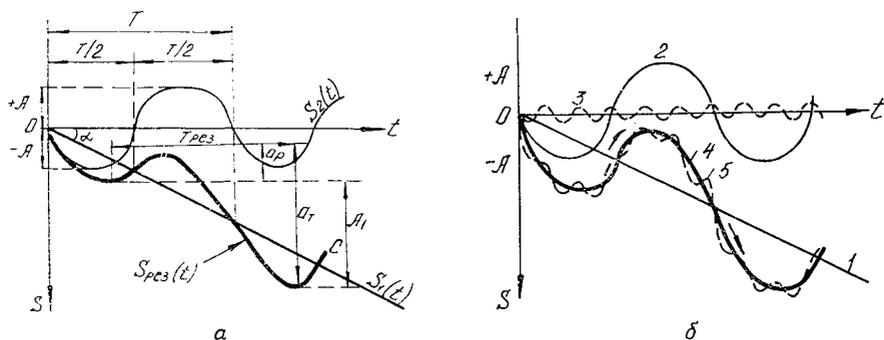


Рис. 66. Кинематический анализ колебательных движений волнового характера (по Г. А. Иванову, 1967):

а — кривые колебательного движения; *б* — наложение (суперпозиция) кривых двух порядков.

Объяснение в тексте

колебательное движение в виде синусоиды $S_2(t)$ с амплитудой A и периодом T . Сложение обоих движений дает результирующее колебательное движение в виде кривой $S_{рез}(t)$.

При этом путь S , проходимый некоторой условной точкой за одно колебание под влиянием только направленного погружения, определяется как $S_1 = Vt$, откуда $V = S_1/t = \text{tg } \alpha$.

Движение под влиянием только гармонического колебания $S_2 = A \sin(2\pi/T)t$.

Результирующее движение по линии OC определяется зависмостью: $S_{рез} = Vt + A \sin(2\pi/T)t$, а скорость движения точки графика функции $S_{рез}(t)$ равняется: $V_{рез} = V + A(2\pi/T) \cos(2\pi/T)t$, где последний член изменяет свой знак в различные фазы движения (при поднятии и опускании).

На рис. 66, *б* показан характер сочетания колебательных движений разного порядка (2, 3), с формированием результирующей кривой 5 на фоне однонаправленного опускания 1 ложа седиментации. Детально разобрав схему результирующего колебания при постоянных параметрах слагающих движений, в дальнейшем Г. А. Иванов рассмотрел различные случаи анализа периодичности при меняющихся параметрах.

Итак, анализируя периодичность в геологических процессах, мы практически всегда, следуя идеям теории колебаний, приходим к рассмотрению гармонических (синусоидальных) функций. Среди обширного арсенала собственно математических методов их анализа наиболее широко применяется спектральный анализ с рядом его модификаций. Весьма важно при этом, какой именно показатель подвергается рассмотрению. Наиболее простой путь — кодирование изучаемых пород в порядке возрастания (убывания) какого-либо признака: почти всегда это размерность слагающих породы частиц, т. е. гранулометрический состав. Пожалуй, наилучший способ прямого кодирования предложен И. А. Одесским (1972): известняк — 3, глина — 6, алевролитистая глина — 9, ..., конгломерат — 45. Предлагаются и некоторые «синтетические» показатели. Например, М. А. Левчуком (1985) использована величина Z — суммарная зернистость породы, определяемая следующим образом: $Z = (d_1 - d_0)S_1 + (d_2 - d_1)S_2 + \dots + (d_n - d_{n-1})S_n$, где d_1, d_2, \dots, d_n — размеры зерен (по фракциям), S_1, S_2, \dots, S_n — их процентное или весовое содержание, при условиях: $d_1 < d_2 < \dots < d_n$, а $S_1 + S_2 + \dots + S_n = 100\%$.

Однако при разных подходах в данном анализе всегда используется какой-либо один (пусть и синтетический) показатель, далеко не учитывающий все многообразие природных факторов.

При выражении периодической функции в виде синусоиды структура природной кривой будет определяться суперпозицией (наложением) нескольких синусоидальных колебаний, обычно разного порядка (см. рис. 66, б). В. Н. Дечем и Л. Д. Кнорингом (1985) определено, что запись результата полигармонического процесса, отображающего структуру природной кривой (при наложении синусоидальных колебаний), имеет вид:

$$Y(t) = A_0 + \sum_{j=1}^m A_j \cos [(2\pi/T)t - \varphi_j] + a(t),$$

где A_0 — постоянный член, около которого происходит вариация исходной зависимости $V(t)$; A_j — амплитуда j -й гармоники; φ_j — фазовый сдвиг; m — число гармоник; $a(t)$ — случайная функция.

Как видно, два первых члена формулы представляют строго детерминированные кривые, а последний — тот «случайный» элемент, который и формирует все многообразие природных процессов. Из этого следует несколько выводов.

Прежде всего, подобный подход может быть рекомендован только для анализа сугубо гармонических процессов, например, ритмов флишевых формаций, некоторых карбонатных толщ и, в основном, для тех участков разреза, которые минимально осложнены случайными компонентами. Наиболее успешно он может быть применен для анализа фактических (эмпирических) кривых,

например, каротажных диаграмм, на предмет выявления повторений в них участков одинаковой конфигурации (см. предыдущий раздел).

Одной из лучших работ такого рода является, на наш взгляд, «Математические методы исследования седиментационной цикличности» (1985). В целом же, учитывая большие трудности «поверки гармонии алгебр» и достаточно сложный (по крайней мере,

Таблица 17

Корреляционная матрица признаков
(скв. 175, Улугхемский бассейн)

Признак*	s_6	s_5	s_4	s_3	s_2	s_1
s_1	0,049	-0,736	-0,168	0,845	-0,511	1,000
s_2	0,518	0,141	-0,109	-0,447	1,000	
s_3	0,049	-0,644	-0,114	1,000		
s_4	-0,308	0,483	1,000			
s_5	-0,316	1,000				
s_6	1,000					

* См. следующую таблицу.

для большинства геологов) математический аппарат, применяемый в данных работах, приходится констатировать, что внедрение этих методов в широкую практику является делом достаточно отдаленного будущего. Еще раз подчеркнем, что объясняется это в первую очередь «замаскированностью» периодичности геологических процессов значительным числом компонент, имеющих случайный (в строгом математическом смысле) характер.

На этом «фоне» предпочтительным выглядит применение методов многомерной статистики: вычисление коэффициентов парной линейной корреляции между признаками, факторный анализ и пр. Приведем конкретный пример для детально изученной скв. 175, вскрывшей среднеюрские угленосные отложения в южной части Улугхемского бассейна. На 620 м глубины выделено 640 слоев, установленные признаки закодированы по возрастанию или убыванию соответствующих параметров. Определены зависимости между признаками — табл. 17. При этом имеется в виду, что «значимая» связь определяется при уровне 0,01 (т. е. когда в 99 случаях из 100 будет получаться именно такой, положительный или отрицательный результат).

Как видно из таблицы, большая часть анализируемых признаков весьма тесно взаимосвязана между собой, что количественно подтверждает высказанные в предыдущем разделе положения —

например, о наибольшей тесноте связи между гранулометрическим составом отложений (признак s_1) и текстурой (s_3) и т. д.

Таким образом, анализ корреляционных матриц дает ценную информацию для содержательной оценки причинно-следственных отношений между отдельными признаками. Количественное же описание структуры изменчивости всей системы дает факторный

Таблица 18

Матрица факторных нагрузок
(скв. 175, Улугхемский бассейн)

Признак	Метризуемый параметр	Индекс	Фактор	
			F_1	F_2
Гранулометрический состав	Средний размер частиц	s_1	0,94	-0,13
Сортированность материала	Соотношение фракций	s_2	-0,50	0,74
Текстура (слоистость)	Интенсивность гидродинамики	s_3	0,89	-0,14
Растительные остатки	Степень сохранности	s_4	-0,36	-0,60
	Количество	s_5	-0,84	-0,34
Условия формирования	Удаленность от области сноса (от пролювия до открытой части бассейна)	s_6	0,12	0,85
Вклад			46,85	29,74

анализ. Вычисляемые факторы (главные компоненты) — это собственные векторы корреляционной матрицы, некоррелируемые между собой, т. е. некоторые независимые величины, сформированные воздействием на систему извне.

В табл. 18 приводятся вычисленные для той же скв. 175 факторы; остановимся на первых двух, охватывающих более 75 % изменчивости (дисперсии) всей анализируемой системы. Первый фактор обуславливает изменение размерности породы, тип слоистости и изменения количества органического материала, второй — изменение сортированности, степени сохранности органики и удаленность от области сноса. Содержательной интерпретацией смысла полученных безразмерных факторов определим первый как гидродинамический (потоковый), а второй — как фактор дифференциации материала в волноприбойной зоне.

На рис. 67 приведено несколько кривых, характеризующих изменчивость различных показателей для одного участка (интерва-

ла) скв. 175: гранулометрического состава (а), фациального состава (б) и факторов F_1 (в) и F_2 (г).

Из этих данных прежде всего следует удивительно согласованный характер изменений всех, столь различных показателей. С одной стороны, этого и нужно было ожидать, поскольку фактор F_1

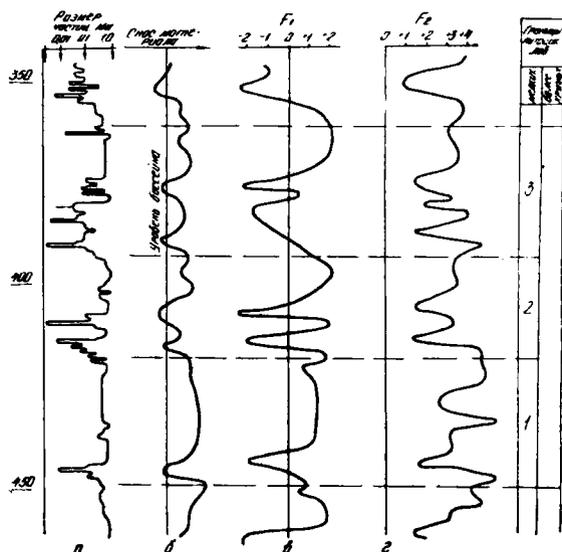


Рис. 67. Применение факторного анализа к изучению цикличности — скв. 175 Улугхемского угольного бассейна.

Объяснение в тексте

(кривая в) во многом обусловлен изменением размерности материала (кривая а), фактор F_2 (кривая г) зависит от условий формирования (кривая б) (см. табл. 17, 18) и т. д. Однако факторизацией исходных данных учитывался широкий комплекс исходных признаков, и поэтому налицо более полное совпадение кривых в и г с фациальной кривой б, нежели с гранулометрической а, особенно ярко это видно в самой верхней и нижней частях интервала скважины. Это еще раз подчеркивает важность генетического подхода к изучению цикличности.

Остановимся на ответе на один, неизбежно возникающий вопрос: зачем использовать математические методы, если периодичность нередко выявляется «визуально», при традиционных геологических исследованиях? Ответ, по-видимому, будет таков.

1. Применяя математические методы, мы получаем возможность количественно характеризовать изменчивость признаков, их мерность и т. д.

2. Становится возможным упорядочить (регуляризовать) первоначально хаотическое чередование признаков или их комплексов и однозначно выявить общее, закономерное.

3. Получаемые результирующие характеристики могут, в свою очередь, содержательно интерпретироваться уже на более высоком уровне познания. Примеров тому у одного из авторов скопилось достаточно много (Алексеев, 1981; Алексеев, Князев, 1983; Алексеев, Коростелева, 1985 и др.), но их анализ явно выходит за рамки раздела.

Еще больший эффект для изучения процессов осадконакопления — яркого примера реализации динамических вероятностных моделей — дает метод марковских цепей. Известно, что марковским является процесс, для которого вероятность находиться в данном состоянии в данный момент времени зависит от непосредственно предшествующего состояния (состояний). При этом, «...если событие *A* влияет на событие *B*, то вероятность появления события *B* при условии, что до него произошло событие *A*, назовем вероятностью перехода...» (Вистелиус, 1947). Не вдаваясь в обсуждение самого метода, приведем интересный результат его применения (Мизутани, Миура, 1978).

Для миоценовой формации Куними (центральная Япония) мощностью около 700 м было выделено 943 слоя. Взята цепь из 126 слоев, сдвигаемая снизу вверх по разрезу на один шаг (слой), с вычислением критерия соответствия марковскому процессу. Результаты пересчета по 6 состояниям показали соответствие марковскому свойству всего разреза (рис. 68). При исключении состояния «граница» из разреза вычленился интервал *A*, как не соответствующий марковскому. При исключении же состояния «туф» определилось еще 4 таких интервала — *B*. Тем самым определено три типа последовательностей: *A* — с независимыми состояниями, *B* — имеющие марковские свойства, если в расчеты взяты пирокластические отложения, и *B* — сохраняющие их, даже если пирокластические слои из разреза исключены. В соответствии с изложенным, авторами определена природа цикличности, как это и показано на рис. 68.

В заключение, констатируя бесспорный интерес к применению математических методов в изучении цикличности и определенные успехи в этой области, заметим, что использование того или иного метода должно предваряться выяснением необходимости такого анализа, так как в ряде случаев цикличность хорошо устанавливается и эмпирически. Видимо, для достаточно просто построенных толщ целесообразен математический анализ закономерностей чередования слоев или отдельных признаков по отдельным выработкам (разрезам) для получения эталонов с количественными характеристиками (аналогично параметрическим скважинам на нефтяном бурении). Для ритмически построенных толщ целесообразно при-

менение различных видов гармонического анализа, а для изучения циклического чередования пород — аппарата факторного анализа и марковских процессов.

В целом же выразим солидарность с известным английским геологом Э. Хэллемом (1983), считающим, что применение совре-

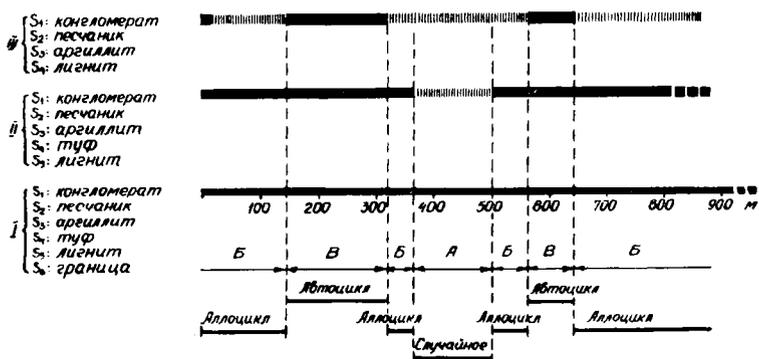


Рис. 68. Циклическая природа миоценовой формации Куними (по С. Мизутани и С. Миура, 1978).

Зачернены интервалы соответствия марковскому свойству

менных математических методов может дать ценные результаты, если вопрос тщательно продуман и работа основана на хорошем знании изучаемого материала.

6.8. Некоторые замечания по индексации и оформлению графики

В вопросах обработки и изображения информации (в том числе генетической) в геологии царит невероятный разноречивый. Не задаваясь целью устранить его, приведем ряд соображений, направленных на унификацию выполняемых приемов в практическом отношении.

6.8.1. Об индексации литогенетических типов и фаций

После установления фаций и литогенетических типов для краткости в тексте и графике удобно ввести их индексацию. При этом фациям лучше давать буквенные обозначения, исходя, по мере возможности, из их полных названий. Литогенетическим типам (ЛГТ) проще давать цифровые обозначения с указанием принадлежности их к той или иной фации (в каждой фации набор ЛГТ в среднем

около трех и обычно их количество не превышает максимум пяти — шести в одной фации).

К примеру, имеется группа отложений, сформированных в речной долине — аллювий (А). В них выделяются фации русла (Р) и поймы (П). Следовательно, фация русловых осадков получает индекс АР, пойменных — АП. Русловые отложения слагают три литогенетических типа, которые представлены: 1) несортированными гравелитами; разнородными песчаниками с крупной косякой слоистостью; среднеродными песчаниками с мелкой косякой слоистостью.

Эти ЛГТ получают соответственно обозначения АР-1, АР-2 и АР-3. Часто в индексах фаций целесообразно отразить, какими породами она преимущественно представлена. Например: фация морских глинистых осадков — МГ, фация морских песчаных осадков — МП. В других случаях для фации более характерно не только какими породами она представлена, но и степень удаленности от берега моря данной фациальной обстановки. При этом возможна тройная буквенная индексация: фация известняков, сформировавшаяся в прибрежной зоне моря — МПИ, а в зоне, удаленной от берега — МУИ. Первая буква здесь обозначает общую морскую обстановку (М), вторая — ее деталь (близость к берегу) — П или У, третья — породу, которой представлена данная фация — И. Более трех букв вводить в индекс не рекомендуется во избежание большого усложнения.

Вообще желательно выдерживать следующую установку: первая буква (или первые две) отражает фациальную обстановку, последняя — породу. С этой точки зрения приведенным выше фациям речной долины следовало бы дать индексы: РРП (речные русловые песчаники) и РПП (речные пойменные песчаники). Однако жестко выдерживать этот принцип удастся далеко не всегда, иногда приходится им жертвовать ради более запоминающихся индексов (АРП и АПП).

Индексация литогенетических типов и фаций привлекает своей краткостью. Поэтому когда они уже выделены, у исследователя возникает искушение для ускорения описания следующих разрезов описывать его не подробно, а индексами. Но этого делать нельзя. Во-первых, описание разреза — это основной документ, и он должен наиболее объективно отражать фактический материал. Во-вторых, природа весьма разнообразна и признаки тех или иных отложений могут изменяться от разреза к разрезу. Разные площади и районы, разные горизонты и свиты имеют свою специфику. Породы в одном цикле могут быть похожи и не похожи на уже установленный литогенетический тип и фацию. Это повлечет либо необходимость различных оговорок, что не менее трудоемко, чем обычное полное описание, либо «подгонку» нового объекта под уже установленный тип, что, безусловно, вредно.

Кроме того, ЛГТ, определенный в поле, зачастую получает дополнительную характеристику в результате камеральной обработки (особенно породы биогенные и хемогенные). «Индексированная запись» разреза, без перечисления признаков породы, сразу отмечает возможность уточнения ее полевого определения. Такое описание также затрудняет использование этого материала другими исследователями.

Наконец, нельзя забывать, что кроме фациального и циклического анализа, описание пород преследует и многие другие цели, в связи с чем необходимо отмечать не только первичные генетические признаки, но и многие вторичные (трещиноватость, кливаж, цементацию, степень выветривания и ряд других). Это тем более важно, что вторичные процессы по-разному проявляются в отложениях разного генезиса, так как «ложатся» на то, что было подготовлено в стадии седиментации. Кроме того, специфические особенности, новые черты типов и даже новые черты и фации могут встретиться на вновь исследуемом участке в отложениях, даже, казалось бы, аналогичных уже изученным вследствие многообразия фациальных обстановок. Более подробно этот вопрос разобран в работе Л. Н. Ботвинкиной (1959 б).

Конечно, на определенной стадии достаточно детальной изученности отложений и при их малой изменчивости можно не повторять перечень всех признаков, а ограничиваться указанием ЛГТ, что само уже определяет ряд признаков, но и при этом все же обязательно следует указывать основные данные — название породы, структуру, тип слоистости, характер включений, особенно органических остатков, которые могли быть не обнаружены в данном ЛГТ ранее в другом месте. Необходимо отмечать и все вторичные признаки, видимые в данном объекте, которые не входят в описание литогенетического типа.

«Кодовую» запись можно использовать позже, при камеральной обработке с применением математических методов.

6.8.2. Составление легенды

Легенда составляется преимущественно для трех колонок: литологической, литогенетических типов и фациальной.

Прежде всего необходимо подчеркнуть, что любая легенда — это своеобразное графическое выражение классификации данного объекта, и в связи с этим должна отвечать основным принципам построения последней, законам формальной логики.

1. Любой элемент легенды должен иметь знак, указывающий на его связь с элементом, которому он подчинен.

2. Сходные знаки графически отмечают сходство отложений, различные — их различие.

3. Нельзя давать один и тот же знак и целому и его части (например, фации и литогенетическому типу).

С другой стороны, с точки зрения легкости восприятия и запоминания полезно в используемых знаках отражать какой-либо вещественный признак данного типа или фации — обстоятельство, давно уже используемое для обозначения пород (песчаник — точки, известняк — «кирпичики» и т. д.). Иногда это может быть схематическое изображение текстуры (косая или горизонтальная штриховка), иногда — значки фауны или включений и т. д.

Слои, имеющие наиболее важное значение, особенно слои полезных ископаемых — угольные пласты, рудные слои и др., пепловые горизонты, выдержанные пласты известняков и т. п., должны резко выделяться на чертеже (например, показаны особым цветом или жирными линиями). Вообще, для лучшей читабельности графики условные обозначения должны быть контрастны. Особенно должны контрастировать знаки соседствующих ЛГТ и фаций. Контрастность достигается толщиной линий, сменой штриховых обозначений значками на белом фоне и т. д. Очень плохо читается и запоминается легенда, состоящая из штриховых знаков одинаковой толщины, отличающихся только направлением штриховки. Можно рекомендовать для фаций регрессивного ряда принять штриховые условные знаки, а для фаций ряда трансгрессивного — белый фон с различными значками. Тогда циклическое строение еще более легко улавливается на графике.

Выполнение всех указанных требований к составленной легенде облегчает пользование конкретным материалом не только автором, но и любым исследователем. Кроме того, соблюдение указанных правил помогает при переходе к обобщению и выделению литоциклов разных порядков, так как графически подчеркивает циклическую повторяемость литогенетических типов и фаций.

Некоторые примеры составления легенды для единиц разного ранга приведены на рис. 69, где слева показаны знаки единиц разреза более общих (например, группы фаций и их индексы), а справа — единиц, им подчиненных, более дробных (например, фаций). Выбор знаков тех и других возможен по разным принципам.

1. Совмещение условных знаков более дробных единиц в знаке для единицы, их обобщающей. Это удобно при относительно небольшом числе первых (не более трех). При большем же их количестве обобщающий знак получится очень перегруженным и плохим для зрительного восприятия.

2. Наиболее удобно, когда, наоборот, к знаку более общей единицы добавляются разные дополнительные знаки, помогающие отличать подчиненные ей более дробные единицы. Эти добавочные знаки могут отражать гранулометрический состав, указывать на присутствие разных органических остатков или штрихами схематически показывать основную текстуру отложений данной фации.

3. Можно показывать обобщающую единицу разреза и единицы, ей подчиненные, сходными знаками, различающимися лишь размером и (или) жирностью линий. Но при применении этой системы надо очень точно соблюдать и размеры, и жирность знаков.

В работе можно использовать одновременно все три принципа изображения, но с учетом правил логики, о которых мы говорили выше.

При составлении колонок очень удобно и наглядно составить цветную легенду ЛГТ и фаций с учетом всех изложенных выше требований. Можно рекомендовать выбрать определенные цвета для групп отложений, а затем их варьировать. Например, все морские фации лучше красить разными знаками синего и голубого цветов. Фации, близкие к суше, можно дать лиловыми. Среди наземных фаций аллювий хорошо дать красным, а соседствующие с ним — резко иного цвета (например, в угленосных толщах болотные отложения — зелеными) и т. д.

В других случаях, при рассмотрении только морских фаций, разными цветами можно показать соленость. Например, в работе В. С. Сорокина (1978) варианты морской солености показаны оттенками голубого цвета, пониженной — зелеными, повышенной — розовыми. Краска, нанесенная на обозначения пород, наглядно подчеркивает периодическую их повторяемость.

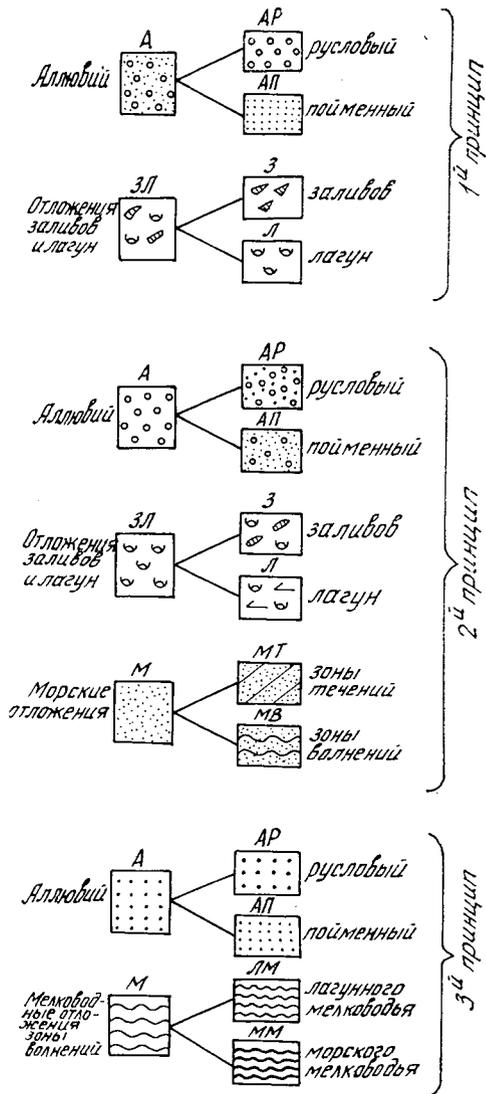


Рис. 69. Примеры разных принципов составления легенды для более крупных и подчиненных им более мелких единиц разреза. Объяснение в тексте

Иногда граничащие фации можно дать переходным цветом. Так, например, если аллювий красный, а лагунные отложения желтые, то отложения дельты, впадающей в лагуну, можно дать оранжевым цветом, подчеркнув этим ее связь и с рекой и с лагуной. Тот же принцип возможен и для штриховых обозначений.

Цветовая легенда кроме наглядности ускоряет работу, так как закрасить карандашом участок колонки быстрее, чем ее штриховать. При окончательном оформлении материала для сдачи его в виде отчета или печатной работы цветовую легенду в случае необходимости легко перевести в штриховую при перечерчивании (опять-таки с учетом указанных требований). В лучшем же случае сохранение цветовой легенды и в печатной работе (а тем более в отчете) очень помогает при использовании этого материала в дальнейшем. Примеры этого приведены в ряде работ (Жемчужников и др., 1960; Сорокин, 1978).

Для текстурной колонки лучше выбрать условные обозначения, отражающие характер текстуры. Некоторые примеры различных условных обозначений даны выше, на рис. 53, 64 и др.

6.8.3. Изображение литоциклов разных типов и рангов и их индексация

Выше мы показали, что основная графика, характеризующая седиментационную цикличность, это: 1) колонки, на которых показаны разрезы в одной точке с сопутствующими характеристиками в виде кривых и дополнительных колонок; 2) фациальные разрезы, составленные по колонкам и отражающие латеральные изменения циклов; 3) палеогеографические карты, показывающие изменения ЛЦ на площади; 4) блок-диаграммы.

Границы цикличности можно показывать скобками или линиями, а их характер кривыми, которые индивидуальны для каждого конкретного объекта. При этом, указывая трансгрессивный или регрессивный тип развития, надо всегда наиболее глубоководные и мористые отложения показывать внизу, а близость к суше, аридность и др.—вверху, что зрительно связывается с погружением или поднятием области седиментации. Есть примеры, когда в работах трансгрессия показана кривой, направленной вверх, а регрессия — вниз. Это неверно по существу и плохо воспринимается. Кроме того, возможно схематическое графическое изображение типов ЛЦ, их подтипов и разновидностей, которое приводится во II части работы в разделе о классификации литоциклов.

Наиболее просто литоциклы разных порядков отмечаются лишь указанием их границ, но в тексте исследователь неизбежно вынужден их как-то сокращенно обозначать, таким образом, мы приходим к индексации литоциклов. В этом вопросе до сих пор существ-

вует большой разницей и нет единого подхода. Пока можно лишь отметить возможности их обозначения, приведенные в гл. 3.

Мы считаем, что индексацию следует применять для ЛЦ разных составов, строения и порядка, причем она должна быть наиболее простой и легко запоминающейся. Схематическое изображение кривыми отражает общую направленность изменения фаций и характеризует тип ЛЦ и его строение. Что же касается состава (литологического и фациального), то он очевиден из соответствующих колонок (или указывается в тексте) и в индексации не нуждается.

Однако если все же возникает необходимость, то фациальный тип ЛЦ можно характеризовать по первым буквам его начала и конца (аналогично индексации фаций). Например: литоцикл аллювиально-болотный — ЛЦ А — Б; литоцикл лагунно-морской — ЛЦ Л — М и т. п.

Собранный материал по циклически и ритмически построенным разрезам можно, кроме чертежей колонок, иллюстрировать и зарисовками конкретных примеров как целых ЛЦ, так и их характерных деталей строения, а также фотографировать. Последнее возможно в том случае, когда литоциклы достаточно хорошо видны в обнажениях (хотя можно и фотодокументировать керн скважин). Что же касается ритмичности, то она может быть хорошо показана фотографиями отдельных образцов (особенно «ритмитов»). Фото лучше делать с шлифованных образцов.

6.8.4. Рельефные колонки

При построении колонок давно применяется их рельефное изображение, очень распространенное в целом ряде работ. Методика построения проста: выбирается определенная шкала по горизонтали, и каждый породный слой изображается шириной, соответствующей делению шкалы (см. рис. 62). Наиболее часто это применяется для терригенных отложений, а также для известняков.

Данный способ хорош своей наглядностью, но он применим в основном для толщ одного генезиса: терригенных, карбонатных, солей и др., для которых может быть построена единая шкала (например, для терригенных — шкала гранулометрического состава, для известняков — либо содержание определенной фауны, либо изменения их химического состава, для солей — смена их разного состава и т. д.). Полученная кривая показывает характер изменения пород по разрезу и подчеркивает направленность этого изменения. Таким образом, она помогает выявлять цикличность.

Однако для толщ смешанного состава (например, терригенно-карбонатных, хемогенно-биогенных и др. построение такой рельефной колонки затруднено тем, что для каждого компонента должна

быть своя шкала, отражающая его особенность. Наиболее часто при этом хомогенный или биогенный компонент изображается лишь одним делением шкалы, что сразу обедняет выводы, которые могут быть получены от анализа его признаков. Наконец, при частом чередовании слоев разного состава рельефная колонка будет выглядеть как «пила».

Построение рельефных колонок не исключает, а дополняет обычные, которые составляются еще в полевых условиях*. Рельефная же колонка — это результат не только анализа, но и синтеза, определения той градации пород, которая устанавливается окончательно уже в камеральный период. Кроме того, надо сказать, что такие колонки и более трудоемкие. В некоторых работах рельефная колонка строится без точной шкалы, а лишь как рисунок, подчеркивающий как бы контур обнажения, выступающие более плотные слои (см. рис. 12). Такие колонки не несут непосредственной генетической нагрузки.

6.9. Иные методы изучения литоциклов, предложенные различными исследователями

В данной работе не место для дискуссии с исследователями, предлагающими иные методы выделения и изучения литоциклов. Мы лишь предельно кратко укажем точки зрения по этому вопросу, отличающиеся от изложенных в данной работе, и попутно коснемся существующих разногласий или, наоборот, сходства предлагаемых методов.

Прежде всего, обратимся к соотношению методов фациально-циклического и фациально-геотектонического. Основы последнего метода разработаны прежде всего Г. А. Ивановым (1956, 1967), а затем сформулированы им вместе с соавторами (Иванов и др., 1975, 1977). Если не касаться различий в терминологии и трактовке понятий «цикл» и «ритм» (на чем мы останавливались в гл. 1), то суть предложенного *фациально-геотектонического* метода сводится к тому, что в нем выделяются два этапа: 1) ритмический анализ; 2) собственно фациально-геотектонический анализ.

На первом этапе выделяются литологические типы с указанием комплекса генетических признаков. Строится колонка гранулометрической кривой, на которой устанавливаются основные (1-го порядка) и элементарные гранулометрические ритмы. Эти ритмы, по мнению указанных авторов, «совершенно не связаны с необходимостью предварительно определять их фациальную природу».

* В поле не всегда точно можно определить породу (например, при определении «на глаз» обычно завышается зернистость за счет даже малой примеси более крупных зерен).

В таком случае остается непонятным, какую смысловую нагрузку они несут, помимо сведений об изменении гранулометрического состава, которое видно и на литологической колонке, лишь только более наглядно. Кроме того, как только мы переходим к отложениям смешанного, а тем более хемогенного или биогенного состава, последние на гранулометрической кривой занимают одно и то же положение, независимо от их вещественной, текстурной и прочей характеристики. Значит, эта кривая может применяться только для терригенных толщ, в то время как кривая изменения фаций отражает особенности любых осадочных толщ.

Второй этап фациально-геотектонического метода — собственно геотектонический анализ, состоящий из определения фаций, фациальной обстановки и геотектонического режима, в котором образовался каждый ритм. На этом основании выделяются трансгрессивные и регрессивные фазы колебательных движений «по конфигурации гранулометрических ритмов» (Иванов и др., 1975, с. 23).

Из сравнения этой методики с предложенной нами видно, что оба эти метода имеют больше сходства, чем отличия, как это ранее уже показал Ю. А. Жемчужников (1958). Основное отличие — в том значении, которое придается гранулометрии осадков, которую мы считаем одним из существенных, но все же не основным и тем более не определяющим признаком по отношению к выводам по геотектонике. Что же касается колебательных движений, то это — вывод из анализа всех признаков отложений и их направленного изменения. Кроме того, колебательные движения — не единственная причина периодического накопления осадков и формирования литоциклов (наиболее характерны они для осадконакопления в миграционном режиме). Фациально-циклический метод, разработанный на материале угленосных толщ, применим для любых осадочных толщ. Метод, предложенный Г. А. Ивановым и его соавторами на основе угленосных отложений, остался в какой-то мере в плену специфики терригенного осадконакопления.

Вообще стремление придавать ведущее значение изменению гранулометрического состава присуще в основном геологам, изучающим терригенные отложения, сложенные сравнительно небольшим спектром пород (глинисто-алевритовые, песчаные, гравелиты, конгломераты и др.). Это особенно характерно для так называемого *системно-структурного* метода, изложенного Ю. Н. Карогодиным (1980 и др.). Он также рассматривает направленность изменения отложений не по их фациальной принадлежности (для чего необходимо предварительно проанализировать все генетические признаки пород и их значение), а лишь по изменению размера частиц породы. На этом основании Ю. Н. Карогодин предложил соответствующую классификацию литоциклов (по его терминологии, «циклитов» — рис. 70). Она разработана в основном на примерах флишевых толщ, турбидитов и тому подобных отло-

жений, т.е., по существу, в пределах одного генетического типа. Основанием для проведения границ «циклитов» служит наличие резкой границы между слоями, в частности, линии размыва. Не вдаваясь в дискуссию, отметим лишь те основные положения, с которыми мы не можем согласиться.

Во-первых, нельзя создавать методика, а тем более теорию циклической седиментации на основе изучения только терригенных

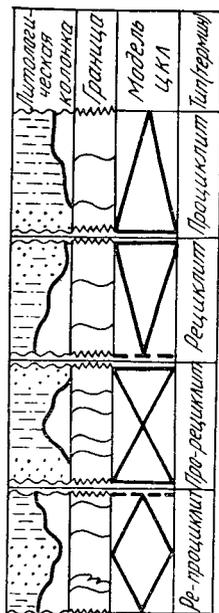


Рис. 70. Типы цикллитов (по Ю. Н. Карогодну, 1980)

образований, причем с примитивно построенными элементами разреза (типа литоритмов). Для толщ смешанного состава, биогенных и хемогенных, эта методика не будет пригодна вообще.

Во-вторых, изменение гранулометрии в пределах малых мощностей отложений в ряде случаев имеет элемент случайности по отношению к законам циклической седиментации, так как изменения могут быть обусловлены местными автопроцессами в отложениях аллювиальных, в области пляжей и мелководного шельфа и ряде других. Эти частные изменения обычно не выдерживаются на площади и, таким образом, не являются циклическими.

В-третьих, неправильно, что граница литоциклов должна быть обязательно резкой. В очень многих случаях наблюдаются нерезкие, неотчетливые и даже постепенные переходы от одного литоцикла к другому. Резкость границ для полных литоциклов скорее исключение, чем правило. Она характерна в основном для гемициклов и литоритмов. Если же границы не резкие, а переходы от цикла к циклу постепенные, или даже если граница почему-либо

не выявлена в обнажении или керне, то критерий для проведения границ литоциклов исчезает.

В-четвертых, явления регрессивности и трансгрессивности (по Ю. Н. Карогодину, прогрессивности) далеко не всегда отражаются в изменении гранулометрии (от тонкого к грубому — «рециклит», от грубого к тонкому — «проциклит»). Так, например (рис. 71, а),

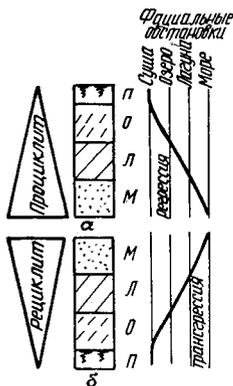


Рис. 71. Сопоставление определений литоциклов по Ю. Н. Карогодину и Л. Н. Ботвинкиной.

Объяснение в тексте

ряд отложений, сформированных в следующих одна за другой фациальных обстановках: прибрежно-морское мелководье — лагуна — озеро — болото, может быть представлен таким рядом осадков: песчано-алевритовые, алевритово-глинистые, глинистые с большей или меньшей примесью органогенного материала. Согласно концепции Ю. Н. Карогодина, их надо относить к прогрессивному ряду. Но по смене фаций эта последовательность явно регрессивная.

Второй пример (рис. 71, б). Смену пород (снизу вверх): глинисто-биогенные — алевритово-глинистые — песчаные при отсутствии резких границ между слоями, по схеме Ю. Н. Карогодина, следует определить как «рециклит», т. е. как регрессивный ряд отложений. Но по изменению фаций такой ряд отложений часто встречается в угленосных толщах, представляя собой смену фациальных обстановок: торфяное болото — лагуна — бар, переходящий в морское мелководье. Следовательно, это целиком трансгрессивный ряд отложений. Таким образом, рециклиты и проциклиты, выделяемые по Ю. Н. Карогодину, являются понятиями не генетическими, а лишь структурными, так как отражают только изменение гранулометрии и не связаны с фациальной обстановкой осадко-накопления.

Надо еще иметь в виду, что начало регрессивности совершенно не обязательно связано с появлением грубозернистых пород*, и лишь в ряде случаев отмечается относительным погрубением от-

* Это ошибочное мнение почему-то упорно приписывается одному из авторов данной работы.

ложений (например, аргиллит сменяется тонкозернистым алевролитом), что далеко не одно и то же.

Наконец, коснемся предлагаемого Ю. Н. Карогодиным графического изображения выделяемых им 4 типов циклов в виде треугольников и их комбинаций («ромб» и «песочные часы»). Они, на первый взгляд, привлекают своей простотой, но, к сожалению, не отражают сущности процесса циклической седиментации. Литоциклы, изображаемые треугольниками, — это лишь части полных литоциклов, т. е. гемициклы, формирующиеся при резко скачкообразном процессе седиментации. Изображать полные циклы в виде «ромба» или «часов» — целиком определяется вопросом, с чего начинать цикл? По Ю. Н. Карогодину, это определяется резкостью границы. А если резкости нет? Или граница почему-либо не выделена? Тогда этот вопрос повисает в воздухе, а чередование пород можно выразить и «ромбом», и «часами».

Изображение в виде «ромба» и «песочных часов» подчеркивает симметричность строения «циклитов». Но рассмотрение обширнейшего конкретного материала по различным формациям (небольшая часть которого приведена в гл. 2) показывает, что для циклического развития седиментации, в силу тех законов, которым она подчиняется, характерна не симметрия, а наоборот, асимметричное строение литоциклов, что и определяет их типизацию по направленности изменения фаций.

Рассматривая различные возможные типы «циклитов», Ю. Н. Карогодин предложил 48 их обозначений («символов») по составу, структуре слоев, направленности изменения, рангу и продолжительности. Что касается продолжительности, то этот вопрос еще мало разработан, в нем много спорного и вряд ли можно всегда определить литоцикл по этому признаку достаточно точно. В основу обозначения указанным автором положен круг (или его часть) с разными добавлениями — черточками и точками (1980, с. 181—191). Такое графическое изображение ни с чем не ассоциируется и его надо только запоминать, что при сходстве знаков, их количестве и сложности просто невыполнимо.

Ю. Н. Карогодин считает, что изменение мощности ряда «проциклитов» в сторону их уменьшения — это прогрессивный ряд, а если те же проциклиты возрастают в мощности — это ряд регрессивный. Мы же считаем, что дело не в общей мощности «циклитов», а в соотношении в них если не фаций, то хотя бы грубо- и тонкозернистого компонентов, что определяется их местом в литоцикле следующего порядка. При этом, как мы показали выше, регрессивная ветвь литоцикла 2-го порядка состоит из элементарных литоциклов также регрессивного типа.

Мнение Ю. Н. Карогодина о том, что «рециклиты» — явление редкое, объясняется тем, что основные его рассуждения построены на материале флишевых и флишеподобных толщ. На самом же

деле литоциклы регрессивного типа встречаются не реже, чем трансгрессивные. И в их наличии Ю. Н. Карогодин сразу же убеждается, как только берет пример по угленосным отложениям, которые формируются, подчиняясь основным законам циклической седиментации.

Мы считаем, что строить теорию, классификацию и методологию необходимо на основе генетического анализа большого конкретного материала по самым разнообразным толщам, причем рассматривая их в сравнительном аспекте.

Группой новосибирских геологов (В. П. Казаринов, В. И. Бгатов, Т. И. Гурова, Ю. П. Казанский и др.) около 30 лет разрабатывается *литолого-формационный* метод, базирующийся на изучении зрелости пород и направленный на выявление закономерностей развития осадочного процесса и истории Земли (Казаринов, 1958; 1976 и др.). Для определения степени зрелости предложен ряд показателей: коэффициент мономинеральности (K_m), характеризующий отношение устойчивых и неустойчивых породообразующих компонентов; коэффициент устойчивости (K_y), показывающий соотношение устойчивых и неустойчивых минералов в акцессорной группе компонентов; ряд геохимических показателей, в частности Na_2O/Al_2O_3 , который характеризует зрелость глинистых комплексов и др. О них мы уже упоминали выше в гл. 6.

Суждения о геологическом строении и истории развития изучаемых толщ базируются на выделении осадочных серий (ОС), под ними имеются в виду осадочные толщи, заключенные между двумя генетическими рядами формации, сложенными наиболее зрелыми для данного разреза породами. Время, охватываемое ОС, определяется равным 15—20 млн лет; ОС по 7 группируются в осадочные комплексы (100—120 млн лет), а комплексы также по 7 — в фаланги (800—900 млн лет). Таким образом, по времени формирования эти элементы разреза соответствуют литоциклам высших рангов.

Во многих работах сторонников этого метода прослеживается стремление исследовать закономерности в строении разрезов (и следовательно, в развитии осадочного процесса) с позиций циклическости, т. е. пульсационного развития процессов литогенеза. Осадочные серии, комплексы и т. д. соответствуют циклу (Казанский, 1983). В регрессивной части ОС (цикла), приходящей на смену стадии трансгрессивной стабилизации, происходит уменьшение зрелости осадков, в трансгрессивной — ее увеличение. Разделяются они стадией регрессивной стабилизации. Схематично это может быть отражено следующим образом:

Трансгрессивное плечо	} ЦИКЛ
Регрессивная стабилизация	
Регрессивное плечо	
Трансгрессивная стабилизация	

При этом состав пород, слагающих ОС, существенно зависит от ее положения в осадочном комплексе. В свою очередь, ОС «распадается» на ряд седиментационных циклов меньшего порядка.

Целый ряд стратиграфических уровней размещения осадочных полезных ископаемых — бокситов, руд железа и марганца, фосфоритов и др. расположен в

переходных между сериями зонах; концентрация легкоподвижных элементов приурочивается к регрессивным частям ОС и комплексов; угленосные формации обычно приурочены к их срединным частям. На рис. 72 мы видим изменение фациального состава отложений свит, выделяемых на северо-западе Сибирской платформы, которое выявляет крупную цикличность достаточно высоких порядков. Перерывы в осадконакоплении, фиксирующиеся формированием кор выветривания, разделяют толщу на три осадочные серии мощностью около 100 м, каждая из которых начинается и заканчивается породами наземного комплекса. Мы видим, что построенные кривые коэффициентов устойчивости (K_U) и мономинеральности (K_M) отмечают те же границы

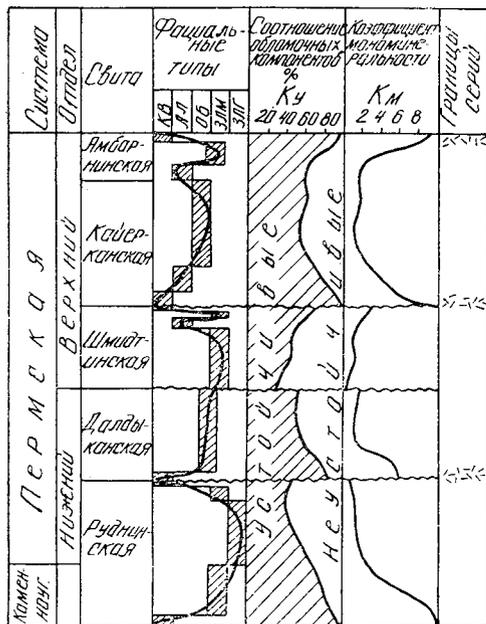


Рис. 72. Закономерности осадконакопления — северо-запад Сибирской платформы (по: Выветривание и литогенез, 1969):

отложения: КВ — кор выветривания, АЛ — аллювиальные, ОБ — озерно-болотные, ЗЛГ — заливно-лагунные, мелководные, ЗЛГ — заливно-лагунные, относительно глубоководные

литоциклов высших порядков, как и изменения осадконакопления в разных фациальных условиях.

Этот метод вызвал широкую дискуссию относительно его применения. Авторы метода впоследствии уточнили, что изучение зрелости пород «...становится мощным, а порой и главным оружием литологического анализа, будучи включенным в общий комплекс геологических исследований» (Выветривание и литогенез, 1969, с. 114). Мы считаем, что, во-первых, глубокое изучение вещества пород, безусловно, помогает установлению закономерностей протекания осадочного процесса и прежде всего цикличности; это подчеркивается и в нашей работе — см. гл. 6. Целый ряд рекомендованных частных методик удачно «вписался» в общий комплекс

методов изучения вещества отложений. Во-вторых, претендовать на законченность и широкую применимость метод может только при учете фациального состава отложений. Частично это делается (см. выше), однако этому противоречат высказывания вроде: «Характер K_m (конфигурация кривой) в большинстве случаев не зависит от фациальной принадлежности пород...» (Выветривание и литогенез, 1969, с. 7); «Строение осадочных серий не связано с фациальными условиями...» (там же, с. 11) и др. Наконец, в-третьих, применение литолого-формационного метода может быть наиболее эффективным при анализе литоциклов высших порядков, в толщах, где существует значительная контрастность изучаемых признаков. В целом же рекомендуемые методики представляют «вещественное» и «количественное» дополнения к методике литолого-фациального и циклического анализов.

Геологами, работающими в Средней Азии во главе с В. И. Поповым (Н. И. Гриднев, С. Д. Макарова, Ю. В. Станкевич, А. А. Филиппов и ряд других), была предложена методика изучения циклическости и ее практического применения в геологии, получившая название *фациально-динамического* анализа. Об этих работах мы уже упоминали в гл. 2 при характеристике циклического строения таких осадочных толщ, как молассы.

Если говорить об основных положениях этой методики, то мы не видим в ней принципиальных расхождений с методикой, изложенной в данной работе, так как обе они основываются на проведении детального фациального анализа отложений.

Расхождения лишь в некоторых вопросах, например, в понимании терминов «ритм» и «цикл», которые В. И. Попов и его последователи считают синонимами. Несмотря на наше иное понимание термина «ритмичность», мы при изложении материала указанных авторов считаем возможным сохранять их терминологию, более это не оговаривая.

Ритмичность ими определяется как «неправильное» чередование двух взаимоположенных (полярных) тенденций развития процесса, проявляющееся в связи с общим необратимым, поступательным его развитием (Попов, 1977). При этом «начало каждого нового периода... должно проводиться по максимуму свободной энергии процесса» (там же, с. 76). Однако, как мы видели выше, начало литоциклов далеко не всегда определяется этим признаком. Например, в полных литоциклах оно может выявляться по изменению направленности процесса осадконакопления, в связи с появлением новых фаций; в других случаях, особенно при формировании гемициклов,— по наличию «скачка» и резкой смене обстановок седиментации.

На основе фациального анализа указанными авторами были выделены ритмы разных порядков, соответствующие определенным стратиграфическим терминам и соответственно получившие назва-

ния: зачаточная ритмосерия (слоек), подритмосерия (прослой), микроритмосерия (слой, пласт), ритмопачка, ритмосвита, ритмотолща и ритмокомплекс или геологический ритм. Как видно, первые две градации — это элементы пород. Микроритмосерия частично соответствует нашему пониманию литоритма. Таким образом, соответствие литоциклам начинается с ритмопачки. При этом ритмопачки и ритмосвиты (с их подразделениями на подпачки и подсвиты) отвечают литоциклам низших порядков, а ритмотолщи и ритмокомплексы (а частично и ритмосвиты) — литоциклам высших порядков (Попов и др., 1979).

Перечисленные единицы разреза прослеживались на достаточно большой площади. На этом основании была предложена ритмостратиграфия (циклостратиграфия) как определенный раздел стратиграфии, что в масштабе такого крупного района было сделано впервые. Наконец, проведено фациально-палеогеографическое картирование с выделением различных фациальных зон и их особенностей. Тем самым налицо сходство с работами исследователей школы Ю. А. Жемчужникова (Ботвинкина, 1952 а, 1953, 1955; Жемчужников и др., 1959—1960; Тимофеев, 1970; и др.), в которых были выделены литоциклы как стратиграфические единицы, прослеживаемые на площади, а на этой основе созданы фациально-палеогеографические карты. Указанная методика удачно применяется при изучении осадконакопления в определенных фациальных обстановках (в частности — отложениях моласс). Однако при переходе к осадконакоплению в иных условиях она в ряде случаев, видимо, потребует уточнений и дополнений, что вполне естественно. Предложенные градации будут варьировать в зависимости от типа динамического режима осадконакопления, а также от состава пород (например, в хемогенных толщах).

Интересный материал получен И. А. Вылцаном (1967, 1974, 1977 а, б и др.) по детальному изучению кембрий-ордовикских толщ Горного Алтая; при этом им был сформулирован метод *ритмоанализа*. Указанным автором были выделены ритмы разного порядка: от 1-го, соответствующего пласту (мощностью от долей метра до 1 м), и до 7-го порядка, соответствующего свите. Они получили следующие названия; 1-го порядка — ритмы, 2-го порядка — ритмогаммы*, 3-го — ритмосерии, 4-го — ритмогоризонты, 5-го — ритмопачки, 6-го — ритмоподсвиты и 7-го — ритмосвиты. Все эти ритмические единицы имеют характерное строение и закономерную соподчиненность.

Элементарные ритмы 1-го порядка обычно состоят из небольшого числа элементов — двух, реже трех; они имеют преимущественно асимметричное строение, что выражается в уменьшении снизу вверх зернистости (или в увеличении глинистости, карбонат-

* Их нельзя путать с ритмограммами Н. Б. Вассоевича.

ности). Границы ритмов обычно резкие. Каждый элемент ритма имеет свою текстуру (от мелкой косой до горизонтальной).

Ритмы 1-го порядка группируются, образуя «ритмогаммы», т. е. ритмы 2-го порядка (рис. 73). По строению и количеству элементарных ритмов определена градация ритмогамм: от представленных одним ритмом — монада, двумя — диада, тремя — триада и т. д.: тетрада, пентада, гексада, септада, октада, нонада.

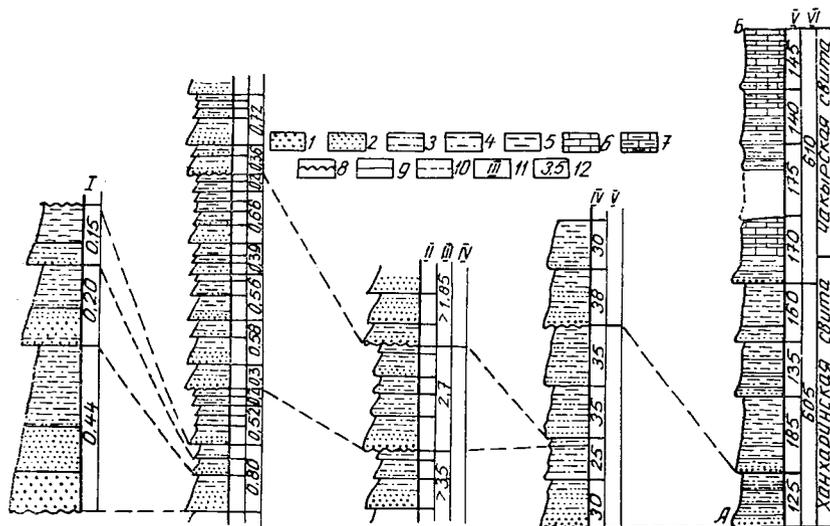


Рис. 73. Схема выявления ритмических единиц разных порядков — Алтайско-Чуйский синклиниорий Горного Алтая (по И. А. Вылцану, 1977 а):

песчаники аркозовые: 1 — средне- и крупнозернистые, 2 — мелкозернистые; 3 — песчаные алевролиты; 4 — алевролиты; 5 — алевритистые пелитолиты; 6 — известняки светло-серые; 7 — известняки глинистые; контакты: 8 — со следами размыва, 9 — резкие и четкие, 10 — постепенные; 11 — порядок ритмической единицы; 12 — мощность, м

Нижний элементарный ритм в ритмогамме чаще более мощный; отмечается уменьшение мощности ритмов снизу вверх. На границах ритмов 2-го порядка обычны размывы. Время формирования ритмов 1-го порядка около 3 тыс. лет, ритмогамм — 15—25 тыс. лет. Таким образом, последние по времени своего формирования примерно соизмеримы со временем формирования литоциклов 1-го порядка в угленосных толщах. Выделенные ритмические единицы, начиная с ритмогамм, очевидно, соответствуют последовательности литоциклов нескольких порядков.

И. А. Вылцаном были намечены возможности практического использования выделения ритмических единиц при работах по тектонике и стратиграфии: ритмические единицы могут быть пролежены на значительной площади и использованы в целях корреля-

ции между свитами, а также как индикаторы геотектонических условий седиментации (Вылцан, 1974, 1977 б). Им было замечено, что характер ритмичности отражает этапы геосинклинального развития региона. Объем ритмов 2-го порядка (ритмогамм) определяется положением относительно границ бассейна седиментации, регулируется уровнем накопления и различным характером седиментации. Кроме того, объем ритмогамм зависит от тектонического режима колебательных движений: их нисходящий характер приводит к формированию многоритмовых ритмогамм, восходящий — малоритмовых. Иначе говоря, трансгрессивные ветви ритмов более высокого порядка содержат более многоритмовые ритмогаммы типа октад, септад и гексад. Они формируются в начальные стадии геосинклинального развития. При формировании отложений в условиях предорогенной и, частично, орогенной стадий формируются сокращенные ассоциации ритмов типа триад, тетрад и пептад. Выпадение членов ритмически построенной толщи часто указывает на разного масштаба перерывы в осадконакоплении. Им И. А. Вылцан уделил большое внимание и определил возможность их выделения методом ритмоанализа. Перерывы фиксируются частичным или полным выпадением верхних элементов ритма, для ритмов 2-го порядка — выпадением нескольких ритмов (см. рис. 73) и т. д. Он считает, что в качестве критерия относительной продолжительности перерыва может быть использована «глубина размыва», т. е. «недостающая мощность осадочных формаций» (Вылцан, 1974, с. 100). В соответствии с выделением ритмических единиц он наметил и перерывы разных порядков. Этим автором были указаны также главные критерии выделения ритмических единиц.

Он пишет (Вылцан, 1977 а, с. 199): «Наш опыт изучения ритмично построенных разрезов, главным образом относящихся к геосинклинальным условиям формирования, позволяет высказать мнение, что важнейшими критериями при типизации являются: полнота набора элементов в составе ритмолитонов, гранулометрический состав нижнего элемента, мощность суммарная и отдельных элементов, характер границ — контактов. В соответствии с этим все ритмолитоны могут быть разделены на редуцированные, асимметричные, полусимметричные и симметричные». Таким образом, эти градации в какой-то мере как бы «перекликаются» с делением литоциклов на полуциклы и литоциклы урезанные и полные; трансгрессивные или регрессивные и нейтральные. Однако нельзя забывать, что классификация И. А. Вылцана в основном базируется на одном признаке — гранулометрическом составе, в то время как в основе нашей классификации лежит определение всех генетических признаков пород. Поэтому предложенная им методика (как он и сам отмечает), видимо, результативна для выявления сложной ритмичности в осадочных толщах, сформировавшихся лишь в определенных условиях геотектоники и палеогеографии.

Указанные выше методы выделения литоциклов разработаны на основе изучения преимущественно терригенного осадконакопления, причем большое внимание уделялось структурному признаку.

Цикличность разных рангов в карбонатных отложениях большинством исследователей выделяется на основе фациального анализа, и, таким образом, применяемая ими методика не имеет принципиальных отличий от описанной нами. Для биогенных и хемогенных отложений основное внимание уделяется не гранулометрии осадков, а химическому составу пород, отражающему изменение солености бассейна и, главное — характеру органических остатков, их количеству и составу, а также экологии различных организмов, обитающих на разных глубинах и образующих различные биоценозы. При этом учитывается также та или иная примесь терригенного материала, указывающая на соотношение осадконакопления с областью сноса.

Наша работа посвящена цикличности осадочных толщ. Однако приходится (предельно кратко) касаться методик, предложенных для изучения ритмичности отложений, разработанных на материале изучения флиша, флишоидных толщ и других терригенных отложений, сложенных однотипно повторяющимися элементами разреза типа литоритмов. В этом аспекте необходимо упомянуть широко известную методику изучения ритмичности флиша (метод коннекции), разработанную Н. Б. Вассоевичем (1948—1951) и применявшуюся многими исследователями, в том числе и при корреляции разрезов. Суть ее состоит в том, что на основании соотношения мощностей основных элементов литоритмов строятся ритмограммы (рис. 74). Последние выделяют ритмичность следующих порядков. Эта методика применялась не только при изучении флиша, но и других осадочных толщ, в которых отмечалось многократное повторение сходно построенных ритмов, имеющих небольшой набор слагающих их элементов. Данный метод исследования использует не только качественные, но и количественные признаки отложений.

Недостатком метода коннекции является то, что на ритмограммах Н. Б. Вассоевича исчезает один из главных признаков ритмичности флиша, турбидитов и им подобных — скачкообразный характер седиментации (зависящий от инъективного режима), и процесс предстает в виде плавного изменения осадконакопления, что искажает его главную сущность.

Изучением ритмичности во флишевых толщах с применением математических методов исследования занимается С. Л. Афанасьев (1974, 1976 и др.). Мы не будем разбирать его работы, а ограничимся лишь некоторыми положениями, с которыми не можем согласиться. Предлагаемая им методика (1976) начинается с ряда определений слоевых единиц, причем их признаками он считает

объем, соотношение длины, ширины и толщины, а также время формирования. Так, например, слой он характеризует как «геологическое тело плоской линзовидной формы, объемом свыше 1000 м³, толщиной более 0,5 мм (?) и соотношением ширины и мощности не менее чем 100:1» (1976, с. 100). Но если исходить из этого

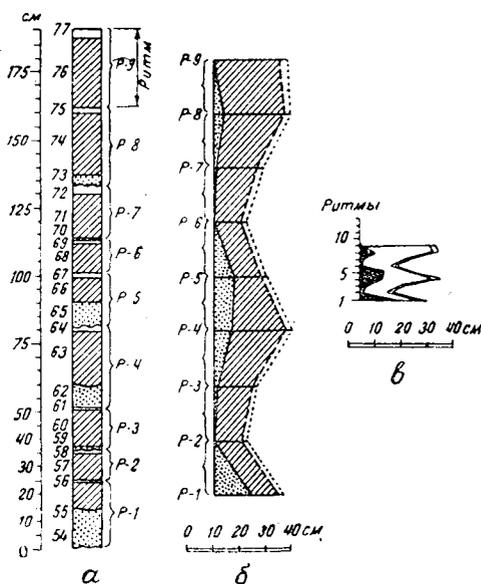


Рис. 74. Способ построения ритмограмм для разрезов флишевых толщ и ленточно-слоистых отложений (по Н. Б. Вассоевичу, 1948):

а — колонка ритмической последовательности осадков; *б* — диаграмма мощностей и состава этого же разреза (ритмограмма); *в* — та же диаграмма в окончательном виде

определения, слой вообще практически выделить невозможно; геолог, подходя к обнажению или описывая керн, не может выделять их, так как он не видит ни их объема (который почти не определяется), ни отношения мощности к ширине. Значит, известное всем со студенческих лет понятие «слой» надо заменить чем-то еще? Это нелепо! Такое определение с практической точки зрения совершенно неприменимо.

Циклит (по нашей терминологии, литоцикл) он определяет так: «Циклит (циклокомплекс) — единичный последовательный ряд парагенетических связанных между собой литостратиграфических подразделений от микрослойка до земной коры в целом» (там же). При этом порядки цикличности геологических процессов «определяются длительностью образования элементарных циклитов». На данном основании выделены 17 порядков циклитов, которые определяются по их продолжительности: от 5,5 млрд лет (1-й порядок) до 1 года (17-й порядок). Но время формирования стратификационных циклических единиц устанавливается после изучения конкретного материала и выделения литоциклов, причем часто лишь приблизительно. Кроме того, это время может быть различным даже для литоциклов одного и того же порядка, но принадлежащим разным формациям.

Если для ритмичности флиша может быть и возможно построение такой единой шкалы многопорядковой ритмичности в пределах одной просто построенной формации, по существу — единого генетического типа, то для литоциклов, формирующихся в различ-

ных фациальных обстановках, тектонических структурах, в разных климатических условиях, зависящих от различных факторов (вплоть до космических) и обусловленных различным динамическим режимом, такое построение непрерывной шкалы является искусственным и не может определять такое многообразное и сложное природное явление, как седиментационная цикличность. Надо заметить также, что литоциклы низших и высших рангов имеют свои специфические, отличающие их черты, и соотношения между ними далеко не всегда одинаковы в разных случаях.

Наконец, формирование таких слоевых единиц, как слои в слоистых породах, литоциклы в осадочных толщах и земная кора в целом — безусловно, явления разных уровней мобилизации вещества, на что обращали внимание Н. Б. Вассоевич и В. В. Меннер (1978), а также другие исследователи.

Большое внимание периодичности осадконакопления уделил С. В. Тихомиров (1967, 1972, 1975 и др.). Мы не будем повторять многих из высказанных им положений, которые совпадают с нашими. Коснемся лишь отличий принятой им методики от нашей. Он считает (1975), что «порядок этапов осадконакопления для однозначности определения в различных регионах следует устанавливать от наиболее крупного к мелким». Например, этап 1-го порядка — палеозойская эра, 2-го — каледонский и герцинский этапы и т. д. Так как он оперирует крупными стратиграфическими единицами, то границы этапов у него совпадают с границами литоциклов высших рангов. К наименьшим (элементарным) С. В. Тихомиров относит отложения этапов 8-го порядка, причем более мелкие, по его мнению, четко выделяются лишь в отдельных регионах. Этот вопрос он рассмотрел в основном на материале отложений Русской платформы, выделив в этапах осадконакопления три фазы: 1) нарастающее опускание с дифференциальными движениями; 2) наибольшее опускание территории, положительные движения минимальны. Накопление мелководных осадков в море нормальной солености; 3) усиление интенсивности дифференциальных движений положительного знака. Развитие соленосных отложений. Таким образом, он начинает седиментационный цикл высшего порядка с начала трансгрессии.

Указанные различия во взглядах вполне объяснимы. Как мы уже не раз указывали выше, при региональных исследованиях прежде всего выявляются крупные единицы разреза. На неудобства такого подхода при изучении литоциклов низших порядков мы не раз обращали внимание на конкретных примерах в предыдущем тексте. Также мы не раз касались преимуществ выделения литоциклов с начала регрессии, в том числе с практической точки зрения (хотя теоретически оба начала равноценны — см. II часть).

Кроме работ, где сформулирована методика выделения циклов (или ритмов), существует ряд работ, в которых циклы, выделен-

ные в различных условиях, группируются по какому-либо единому принципу: обстановкам формирования (Дафф и др., 1971), динамическим режимам осадконакопления (Романовский, 1985), непрерывности или прерывности процесса (Циклическая и событийная седиментация, 1985) и т. д.: следует отметить также ряд сборников, ежегодно выпускаемых под руководством А. А. Трофимука и Ю. Н. Карогодина (с 1975 г.).

Такие сводные работы и сборники, несомненно, дают большой материал для понимания разностороннего процесса циклической седиментации. К сожалению, в них редко освещаются особенности методики — как вообще, так и применительно к литоциклам разного типа и ранга.

Заканчивая эту наиболее важную в практическом отношении главу, сформулируем основные принципы предлагаемой методики.

1. Мы видели, что в зависимости от ряда различных факторов возникают литоциклы разного состава, строения, ранга, масштаба и характера изменения. Так как цикличность — явление сложное, обусловленное разными причинами, то литоцикл должен определяться не отдельными признаками, а их комплексом. Поэтому мы считаем, что в основе изучения цикличности должен лежать метод фациального или генетического анализа, сопровождаемый рядом вспомогательных методов.

2. Работа по изучению цикличности (и ритмичности) может проводиться с разной степенью детальности изучения и обобщения фактического материала в зависимости от задач, стоящих перед исследователями, а также от исходного материала.

3. Исследование чаще всего ведется от частного к общему, а затем через общее к уточнению частных (особенно для литоциклов низших порядков). Однако в иных случаях (обычно при более отчетливой цикличности более высоких рангов) возможен и другой путь исследования — от общего к частному с последующим уточнением общего.

4. Работы имеют определенную этапность, также в какой-то мере «циклическую» в отношении последовательности действий, а именно: а) полевые наблюдения: описание разрезов, составление колонок, предварительная наметка литоциклов; б) камеральная обработка: дополнение результатами вспомогательных методов; построение разрезов, уточнение границ и характера литоциклов; в) дополнение фактического материала в новом полевом сезоне, снятие возникших вопросов; г) окончательная камеральная обработка и окончательные выводы. Понятно, что «средняя» часть работы может быть осуществлена в течение не одного года; в других случаях возможно сокращение работы только до двух этапов: полевого и камерального.

5. Выявление цикличности и ее характера связано со всеми этапами исследования: от полевого, когда при составлении колонок

предварительно намечаются литоциклы и возможные их границы, до заключительного, когда на основании всех фактических данных окончательно выявляются литоциклы, их типы и ранги, и все характеризующие их черты. Таким образом, эта работа представляет собой неразрывность анализа и синтеза.

6. Исследование цикличности связано с типизацией и классификацией изученного материала (см. гл. 3). При фациально-циклическом анализе используется генетическая классификация.

7. Обязательным правилом для выделения литоциклов при описании разрезов является определение не только «что с чем», но и «что за чем» следует, т. е. направленности изменения составных частей литоцикла, которая происходит по сложно построенной спирали. Этим сосредотачиваем внимание на эволюции осадконакопления. Одновременно нельзя упускать из вида обстоятельства, нарушающие непрерывность эволюционного развития, т. е. «скачки», часто отмечающие границы литоциклов.

8. Применение математических методов при изучении цикличности в виде статистической обработки эмпирических данных бывает эффективно для литоритмов, а также наиболее просто построенных литоциклов (преимущественно мутационного и инъективного режимов). Для литоциклов сложного строения требуется применение и более сложных математических методов. При этом необходимо предварительно уяснить, действительно ли поставленная задача не может быть решена обычными геологическими методами исследования.

9. Методику фациально-циклического анализа не следует понимать догматически: в зависимости от объекта исследования возможны разные подходы, с использованием в большей или меньшей степени то одной, то другой стороны данной методики, не нарушая, однако, ее основных положений.

Глава 7. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ЦИКЛИЧНОСТИ

Как мы показали выше, цикличность седиментации имеет всеобщее значение как при формировании осадков в различных условиях, так и во времени. Более того, из ряда работ иных направлений уже видно, что это явление значительно шире: оно наблюдается и в различных геологических процессах на Земле, и в жизнедеятельности живых организмов и, наконец, во внеземных космических процессах. Поэтому ясно, что изучение цикличности вообще имеет большие перспективы. На данной стадии познания

этого явления даже трудно предсказать, какое значение могут иметь эти теоретические выводы.

Понимание седиментационной цикличности и расшифровка законов, которым она подчиняется,— существенный вклад в познание общих закономерностей формирования осадочной оболочки Земли. Это теоретическое направление исследований уже начато, но еще ждет дальнейшего продолжения и расширения, причем обязательно на основе всестороннего анализа разнообразного конкретного материала.

Мы уже теперь можем рассмотреть некоторые аспекты практического использования наших знаний о цикличности, о чем не раз упоминали попутно в предыдущих главах. Резюмируя, повторим значение сведений о циклической седиментации и законах, которым она подчиняется, при геологических работах следующих направлений: стратиграфии, палеогеографии, тектоники и, что особенно важно с практической точки зрения, при работах по поискам, разведке и прогнозированию разнообразных полезных ископаемых.

7.1. Литоциклы как стратиграфические единицы и их соотношение со стратиграфическими подразделениями

Подразделение геологических разрезов на стратиграфические единицы разного ранга и их корреляция — кардинальный вопрос геологии, существовавший с самого зарождения геологических работ. Следствием этого явилась достаточно четко разработанная в настоящее время стратиграфическая классификация и терминология стратиграфических подразделений. Среди последних, как известно, выделены понятия общие, которые находятся в определенном соподчинении и образуют единый ряд, и местного значения, выделяемые для разных регионов по разным признакам (Стратиграфическая классификация..., 1965; Стратиграфический кодекс СССР, 1977). В последние десятилетия было выдвинуто и развито понятие о новых стратиграфических единицах разрезов — седиментационных циклах (литоциклах) разных порядков*. Возникла необходимость в их номенклатуре, увязке с общепринятыми стратиграфическими подразделениями, а также в выявлении той роли, которую они могут сыграть при геологических работах.

Если литоциклы — стратиграфические единицы, то, значит, они должны выполнять одни и те же функции. И это так: из предыдущего текста мы видели следующее.

1. Литоциклы способствуют расчленению разреза и выявляют изменения во времени.

* Ранее это было сформулировано на материале по угленосным толщам (Ботвинкина, 1952 б, 1953).

2. Выделение литоциклов, с выявлением опорных ЛЦ, имеющих наиболее яркие особенности, способствует корреляции разрезов разного масштаба и на различных расстояниях. При этом чем выше ранг ЛЦ, тем на большее расстояние он прослеживается.

Преимущество литоциклов в качестве стратиграфических единиц в том, что они могут быть прослежены в пространстве на основании характера направленности изменений их компонентов по времени, независимо от того, что состав ЛЦ, как породный, так и фациальный, может изменяться на площади.

3. Литоциклы часто фиксируют более синхронное осадконакопление по сравнению с обычными стратиграфическими единицами.

4. Литоциклы и их смена отражают общую направленность изменения процесса осадконакопления и, таким образом, фиксируют его эволюционное развитие.

Все эти аспекты использования литоциклов мы уже рассмотрели выше. Они, несомненно, имеют практическое значение и уже взяты на вооружение рядом исследователей.

Но при определении литоцикла как элемента стратиграфического разреза невольно встает вопрос о соотношении этих единиц: заменяет ли ЛЦ какое-либо стратиграфическое подразделение, равен ли он какому-либо из них или это части разреза сопряженные, но все же различные. По этому вопросу существуют разные точки зрения. Как мы показали выше, одни исследователи считают, что стратиграфические подразделения должны совпадать с ЛЦ того или иного ранга и стремятся узнать их «сверху донизу»; другие полагают, что они совпадают частично; третьи — что они не совпадают вовсе.

Решение этого вопроса заключается в том, что именно лежит в основе выделения тех и других. Как мы знаем, основной принцип выделения литоциклов — это попеременная направленность изменения фаций внутри них, причем границы литоциклов могут быть разного рода: в одних случаях резкие (обычно в циклах неполных и резко асимметричных), в других они представляют собой более или менее постепенные переходы.

Выделение же стратиграфических единиц (особенно местных — свит, горизонтов, зон и др.) основано на сходстве внутри каждой такой единицы.

Стратиграфическая свита определяется следующим образом: «С понятием «свита» должно быть связано ее внутреннее единство (по условиям образования, составу осадков, фауне и флоре, стратиграфическим взаимоотношениям, метаморфизму и т. д.)». И далее: «...одна свита должна ясно отличаться от другой всей совокупностью признаков и прежде всего фациально-литологическими особенностями, а также палеонтологическими признаками, причем границы между свитами должны быть достаточно четкими» (Стратиграфическая классификация..., 1965, с. 30).

Следовательно, выделение литоциклов, с одной стороны, и стратиграфических единиц местного значения, с другой (от серий, свит и ниже), основывается, по существу, на совершенно различных, можно даже сказать, принципиально противоположных признаках. Для литоциклов это

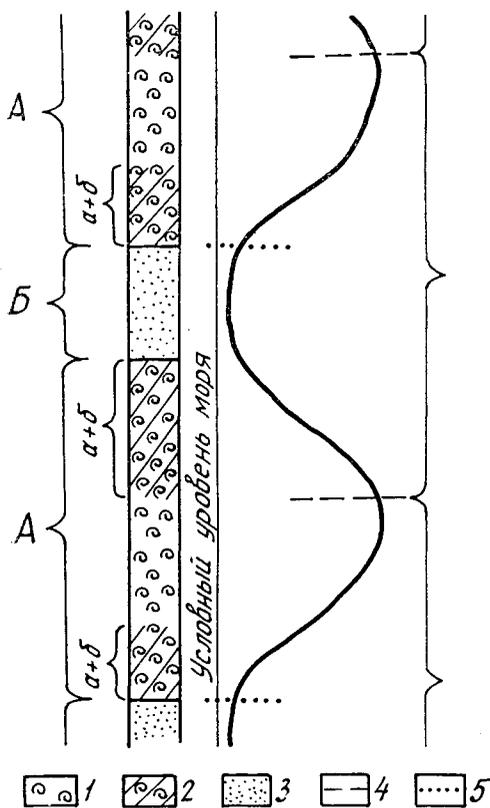


Рис. 75. Различия при выделении в разрезе литоциклов и стратиграфических подразделений:

отложения: 1 — морские глубоководные, 2 — морские менее глубоководные, 3 — морские мелководные (могут быть с участием континентальных); 4 — границы литоциклов с начала регрессивной фазы (выделены скобками справа); 5 — границы литоциклов, если их начинать с трансгрессивной фазы. Объяснение в тексте

выделением переходной зоны ($a+b$), но и в этом случае границы циклических и стратиграфических единиц остаются различными. (Надо заметить, что если начинать литоциклы с начала трансгрессивного ряда, то при этом принципиально ничего не изменяется.)

изменения условий седиментации внутри него (может быть, и даже очень резкие) и сходство смежных литоциклов. Для свит и других местных стратиграфических подразделений, наоборот, однотипность, сходство условий внутри свиты и более или менее резкое различие смежных свит (см. табл. 10).

Схематично это показано на рис. 75, где постепенные изменения условий седиментации выражены кривой. Границы литоциклов определяются переходом от трансгрессивного развития к регрессивному, а сами литоциклы сложены отложениями от глубоководных до мелководных и вновь до все более глубоководных со всеми присущими им генетическими признаками.

При выделении же в этом разрезе свит (или других местных подразделений) объединяются отложения, формирующиеся в сходных условиях, которые отделяются от отложений с другими генетическими признаками, сформировавшимися в иных обстановках (рис. 75 — А и Б). Иногда разрезы могут дифференцироваться с

Осадконакопление может изменяться очень постепенно (в частности, в геосинклинальной обстановке), когда в разрезах мы видим, как новое зарождается в недрах старого и постепенно через зону переслаивания (мощность которой может измеряться сотнями метров) становится господствующим. В этом случае границы литоциклов и стратиграфических подразделений могут оказаться на разных стратиграфических уровнях. В других же случаях, если литоциклы асимметричные и представлены какой-либо одной частью (транс-или регрессивной) и особенно если они формируются при относительно небольшом диапазоне изменения фаций, а границы их резкие, то совпадения стратификационных единиц того и другого рода более часты.

Следовательно, надо признать, что выделение на геологических разрезах стратиграфических и циклических стратификационных единиц должно проводиться параллельно, и неправильно ставить вопрос об обязательном их объединении. В одних случаях они могут совпадать, в других — примерно соотноситься по объему (но с некоторым смещением границ), в третьих — не совпадать вообще. Объясняется это тем, что принципы их выделения разные и незачем стремиться подменять одни другими, хотя выяснять их соотношения и следует. Решать эти вопросы надо применительно к каждому конкретному случаю, с учетом специфичности строения данной осадочной толщи.

Сложнее обстоит дело при сопоставлении общих стратиграфических единиц и крупных литоциклов высших рангов. Здесь большое значение приобретает резкость границ (разделяющих этапы в развитии осадконакопления), резкие изменения условий седиментации и развития органического мира, что связано также с крупными тектоническими движениями, перерывами в седиментации и другими процессами регионального (или даже глобального) масштаба. Эти процессы выявляют и литоциклы высших рангов, и общие стратиграфические единицы порядка ярусов и выше, поэтому их границы часто совпадают.

В главе 3 мы показали одну из возможностей сопряжения тех и других в более или менее одинаковых границах. Как уже отмечалось, некоторые исследователи, по аналогии со стратиграфическими подразделениями, пытаются выстроить в единый ряд все периодически построенные элементы разрезов — от самых мелких сезонных ритмов до крупных литоциклов высших рангов, формирующихся в течение десятков и сотен миллионов лет. Такой подход принципиально неправилен потому, что в основе выделения тех и других лежат разные исходные положения. Стратиграфические подразделения основаны прежде всего на эволюционном развитии органической жизни на Земле, в которой нет повторяемости. Циклическое же развитие на фоне общей эволюции идет по спирали с построением сходных (хотя и не тождественных) литоциклов раз-

ных порядков, причем характер ЛЦ определяется его принадлежностью к той или иной части ЛЦ следующего порядка.

Кроме того, как отмечалось рядом исследователей, появление литоциклов различных порядков и масштабов вызывается различными причинами. Иногда эти причины действуют совместно, как бы усиливая свое действие, а иногда — наоборот. И уже никак нельзя относить к одному ряду мелкие сезонные ритмы в горных породах, измеряемые большей частью миллиметрами и сантиметрами и формирующиеся обычно за счет периодического поступления в бассейн седиментации осадочного материала при неизменности общей фациальной обстановки, и крупные литоциклы, формирование которых происходит в течение длительного геологического времени и связано с крупными региональными изменениями палеогеографической обстановки и климата, с тектоническими процессами, возможно, и с космическими явлениями.

Таким образом, цикличность седиментации следует рассматривать как бы на трех уровнях: 1) на уровне пород — от слоев породы (слоистость) до «многослоев», ритмитов, литоритмов разных порядков. Время их формирования измеряется большей частью годами: в зависимости от причин и условий от единиц до сотен лет (хотя не исключено, что иногда при сложной многопорядковой ритмичности время формирования литоритмов более высоких порядков может быть и больше); 2) на уровне комплексов пород различного состава и фациальной характеристики. Это литоциклы низких рангов: от элементарных 1-го порядка и выше. По объему они соизмеримы с местными стратиграфическими подразделениями вплоть до свит и даже серий. Время их формирования измеряется тысячами лет (от единиц до сотен, редко больше); 3) на уровне крупных осадочных толщ разных формаций. Это литоциклы высших рангов, по объему и значению примерно соответствующие общим стратиграфическим подразделениям от ярусов и выше, до самых крупных. Время их формирования измеряется миллионами лет.

Цикличность на каждом из этих уровней характеризуется разными процессами, вызывается различными причинами и требует того или иного методического подхода. Если изучение литоциклов низших рангов теснейшим образом связано с фациальным анализом отложений, то выделение ЛЦ высших рангов связано уже и с формационным анализом толщ пород, и с рассмотрением синхронных им тектоноциклов. Понятно, что резкой границы между уровнями нет.

Время формирования дается лишь приблизительно. При этом нельзя забывать, что оно для литоциклов даже одного порядка различно в зависимости от конкретных условий и формирующих факторов (как мы видели это на ряде примеров). Таким образом, градация всех ЛЦ от самых мелких до самых крупных по этому признаку невозможна. И уж никак нельзя класть признак абсолют-

ного времени формирования в основу выделения литоциклов. При таком подходе мы не можем определить порядок ЛЦ, не зная времени его формирования, а последнее нельзя определить (даже приблизительно), не выделив предварительно ЛЦ и их ранги. Получается «заколдованный круг». Но несмотря на разногласия, существующие по ряду вопросов, литоциклы в качестве стратиграфических единиц, помогающих расчленению и корреляции разрезов, уже используются многими геологами на примере разнообразных осадочных толщ, особенно терригенных. Кроме угленосных толщ, где цикличность уже широко применяется, следует отметить ритмостратиграфию моласс (В. И. Попов и др.); флиша (С. Л. Афанасьев, Н. Б. Вассоевич и др.); осадочных формаций Горного Алтая (И. А. Вылцан); работы Ю. Н. Карогодина и др., под руководством А. А. Трофимука, по нефтеносным толщам; корреляцию осадочных отложений Русской платформы (С. В. Тихомиров); работы по карбонатным толщам (В. С. Сорокин, Р. Э. Эйнасто и др.); соленосным отложениям и по ряду других многочисленных объектов. Особенно следует отметить сопоставление отложений осадочных формаций по литоциклам высших рангов (А. Б. Ронов, С. В. Тихомиров и др.).

Большое значение может иметь циклостратиграфический метод при изучении немых докембрийских толщ. Для расчленения и корреляции таких разрезов могут быть использованы не только литоциклы, но и литоритмы разных рангов (см. гл. 2).

В результате многих работ, проведенных на разных объектах, были предложены дополнения к Стратиграфическому кодексу СССР (Ритмостратиграфические подразделения, 1978). При этом к ритмостратиграфическим подразделениям были отнесены не только циклостратиграфические, но и магнитолитостратиграфические, а также другие единицы разрезов. Эта работа перегружена терминами, в ней много спорного. Например, мы не можем согласиться с тем, что циклостратиграфическая классификация — морфологическая, а не генетическая (там же, с. 49). Однако основные положения, касающиеся циклостратиграфических единиц, безусловно, заслуживают внимания, в частности, то, что «ни мощность циклотем, ни длительность ритмов не может быть основой естественной классификации циклостратиграфических подразделений. Таковой может быть только один критерий — возможность их опознания и прослеживания в пространстве» (там же, с. 50). Это мы уже неоднократно отмечали в своей работе.

Можно считать, что аспект практического использования сведений о цикличности уже принят на вооружение при работах по стратиграфии.

7.2. Цикличность и палеогеографические построения

Фациально-циклический анализ, как мы видели выше, помогает построению палеогеографических карт (методика описана в гл. 6). Такие карты могут быть разной степени детальности и состояться с различной целенаправленностью. Наиболее детальные — это карты для определенных частей литоциклов, например, трансгрессивной или регрессивной. По нагрузке они наиболее близки к обычным географическим картам, но их построение возможно лишь при достаточно точном прослеживании ЛЦ на площади и при достаточно частой сети наблюдений.

Можно показать обобщенную палеогеографическую обстановку во время формирования литоцикла в целом. Но это уже будет скорее схема, а не палеогеографическая карта, так как разнообразие условий седиментации (и их изменение за время формирования ЛЦ) трудно изобразить в одном временном интервале. Можно дать обобщенное изображение преобладания тех или иных условий седиментации на различных участках изучаемой площади, за время формирования ряда циклов. Это обобщенная карта-схема.

Наиболее интересно составление палеогеографических карт на основе циклического анализа в связи с каким-либо полезным ископаемым. На них можно показать и ту фациальную обстановку, которая предшествовала его накоплению, и ту, которая за ним последовала. Это может быть представлено в виде трех карт. Например, на рис. 60 были показаны: 1) фациальная обстановка, предшествовавшая накоплению угольного пласта; 2) распространение угольного пласта и местоположение участков его наибольшей мощности; 3) фациальная обстановка, сменившая распространение торфяников. Если предшествовавшие условия были менее разнообразны, то карты I и II можно совместить на одной карте.

Здесь открываются широкие возможности для наглядного изображения зависимости тех или иных свойств полезного ископаемого от «субстрата», на котором он развивается, а также влияния последующих седиментационных процессов. Для угольного пласта, например, можно показать степень зольности в разных участках, или наличие примесей редких элементов, или еще какие-либо параметры, интересующие исследователя.

То же относится и к рудным залежам, и к другим полезным ископаемым. Как мы видели, формирование полезного ископаемого часто происходит в два этапа, приурочиваясь к «плечам» циклической кривой. Конечно, интересно проследить качественную характеристику того или иного пласта в зависимости от того, приурочен он к концу регрессивной фазы цикла или к началу трансгрессивной части. Мы знаем, что в зависимости от того, трансгрессирует море или регрессирует, осадки, формирующиеся в одной и той же фациальной обстановке, будут различны (Ботвинкина,

1956 б). Можно предположить, что в этих случаях характеристика полезного ископаемого по ряду признаков будет несколько различной.

Применение наших знаний о седиментационной цикличности в этом направлении исследований еще мало используется. Между тем составление подобных карт может сыграть положительную роль при практических работах по полезным ископаемым разного рода.

7.3. Цикличность седиментации и синхронные ей тектонические движения

Ряд геологов уделял и уделяет большое внимание периодичности и цикличности различных тектонических процессов, которые отражаются в особенностях литоциклов разных рангов. Однако в зависимости от масштаба явления связь их может осуществляться различно.

Исследователи, изучающие литоциклы высшего ранга, связывают их с цикличностью крупных тектонических процессов, эпохами горообразования или же, наоборот, с выравниванием территорий, появлением перерывов в седиментации, образованием кор выветривания и резкостью границ между осадочными толщами, выпадением части разрезов и другими признаками (Кунин, Сардонников, 1976). Начало регрессии обычно совпадает с началом роста структур. Следовательно, литоциклы, выделяемые с начала регрессии, более непосредственно сопоставляются с тектоническими циклами, чем те, за начало которых принимается начало трансгрессии.

В. Е. Хаин (1971, 1973, 1977) рассматривал периодичность тектонических процессов, связанных с эпохами активизации тектонических движений. Отмечается влияние периодичности последних на циклическую седиментацию и взаимозависимость различных процессов. С. В. Тихомиров (1967, 1972, 1975) отметил зависимость циклически построенных толщ от разных типов движений земной коры. Р. О. Хачатрян (1975) считает, что тектоническая цикличность и обусловленная ею стадийность седиментогенеза оказали решающее влияние на условия нефтегазообразования и нефтегазонакопления на различных стратиграфических уровнях в разрезе осадочных пород древних платформ. В ряде работ отмечалось, что литоциклы разных рангов отражают характер прогибов (компенсированных и некомпенсированных). В других случаях они характеризуют те или иные особенности платформенного развития.

Исследователи, изучающие ЛЦ низшего ранга, начиная с элементарных, также отмечают их связь с синхронными тектоническими движениями, но несколько иного рода. Уже давно было вы-

сказано мнение, что литоциклы, начиная с элементарных 1-го порядка, своим появлением обязаны колебательным движениям. Эта концепция существует и до сих пор. Зависимость формирования ЛЦ от колебательных движений высказывается большинством геологов (хотя часто она приводится бездоказательно или доказываемся недостаточно убедительно). Как видно из рассмотрения фактического материала, колебательные движения в большей мере обуславливают появление литоциклов миграционного типа.

Иная точка зрения заключается в том, что цикличность формируется в результате погружения и его компенсации осадками, причем скорости и того и другого изменяются. При отрицательном движении компенсация уменьшает трансгрессивный характер литоцикла (иногда до создания «ложной регрессии»), а при положительном — усиливает его регрессивность. На примере изучения докембрия Карелии мы видели, что цикличность в разных прогибах имеет свои индивидуальные черты, поэтому сопоставление литоциклов, сформированных в разных тектонических структурах, эффективнее для литоциклов более высоких порядков. В ряде случаев было отмечено, что нижние литоциклы в прогибах значительно более мощные, чем последующие, что указывает на более длительное равное соотношение скоростей прогибания и компенсации его осадками при усиленном поступлении осадочного материала в начале «жизни» прогиба.

Г. А. Иванов (1967 и др.) высказал мнение, что выводы о тектонике и колебательных движениях можно делать из рассмотрения гранулометрической кривой. Мы считаем, что для понимания особенностей тектонических движений и их доказательства необходим еще анализ фаций и их изменений, причем с учетом общего тектонического режима не только в области седиментации, но и в области сноса, а также ряда других дополнительных факторов.

Анализ расщепления литоциклов на конкретных примерах подтверждает существование колебательных движений разной силы, так как переход на площади элементарного литоцикла, в результате его расщепления, в ЛЦ следующего порядка нельзя объяснить иными причинами, например, изменением соотношения скоростей прогибания и компенсации его осадками (см. гл. 6).

Можно сказать, что почти все исследователи седиментационной цикличности так или иначе связывали это явление с тектоническими движениями (даже те, которые отдавали приоритет климатическим изменениям или эвстатическим колебаниям уровня моря). Этому вопросу уделялось внимание на различных совещаниях и в ряде опубликованных статей. Таким образом, в настоящее время взаимозависимость цикличности осадочного процесса и тектоники несомненна, причем тектонические движения определяют особенности литоциклов.

Правомерно поставить вопрос в другом аспекте — возможно ли

путем изучения особенностей ЛЦ уточнить те или иные черты тектонических движений. Специфический характер кривой цикличности (построенной с учетом разных признаков литоциклов и в особенности их фациального состава) может помочь определить характер тектонических движений, синхронных осадконакоплению. Так, например, в пределах одной общей фациальной обстановки возможны три варианта.

1. Глубоководные отложения на границе литоцикла резко сменяются более мелководными, которые затем длительно и постепенно вновь переходят во все более глубоководные. Тип литоцикла трансгрессивный. Тектонические движения: резкие поднятия сменяются длительным погружением области седиментации.

2. Постепенное изменение фаций от глубоководных до все более мелководных и резкая смена последних глубоководными. Тип литоцикла регрессивный. Тектонические движения: резкие опускания на фоне длительного поднятия (иногда с добавлением усиливающейся компенсации).

3. Постепенное изменение фаций: глубоководность и мелководность отложений то нарастает, то убывает. Тип литоцикла нейтральный, или же (чаще) в зависимости от преобладания той или иной тенденции — регрессивный или трансгрессивный. Тектоническая обстановка: чередование плавных поднятий и погружений.

Все эти литоциклы формируются на фоне ЛЦ следующего порядка. Случаи 1 и 2 бывают выражены еще четче, если одна из редуцированных частей отсутствует и выражается лишь границей размыва (или перерывом отложений).

Взаимосвязь циклической седиментации и тектонических движений выявляется еще отчетливее в результате детальной характеристики фаций при фациально-циклическом анализе.

Например, О. В. Жуков (1969) определял амплитуду движения области осадконакопления в связи с фациально-циклическим анализом отложений. К. И. Микуленко (1975) уделил внимание проявлениям следов землетрясений в виде оползневых горизонтов на различных стратиграфических уровнях. Эти следы закономерно распределяются по разрезу и тесно связаны с ритмическим строением осадочной толщи, так как «оба эти явления обусловлены циклическим проявлением тектонических движений» (с. 100). Следы землетрясений занимают определенное место в осадочных циклах.

Восстановлению тектонической обстановки может способствовать изучение не только цикличности, но и ритмичности. И. А. Вылцан (1974 и др.) показал, что в качестве критерия геотектонических условий образования осадочных формаций можно использовать полноту ритмогамм (см. выше). Многоритмовые ритмогаммы, нередко симметричного строения, встречаются в терригенных формациях, возникающих в период интенсивного погружения субстрата геосинклиналей, компенсируемого осадконакоплением. Ритмогаммы,

содержащие малое количество элементарных ритмов и асимметричного строения, фиксируются преимущественно в орогенный этап и связаны с заключительной стадией геосинклиналей. Изменчивость полноты ритмогамм помогает выявлять скрытые перерывы в осадконакоплении. В роли индикатора перерыва здесь выступает выпадение («дефицит») мощности.

Наибольший перерыв там, где ритмогамма будет наиболее со-
сращенной, «урезанной».

Таким образом, мы видим, что изучение седиментационной цикличности может помочь при решении вопросов тектоники, причем в различных аспектах. Однако общая методика этого направления еще недостаточно разработана. и находится в стадии отдельных исследований различных авторов. Несомненно, что эта работа будет все более и более плодотворной по мере ее развития и применения на разных объектах. С одной стороны, мы сможем более уверенно определять причины формирования литоциклов, с другой — особенности последних, в свою очередь, будут способствовать выявлению характера тектонических движений разного рода и масштаба.

В заключение можно упомянуть «прикладное» значение цикличности или ритмичности при работах по тектонике. Если мы знаем тип элементарного литоцикла, а еще чаще — строение литоритма, то мы достаточно уверенно определяем подошву и кровлю «много-
слоя», что помогает определению прямого или опрокинутого залегания слоев в складчатой осадочной толще.

7.4. Связь полезных ископаемых с литоциклами

Наибольший интерес с практической точки зрения представляет выявление зависимости того или иного полезного ископаемого от его места в литоцикле. На основании рассмотрения разнообразного конкретного материала мы пришли к формулировке следующих закономерностей (см. гл. 2 и 5).

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

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

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

Указанные закономерности при циклическом анализе отложенных выявляют, в каких участках разреза можно с наибольшей

вероятностью ожидать встречу того или иного полезного ископаемого, а какие неперспективны.

Сказанное относится как к элементарным литоциклам, так и к ЛЦ последующих порядков. Можно думать, что наибольшие концентрации следует ожидать там, где совпадают перспективные области литоциклов 1-го и 2-го порядков. Наиболее продуктивными должны быть элементарные литоциклы, принадлежащие «плечам» перегиба кривой цикличности 2-го порядка, т.е. завершающие ее ЛЦ регрессивного типа, или же ЛЦ трансгрессивного типа, расположенные в начале трансгрессивной фазы ЛЦ 2-го порядка. Однако это положение необходимо специально проверять на различных объектах. Надо также проследить, как на данном фоне накладывается влияние различных факторов и их взаимозависимость.

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

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

Приуроченность к определенному месту в литоцикле или же отсутствие этой связи для какого-либо полезного ископаемого спорного генезиса, по-видимому, может служить одним из доказательств его происхождения — осадочного или глубинного.

Мы говорили в основном о литоциклах низших рангов, не касаясь того, что ряд исследователей прослеживали крупную цикличность эпох максимального накопления различных полезных ископаемых, связанных с эпохами максимальных трансгрессий и регрессий, горообразовательными этапами и другими явлениями крупного масштаба. Это концепция поясов и узлов угленакопления П. И. Степанова; показанная в известных работах Н. М. Страхова связь полезных ископаемых с мировыми трансгрессиями и регрессиями; эпохи максимального нефтегазонакопления, соленакопления и др., отмеченные в работах многих исследователей. Перечисленные, а также аналогичные исследования показывают возникновение концентраций того или иного полезного ископаемого на фоне циклич-

ности в очень крупном плане, в зависимости от различных явлений, обуславливающих общую тенденцию развития осадконакопления и тем самым расшифровывающих связь с седиментационными циклами высших рангов. Такие работы дают основание для широких прогнозов и понимания общих закономерностей циклического осадкообразования и распределения полезных ископаемых в осадочной оболочке земли. Необходимо сопоставлять разные наблюдения над формированием полезных ископаемых в литоциклах низших и высших рангов, так как и те и другие имеют в этом плане свою специфику.

Вообще знание законов циклической седиментации может иметь широкое применение в различных аспектах. Но данное практическое направление исследований цикличности еще только развивается. Необходима постановка специальных наблюдений в этом плане для каждого из разнообразных полезных ископаемых. Пока же такие наблюдения еще разрознены и не проводятся по единой методике.

Задачи могут быть поставлены двояко. С одной стороны, полученные результаты нужны для выяснения связи полезных ископаемых с цикличностью седиментации, целенаправленно для каждого из многочисленных осадочных полезных ископаемых. С другой стороны, необходимо обобщение этих материалов и уточнение общих законов, которым подчиняется формирование повышенных концентраций различных веществ в ходе циклической седиментации разных порядков и рангов. Постановка и проведение всех этих наблюдений могут помочь как при поисково-разведочных работах, так и при составлении прогнозов.

7.5. О возможном практическом применении познания цикличности при изучении седиментации в вулканических областях

Выше мы говорили о специфическом характере цикличности, проявляющейся в вулканогенно-осадочных толщах. С точки зрения практического применения наших знаний, она может использоваться в ряде направлений.

Во-первых, с геологических позиций. В этом аспекте применение то же, что и для обычных осадочных толщ. Устанавливаемая определенная циклическая последовательность отложений и направленность смены генетических типов помогают при решении стратиграфических вопросов, расчленении и корреляции разрезов, даже если они сложены различными породами.

Во-вторых, при поисках полезных ископаемых наибольший интерес представляет выявление не только цикличности, но и ритmicности в комплексах отложений озерных, дельтовых, фумарольных полей. В этих комплексах мы видим сочетание периодического

осадконакопления и концентраций тех или иных веществ, как чисто осадочной, так и вулканогенной природы.

Наконец, в-третьих, знание особенностей циклической седиментации может помочь выявить черты синхронных ей тектонических движений. При этом существенную роль имеет выявление собственно вулканогенных литоциклов и их границ, часто совпадающих с границами циклов тектонических (особенно литоциклов более высоких порядков). Различные типов ЛЦ может явиться дополнительным признаком характеристики тех или иных вулканогенно-осадочных формаций. А. В. Пейве (1962, с. 5) указывал, что «задача изучения глобальной ритмики геологических явлений и хронологических закономерностей развития Земли вообще представляет огромный интерес».

Однако, кроме указанного выше использования наших знаний о цикличности, есть еще и другой аспект их применения. Дело в том, что выяснение закономерностей периодического действия вулканической активности предпринимается сейчас для прогнозирования вулканических взрывов и в других целях, имеет народнохозяйственное значение. Но эта работа основывается на материале наблюдений за действиями сравнительно небольшого количества современных активных вулканов и за промежуток времени не более 200—300 лет, что ничтожно мало по сравнению с геологическим временем эволюции вулканизма. При этом наблюдениям доступна в основном деятельность наземных вулканов.

Между тем закономерности, которым подчиняется вулканическая деятельность в настоящее время, должны быть выяснены на большом количестве объектов, причем как наземных, так и субмаринных, и в значительно большем интервале времени. А это возможно только в случае привлечения к таким исследованиям многочисленных геологических данных, полученных в результате анализа закономерностей формирования вулканогенно-осадочных формаций. С этой точки зрения большое значение имеет выявление периодичности разного рода, существующей в разновозрастных отложениях областей активного вулканизма, причин этой периодичности и характера ее проявления.

Познанию особенностей циклической седиментации в вулканических областях способствует изучение последовательности отложений современных областей активного вулканизма (Ботвинкина, 1974). Но возможна постановка и обратной задачи: от изучения процессов, проходивших в геологическом прошлом, к пониманию современного этапа их развития. С этим связаны такие практические выводы, как прогнозы усиления вулканической активности, землетрясений и других явлений, находящих свое вещественное выражение в вулканогенно-осадочных литоциклах. Это направление исследований имеет ряд сложностей и пока еще только намечается. Вместе с тем оно может оказаться перспективным.

* *
*

Как мы видим, практическое применение анализа цикличности уже нашло себе признание в работах по стратиграфии. Остальные направления только развиваются или начинают развиваться. По существу, каждый из затронутых вопросов требует своего особого рассмотрения. Наиболее важно выявить различные возможности использования этого метода исследования при работах по прогнозу, поискам и разведке полезных ископаемых, причем на каждом из этих этапов геологических работ должны использоваться разные стороны циклической седиментации.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В заключение кратко суммируем некоторые основные положения, выявившиеся в результате проведенной работы, а также коснемся задач, которые встают перед исследователем в связи с изучением циклической седиментации в различных аспектах и практическим применением получаемых данных.

1. Циклическое строение осадочной толщи, т. е. ее особая стратификация — это форма, содержанием которой является создающий ее процесс. Появление литоциклов разных типов и рангов определяется не одним, а различными факторами, действующими одновременно. Изучение циклической стратификации — дело достаточно сложное.

2. Полный литоцикл — это комплекс различных отложений, генетически связанных направленностью изменения их признаков сначала в одном, а затем в противоположном направлении. (В гемициклах сохраняется лишь одно направление изменений + резкий скачок.) Литоциклы повторяются в циклически построенном разрезе, но не однозначно, что обусловлено эволюцией осадконакопления на фоне цикличности более высоких порядков. Литоциклы выдерживаются в пространстве и могут быть прослежены на площади тем большей, чем выше порядок литоцикла.

3. Проведенное рассмотрение цикличности в отложениях разного состава и возраста, формирующихся в разнообразных условиях: тектонических, палеогеографических, климатических и гидродинамических, показало всеобщность седиментационной цикличности как одного из основных законов формирования осадочных толщ. Этот фактический материал послужил основанием для ряда выводов, как теоретических, так и практических.

4. Факторы, определяющие особенности циклической седиментации — это тектонические движения разного знака, палеогеографическая обстановка осадконакопления, климат и изменение этих факторов, а также перемещение масс осадка в результате оползней, штормов и других явлений. Из этих основных факторов тектонические движения разного рода определяют особенности строения литоциклов, а палеогеографическая обстановка седиментации — их состав. Влияние климата и его изменений проявляется различно: в некоторых случаях оно определяет появление ритмичности в нейтральных частях литоциклов, когда влияние тектонического

фактора ослабевает. С инъективным режимом седиментации связано формирование особого типа литоритмов и литоциклов. При участии в седиментации вулканогенного материала формируются ксенолитоциклы.

5. Для явления цикличности вообще характерно формирование литоциклов нескольких порядков: от элементарного 1-го до все более высоких. Наметились также ранги литоциклов от высших до низших (местных). Самый низший ранг — литоритмы; обычно это стратификационные единицы, подчиненные литоциклам. Однако в связи с тем, что ряд исследователей вместо термина «цикл» употребляет «ритм», вопрос о соотношении их требует специального обсуждения.

6. Для понимания особенностей литоциклов необходимо было разобрать ряд вопросов, например: что принимать за начало литоциклов и каковы их границы; как определять трансгрессивность и регрессивность отложений в затруднительных случаях (например, в континентальных отложениях и др.); какие признаки в литоцикле основные, а какие второстепенные; разобрать принципы нумерации литоциклов, а также какова взаимозависимость литоциклов разных рангов и их соотношение со стратиграфическими подразделениями и ряд других.

7. Общие черты циклической седиментации, независимо от ее проявления в той или иной формации, послужили базой для основной классификации — по направленности изменения фаций и генетических типов (литоциклы регрессивные, нейтральные, трансгрессивные) и соподчиненности литоциклов разных порядков (1-го, 2-го и других). Предложены и дополнительные классификации — по полноте набора отложений разных частей литоцикла (полный, неполный, гемицикл, урезанный литоцикл) и по сложности строения (простой или усложненный в какой-либо части). Эти классификации применимы при исследовании любых осадочных объектов. Приведены также разные принципы типизации: по фациальному составу литоциклов, по связи с какими-либо полезными ископаемыми и по другим признакам. Такие типизации составляются для разных конкретных объектов и не имеют всеобщего значения.

8. На основании анализа цикличности выделены законы ее формирования: как характеризующие само явление вообще, так и присущие только седиментационной цикличности. Выделены законы более общие и более частные, проявляющиеся лишь при наличии определенной ситуации. Эти законы имеют не только теоретическое, но и практическое значение. В частности, выявлен закон приуроченности каждого полезного ископаемого к своему определенному месту в литоцикле. При этом большинство полезных ископаемых тяготеет к нейтральным частям литоциклов.

9. Так как цикличность — явление сложное, обусловленное раз-

ными причинами, то и литоцикл должен выявляться не по его отдельным признакам, а по их комплексу. Поэтому в основе изучения цикличности должен лежать фациальный или генетический анализ, сопровождаемый рядом вспомогательных методов исследования, в зависимости от изучаемого объекта. Для изучения литоциклов высших рангов привлекается и формационный анализ.

10. Применение метода фациально-циклического анализа должно быть гибким. Метод — это не догма, а планомерный путь научного познания; методика — совокупность способов целесообразного проведения какой-либо работы. Поэтому в зависимости от особенностей объекта исследования возможны применения в большей степени то одной, то другой стороны предложенной методики, не нарушая, однако, ее основных принципов: этапности работы, неразрывности анализа и синтеза, учета соотношения эволюционного развития и «скачков» и других, изложенных выше. Проведенная работа позволяет наметить перспективу продолжения изучения цикличности в дальнейшем.

11. В настоящее время в ряде работ большое внимание уделяется вопросам теоретическим — методологии, терминологии, философским аспектам и др. Однако конкретная методика — как именно действовать геологу, желающему изучить цикличность, формулируется далеко не всегда. Мы считаем, что первоочередная задача — дать конкретные рекомендации в этом направлении. Некоторые усилия в этом плане мы сделали в третьей части данной работы. Мы не считаем, что описанная методика окончательна и уточнению не подлежит. Она была разработана в основном на материале угленосных толщ, хотя и с учетом специфики иных объектов, имеющих свои особенности. Не исключено, что при расширении исследований в этом плане выявятся какие-то дополнительные рекомендации.

12. В качестве первоочередной задачи необходимо рассмотреть, по возможности в едином плане, самые разнообразные объекты, чтобы можно было уверенно говорить о характере цикличности каждого из них (карбонатных отложений, фосфоритов, солей, различных руд и др.), как это уже сделано для угленосных толщ. Особое внимание надо уделить цикличности толщ, с которыми связаны те или иные полезные ископаемые (в частности, стратиформным месторождениям руд меди, свинца, цинка и др.).

13. Только на основе большого фактического материала, собранного по единой методике по самым разным осадочным толщам (а не только по терригенным отложениям), можно делать выводы о методологии исследований и об окончательном уточнении терминологии. При этом необходимо не только стремиться обязательно изменить и дать что-то свое, но и соблюдать принцип приоритета (и чем меньше новых терминов, тем лучше).

14. На этой основе дать обобщение с выявлением не только

специфики циклической седиментации каждого из объектов, но и той общности, которая характеризует седиментационную цикличность вообще. Начальным этапом такой работы авторы считают материалы, изложенные во второй части данной монографии. Они основаны не только на материале, приведенном во второй главе первой части, но и на анализе большого количества конкретного материала, оставшегося за пределами нашего текста во избежание его перегрузки. Мы надеемся, что все же удалось выявить основные законы циклической седиментации. Привлечение новых данных, собранных по единой методике, поможет уточнить их и дополнить.

15. Необходимо последовательно рассмотреть на ряде объектов связь литоциклов низших и высших рангов, а также в чем их сходство и отличие. Предлагаемые «непрерывные ряды» от сезонных ленточных глин до гигациклов, формирующихся в течение сотен миллионов лет, нереальны, так как на разных уровнях системы действуют разные процессы, и необходимо выявлять их взаимозависимость. (Это не касается таких сравнительно просто построенных толщ, как флиш и ему подобные.)

16. Существенно не только отметить, но и точно доказать зависимость цикличности седиментации от различных факторов, в том числе ее связь с другими природными явлениями — вулканизмом, тектоникой, космическими процессами и др. Это возможно сделать путем сравнительного анализа периодичности разных объектов.

17. Рассмотрение циклической седиментации и ее особенностей позволяет сделать выводы о возможности ее использования в практических целях. Литоциклы уже используются при стратиграфических работах для расчленения и корреляции разрезов. При этом следует учитывать, что литоциклы не заменяют общепринятые стратиграфические единицы, так как в основе тех и других лежат разные принципы. Практически они могут в одних случаях совпадать, в других — приблизительно соответствовать друг другу, в третьих — не совпадать совсем. Вместе с тем корреляция по литоциклам имеет ряд своих преимуществ (например, для «немых» осадочных толщ). По особенностям литоциклов возможны также уточнения палеогеографической обстановки и характера тектонических движений, но последнее еще недостаточно разработано.

18. Существенно для практики определение приуроченности каждого полезного ископаемого к определенному месту в литоцикле. Это может способствовать его прослеживанию, прогнозированию, выявлению закономерной связи с предшествовавшими и последующими обстановками седиментации и зависящими от этого качественными показателями. Такое направление исследований необходимо развивать в применении к ряду полезных ископаемых, в том числе — многим типам рудных месторождений.

19. Изучение седиментационной цикличности должно проходить

в тесной связи с формационным анализом. Прежде всего весьма интересно сравнение литоциклов в формациях, возникших в разных тектонических структурах или в различных климатических условиях и т. д., но с которыми связаны одни и те же полезные ископаемые. Пример такого сравнительного анализа мы дали во второй главе для угленосных формаций. Дальнейшее развитие таких исследований для разных формаций, в частности — рудоносных, представляет интерес как для понимания самого явления седиментационной цикличности, так и с точки зрения связи с нею различных типов полезных ископаемых. Необходимо проведение по единой методике работ по характеристике литоциклов и условий их формирования в конкретных формациях, а также сравнение последних с этой точки зрения.

20. Наконец, намечается еще одно направление. А. Л. Яншиным (1987) намечена на будущее, как одна из первоочередных, задача изучения эволюции осадочных формаций и месторождений в истории Земли. Но от изучения формаций в этом аспекте неотделимо рассмотрение присущей им цикличности и ее эволюции. Как показало предварительное рассмотрение фактического материала, цикличность, оставаясь одним из основных законов формирования осадков, видимо, все же видоизменялась во времени в связи с общим развитием осадочной оболочки Земли.

21. Таким образом, изучение цикличности, как закономерности формирования осадочных толщ, должно быть обязательным компонентом при проведении формационного анализа, помогающим решению ряда проблем геологической теории и практики.

ЛИТЕРАТУРА

- Азербает Н. А.* Цикличность геосинклинальных отложений Чу-Илийских гор (Южный Казахстан) // Докл. АН СССР. 1979. Т. 247, № 3. С. 668—671.
- Азербает Н. А.* Геосинклинальные отложения ордовика Байконурского синклинория. Алма-Ата: Наука, 1987. 136 с.
- Акульшина Е. П., Бгатов В. И., Казаринов В. П., Косолобов Н. И.* Закономерности осадконакопления в девоне и нижнем карбоне Южно-Минусинской котловины. Л.: Гостоптехиздат, 1960. 132 с.
- Аладжиев В. С.* Литология фосфоритоносных отложений Аксу-Баймоштинской зоны на севере Казахстана // Литология и полезные ископаемые. 1981. № 2. С. 107—117.
- Алексеев В. П.* Литология и условия формирования нерюнгринской свиты Южно-Якутского каменноугольного бассейна: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. М., 1979а. 20 с.
- Алексеев В. П.* К вопросу о закономерностях угленакопления в Алдано-Чульманском районе // Геология, поиски и разведка месторождений горючих полезных ископаемых. Пермь, 1979 б. С. 105—111.
- Алексеев В. П.* Мощное угленакопление в Южно-Якутском бассейне (на примере Нерюнгринского месторождения) // Стратиграфия, палеогеография, литология Южно-Якутского угольного бассейна и прогноз его угленосности. Л., 1979 в. С. 65—67.
- Алексеев В. П.* Применение цепей Маркова при изучении угленосных отложений Южно-Якутского бассейна // Геология, поиски и разведка месторождений горючих полезных ископаемых. Пермь, 1981. С. 24—32.
- Алексеев В. П., Герт В. А.* Цикличность как атрибут развития // Понятие развития и актуальные проблемы теории социального процесса. Пермь, 1985. С. 97—99.
- Алексеев В. П., Князев В. А.* Цикличность угленосных отложений Южной Якутии и математическая обработка генетической информации // Изв. вузов. Геол. и разв. 1983. № 6. С. 11—18.
- Алексеев В. П., Коростелева Н. Г.* Формализация генетических понятий — основа анализа цикличности // Математические методы анализа цикличности. М., 1985. С. 132—142.
- Алисов Б. П., Полтараус Б. В.* Климатология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. 224 с.
- Астраханцев В. И.* О периодичности климатических и геологических процессов // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. 1974. Вып. 106, № 5. С. 420—423.
- Афанасьев С. Л.* Ритмы и циклы в осадочных толщах // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1974. № 6. С. 141—142.
- Афанасьев С. Л.* Методика изучения пульсов (циклокомплексов) флишевой формации // Геосинклинальность. Новосибирск, 1976. С. 100—118.
- Балуховский Н. Ф.* Геологические циклы. Киев: Наук. думка, 1966. 168 с.
- Батанова Г. О.* О связи цикличности осадконакопления с распространением коллекторов в девоне Волго-Уральской нефтегазосной провинции // Цикличность отложений нефтегазосных и угленосных бассейнов. М., 1977. С. 171—176.
- Бауков С. С.* Геотектонические условия седиментации // Тр. Ин-та геологии АН ЭССР (I). 1956. С. 95—104.

Беленицкая Г. А. О ритмичности и слоистости железистых кварцитов Приимандровского района Кольского полуострова // Древнейшие осадочно-вулканогенные и метаморфические комплексы Кольского полуострова. М.; Л., 1966. С. 53—63.

Белт Э. С. Характер циклотем каменноугольного возраста Шотландии и их палеофациальное значение // Дельты — модели для изучения. М., 1979. С. 237—268.

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

Ботвинкина Л. Н. Сопоставление угольных пластов методом фациально-циклического анализа // Памяти акад. П. И. Степанова. М., 1952а. С. 188—207.

Ботвинкина Л. Н. О принципах выделения и типизации циклов осадконакопления в угленосных толщах // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1952б. № 1. С. 63—74.

Ботвинкина Л. Н. Условия накопления угленосной толщи в Ленинском районе Кузнецкого бассейна. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 106 с. (Тр. ИГН АН СССР. Угольн. сер. Вып. 139, № 4.)

Ботвинкина Л. Н. О начале циклов осадконакопления в угленосных толщах // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1954 а. № 13. С. 120—131.

Ботвинкина Л. Н. Строение и формирование древних аллювиальных отложений в свитах S_2^3 , S_2^6 , S_2^7 главной синклинали Донбасса. М.: Изд-во АН СССР, 1954 б. С. 172—208. (Тр. ИГН АН СССР. Угольн. сер. Вып. 151, № 5.)

Ботвинкина Л. Н. Метод сопоставления разрезов угольных толщ на основе фациально-циклического анализа // Тр. лаборатории геологии угля АН СССР. М., 1956 а. Вып. 5. С. 171—181.

Ботвинкина Л. Н. О трансгрессивных и регрессивных рядах фаций угленосных толщ // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1956 б. № 12. С. 46—52.

Ботвинкина Л. Н. К вопросу о связи речных отложений и угольного пласта с трансгрессией или регрессией // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1958. Т. 33. С. 97—105.

Ботвинкина Л. Н. О выделении диагенетической слоистости // Докл. АН СССР. 1959 а. Т. 125, № 1. С. 155—157.

Ботвинкина Л. Н. О методике литологического описания разрезов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1959б. № 8. С. 115—118.

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

Ботвинкина Л. Н. Слоистость осадочных пород. М.: Изд-во АН СССР, 1962 б. 542 с.

Ботвинкина Л. Н. Некоторые особенности генетических типов отложений и закономерности их наложения в параллельных формациях разных климатических областей // Вулканогенно-осадочные и терригенные формации. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 332—373.

Ботвинкина Л. Н. Методическое руководство по изучению слоистости. М.: Наука, 1965. 390 с.

Ботвинкина Л. Н. О характере связи текстуры с вещественным составом и структурой пород // Литология и полезные ископаемые. 1966а. № 4. С. 122—125.

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

Ботвинкина Л. Н. К познанию текстур осадочных пород и толщ // Литология и полезные ископаемые. 1970. № 3. С. 37—62.

Ботвинкина Л. Н. Древний ландшафт Земли. М.: Знание, 1973. 64 с.

Ботвинкина Л. Н. Генетические типы отложений областей активного вулканизма. М.: Наука, 1974. 318 с.

Ботвинкина Л. Н. О различии терминов «ритм» и «цикл» // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975 а. С. 26—27.

Ботвинкина Л. Н. Типизация и классификация седиментационных циклов //

Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975 б. С. 29—30.

Ботвинкина Л. Н. Ритмы и циклы в осадочных горных породах. М.: Знание, 1977 а. 48 с.

Ботвинкина Л. Н. Фации и генетический анализ различных отложений // Литологические исследования в Казахстане. Алма-Ата, 1977б. С. 20—27.

Ботвинкина Л. Н. Значение и методы исследования текстур для анализа цикличности // Цикличность осадконакопления нефтегазоносных бассейнов и закономерности размещения залежей. Новосибирск, 1978. С. 123—135.

Ботвинкина Л. Н., Македонов А. В., Любер А. А., Слатвинская Е. А. Типизация ландшафтов угленосных формаций // Угленосные формации и их генезис. М., 1973. С. 31—42.

Ботвинкина Л. Н., Селиверстов В. А., Соколова Т. Н., Яблоков В. С. Некоторые генетические типы красноцветных татарских отложений Оренбургского Приуралья // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1963. № 5. С. 47—66.

Ботвинкина Л. Н., Яблоков В. С. Особенности дельтовых отложений в угленосных и меленосных формациях // Дельтовые и мелководно-морские отложения. М., 1963. С. 194—199.

Ботнева Т. А. Цикличность процессов нефтегазообразования. М.: Недра, 1972. 256 с.

Будников В. И. Закономерности осадконакопления в карбоне и перми запада Сибирской платформы. Новосибирск, 1976. 136 с.

Вассоевич Н. Б. Флиш и методика его изучения. Л.; М.: Гостоптехиздат, 1948. 216 с.

Вассоевич Н. Б. Условия образования флиша. Л., М.: Гостоптехиздат, 1951. 240 с.

Вассоевич Н. Б. Уточнение понятий и терминов, связанных с осадочными циклами, стадийностью литогенеза и нефтегазообразования // Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза. М., 1977. С. 34—58.

Вассоевич Н. Б., Гладкова Е. Г. О необходимости упорядочения терминклатуры, связанной с периодичностью и цикличностью литогенеза, нефтеобразования и других природных явлений // Современные проблемы геологии и геохимии горючих ископаемых. М., 1973. С. 9—31.

Вассоевич Н. Б., Меннер В. В. Системные уровни организации сообществ осадочных пород // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1978. № 11. С. 5—14.

Верзилин Н. Н., Окнова Н. С. Признаки мутьевых потоков и оползания осадков в древних водоемах // Литология и полезные ископаемые. 1984. № 6. С. 118—123.

Вистелиус А. Б. К вопросу о механизме слоеобразования // Докл. АН СССР. 1947. Т. 65, № 2. С. 191—194.

Вистелиус А. Б. Основы математической геологии. Л.: Наука, 1980. 389 с.

Власов Г. М. О цикличности вулканических процессов // Вулканизм и геохимия его продуктов. М., 1967. С. 27—41.

Власов Г. М., Борисов О. Г., Попкова М. И. Неогеновая туфовая флишонидная формация Курило-Камчатской системы // Литология и полезные ископаемые. 1977. № 1. С. 110—123.

Выветривание и литогенез. М.: Наука, 1969. 456 с.

Вылцан И. А. К вопросу о соотношении ритмов различных порядков и их стратиграфических эквивалентов в осадочных формациях // Геология и геофизика. 1967. № 11. С. 38—47.

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

Вылцан И. А. Ритмоанализ как критерий установления ранга стратиграфических подразделений // Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза. М., 1977 а. С. 196—202.

Вылцан И. А. Ритмы — индикаторы геотектонических условий седиментогенеза // Там же. 1977 б. 237—243.

Галдобина Л. П. Опыт применения фашиально-циклического анализа к осадочно-метаморфическим толщам протерозоя // Литология и полезные ископаемые. 1966. № 3. С. 72—91.

Галдобина Л. П. Цикличность и распределение углеводов в шунгитосодержащих толщах докембрия Карелии // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 171—172.

Галдобина Л. П., Горлов В. И. Фашиально-циклический анализ шунгитосодержащих толщ заонежской свиты (верхний ятулий) Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 1975. С. 103—109.

Геккер Р. Ф. Введение в палеоэкологю. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 126 с.

Герасимов Н. П. О некоторых факторах видообразования и о значении их для стратификации // Материалы палеонтологического совещания по палеозою. М., 1953. С. 111—121.

Головкинский Н. А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна. СПб., 1868. 143 с.

Горбачев О. В. Кремнистые породы углеродистых формаций и их геохимические особенности // Литология и полезные ископаемые. 1985. № 3. С. 111—119.

Готт В. С. Симметрия и асимметрия. М.: Знание, 1965. 32 с.

Гречухин В. В. Изучение угленосных формаций геофизическими методами. М.: Недра, 1980. 360 с.

Давыдова Т. Н., Гольдштейн Ц. Л. Литологические исследования в Буреинском бассейне. М.: Госгеолтехиздат, 1949. 304 с.

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

Денисова Т. А. О причинах ритмичности в миоценовых молассах Предкарпатья // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 224—225.

Деревягин В. С., Морозов Л. Н., Свидзинский С. А. Строение и особенности формирования галогенной толщи Эльтонского соляно-купольного месторождения калийных солей // Литология и полезные ископаемые. 1979. № 1. С. 122—138.

Деч В. Н., Кноринг Л. Д. Методы изучения периодических явлений в геологии. Л.: Недра, 1985. 255 с.

Дмитриев Э. В., Черновский М. И., Шапошников В. А. О цикличности и слонности в толще железистых кварцитов Скелеватского магнетитового месторождения в Криворожском бассейне // Литология и полезные ископаемые. 1974. № 3. С. 100—107.

Другов Г. М., Замараев С. М. Некоторые черты седиментационной цикличности кембрийской галогенной формации Ангаро-Ленского прогиба // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 197—198.

Дружинин И. П. Фашиально-циклический анализ в палеогеографии и стратиграфии немых терригенных толщ неогена с рудами пластового типа // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1982. Т. 51, вып. 1. С. 73—88.

Еганов Э. А., Советов Ю. К. Каратау — модель региона фосфоритонакопления. Новосибирск: Наука, 1979. 190 с.

Жемчужников Ю. А. Цикличность строения угленосных толщ, периодичность осадконакопления и методы их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1947. С. 7—18.

Жемчужников Ю. А. Периодичность осадконакопления и понятия ритмичности и цикличности // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1955 а. Т. 30. С. 74—76.

Жемчужников Ю. А. Угленосные толщи как формации // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1955 б. № 5. С. 14—33.

Жемчужников Ю. А. Сходство и различия между фашиальным, фашиально-циклическим и фашиально-геотектоническим методами изучения угленосных толщ // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1958. № 1. С. 3—11.

- Жемчужников Ю. А.* Сезонная слоистость и периодичность осадконакопления. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 70 с.
- Жемчужников Ю. А., Яблоков В. С., Боголюбова Л. И.* и др. 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. 347 с.
- Жуков О. В.* О цикличности осадконакопления и угленакопления на восточном склоне Урала // Геология и полезные ископаемые Урала. Свердловск, 1969. С. 30—36.
- Загурев В. Г., Петров В. М., Хазанович К. К.* Хемогенные фосфориты Прибалтийского бассейна // Литология и полезные ископаемые. 1984. № 6. С. 131—143.
- Закруткин В. Е.* Углеродистая формация докембрия Приазовского блока Украинского щита // Литология и полезные ископаемые. 1980 а. № 5. С. 93—113.
- Закруткин В. Е.* Органическая геохимия углеродистой формации докембрия Приазовского блока Украинского щита // Литология и полезные ископаемые. 1980 б. № 6. С. 46—56.
- Зубаков В. А.* О принципах разработки классификации ритмостратиграфических подразделений // Проблемные вопросы литостратиграфии. Новосибирск, 1980. С. 91—102.
- Иванов Г. А.* Методика фашиально-геотектонического анализа угленосных отложений и применение ее в практике геолого-разведочных работ. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 127—152.
- Иванов Г. А.* Угленосные формации. Л.: Наука, 1967. 407 с.
- Иванов Г. А., Македонов А. В.* Ритмичность (цикличность) осадконакопления и закономерности размещения углей и горючих сланцев. Новосибирск: Наука, 1975. 30 с.
- Иванов Г. А., Македонов А. В., Иванов Н. В.* Методы изучения ритмичности (цикличности) осадочных толщ // Цикличность отложений нефтегазоносных и угленосных бассейнов. М., 1977. С. 17—37.
- История угленакопления в Печорском бассейне.* М., Л.: Наука, 1965. 247 с.
- Казанский Ю. П.* Введение в теорию осадконакопления. Новосибирск: Наука, 1983. 223 с.
- Казаринов В. П.* Мезозойские и кайнозойские отложения западной части Сибири. М.: Гостоптехиздат, 1958. 324 с.
- Казаринов В. П.* Циклы лито- и рудогенеза // Этапы литогенеза и закономерности локализации осадочных полезных ископаемых фанерозоя Сибирской платформы. Новосибирск, 1976. С. 3—17.
- Карогодин Ю. Н.* Ритмичность осадконакопления и нефтегазоносность. М.: Недра, 1974. 176 с.
- Карогодин Ю. Н.* Седиментационная цикличность. М.: Недра, 1980. 240 с.
- Карогодин Ю. Н., Гайдебурова Е. А.* Системные исследования слоевых ассоциаций нефтегазоносных бассейнов. Новосибирск: Наука, 1985. 112 с.
- Карогодин Ю. Н., Малащенко Г. Н., Саидходжаев Ш. Г.* Цикличность и нефтегазоносность палеогена Северного Таджикистана. Новосибирск: Наука, 1981. 216 с.
- Конкреции* и конкреционный анализ. Л.: ВСЕГЕИ, 1970. 161 с.
- Корневский С. М.* Марганец в галогенных формациях и вмещающих их толщах // Литология и полезные ископаемые. 1973. № 4. С. 71—77.
- Крашенинников Г. Ф.* Учение о фашиях. М.: Высш. школа, 1971. 368 с.
- Кунип Н. Я., Сардонников Н. М.* Глобальная цикличность тектонических движений // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1976. Т. 51, вып. 3. С. 5—27.
- Левчук М. А.* Литология и перспективы нефтегазоносности юрских отложений Енисей-Хатангского прогиба. Новосибирск: Наука, 1985. 166 с.
- Леонтьев Г. И.* Некоторые черты седиментационной ритмичности мамской толщи // Проблемы геологии докембрия. Л., 1971. С. 110—120.

Леонтьев Г. И. Опыт синхронизации древних ритмично-слоистых осадков методом графической коннекции // Литология и полезные ископаемые. 1972. № 1. С. 126—135.

Леонтьев Г. И., Гирс В. М. Корреляция различно метаморфизованных отложений докембрия Мамского района по средним концентрациям элементов-примесей // Докл. АН СССР. 1974. Т. 216, № 3. С. 648—650.

Леонтьев О. К. Морская геология. М.: Высш. школа, 1982. 344 с.

Лисицын А. П. Осадкообразование в океанах. М.: Наука, 1974. 438 с.

Лисицын А. П. Лавинная седиментация в морях и океанах. Сообщ. 1: Общие закономерности, глобальные уровни и пояса // Литология и полезные ископаемые. 1983. № 6. С. 3—27; Сообщ. 2: Накопление осадочного вещества в крупнейших дельтах мира. Первый глобальный уровень — закономерности количественного распределения и состава вещества // Там же. 1984. № 5. С. 3—28; Сообщ. 3: Накопление осадочного вещества в крупнейших дельтах мира. Второй глобальный уровень лавинной седиментации — основание континентального склона // Там же. 1985. № 4. С. 3—24; Сообщ. 4: Этапы седиментогенеза второго глобального уровня (подготовка, транспортировка, аккумуляция). Модели подводных конусов выноса // Там же. 1985. № 6. С. 3—19; Сообщ. 5: Особые механизмы перемещения осадочного вещества и формирование осадочных тел второго глобального уровня. Гравититы, их классы и ряды // Там же. 1986. № 4. С. 3—26.

Лисицын А. П. Лавинная седиментация изменения уровня океана, перерывы и пелагическое осадконакопление — глобальные закономерности // 27-й Международный. геол. конгресс. Коллоквиум 03: Доклады. Т. 3: Палеоокеанология. М., 1984. С. 3—21.

Лунгерсгаузен Г. Ф. Периодичность в изменении климата прошлых геологических эпох и некоторые проблемы геохронологии. // Докл. АН СССР. 1956. № 4. С. 707—761.

Лунгерсгаузен Г. Ф. О периодичности геологических явлений и изменений климатов прошлых эпох // Проблемы планетарной геологии. М., 1963. С. 104—143.

Лунева О. И. Основные черты литологии архейских кристаллических сланцев Кольского полуострова // Литология и полезные ископаемые. 1982. № 3. С. 94—105.

Лучников В. С. Цикличность в карбонатных толщах и методы ее изучения // Цикличность отложений нефтегазоносных и угленосных бассейнов. М., 1977. С. 131—136.

Македонов А. В. Современные конкреции в осадках и почвах. М.: Наука, 1966. 284 с.

Македонов А. В. Методы литофациального анализа и типизация осадков гумидных зон. Л.: Недра, 1985. 242 с.

Максимов С. П., Куни Н. Я., Сардонников Н. М. Цикличность геологических процессов и проблема нефтегазоносности. М.: Недра, 1977. 280 с.

Малиновский Ю. М. Зависимость периодичности осадкообразования от положения солнечной системы в Галактике // Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза. М., 1977. С. 117—123.

Марковский Б. П. Методы биофациального анализа. М.: Недра, 1966. 271 с.

Матвеев А. К. Геология угольных месторождений СССР. М.: Госгортехиздат, 1960. 495 с.

Математические методы анализа цикличности в геологии. М.: Наука, 1984. 178 с.

Математические методы исследования седиментационной цикличности. Новосибирск, 1985. 99 с.

Мизутани С., Миура С. Зависимые и независимые явления в чередовании слоев миоценовой формации Куними (Фукуй, Центральная Япония) — приложение анализа марковских цепей // Исследования по математической геологии. Л., 1978. С. 70—80.

Микуленко К. И. Место следов древних землетрясений в разрезах циклов

мезозоя Западно-Сибирской плиты // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 100—102.

Наливкин В. Д., Аристова Г. Б., Евсеев Г. П. и др. Ритмичность и нефтегазоносность // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 129—131.

Наливкин Д. В. Учение о фациях. М.; Л.: Изд-во АН СССР. Т. 1: 1955. 534 с.; Т. 2: 1956. 393 с.

Негруца В. З. Опыт фациального изучения протерозойских (ятулийских) отложений Центральной Карелии // Сов. геология, 1963. № 7. С. 52—76.

Негруца Т. Ф. Валунно-галечные конгломераты раннего докембрия и проблема тиллитов в восточной части Балтийского щита // Литология и полезные ископаемые, 1979. № 1. С. 74—88.

Одесский И. А. Волновые движения земной коры. Л.: Недра, 1972. 208 с. Опыт изучения разрезов осадочных толщ. Новосибирск, 1960. 44 с.

Осичкина Р. Г. Геохимические особенности и условия формирования соляных отложений верхнеюрской галогенной формации юга Средней Азии // Литология и полезные ископаемые, 1978. № 4. С. 102—111.

Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза. М.: Наука, 1977. 264 с.

Ошуркова М. В. Детальное расчленение угленосных отложений по палеогеологическим данным: Метод. рекомендации. Л.: ВСЕГЕИ, 1981. 40 с.

Павлидис Ю. А. Некоторые особенности образования современных прибрежных отложений в пределах вулканического архипелага. М.: Наука, 1968. 111 с.

Павлов А. П. Генетические типы материковых образований ледниковой и послеледниковой эпохи // Изв. Геолкома, 1888. Т. 7, вып. 7. С. 242—262.

Парченко В. И., Алексеев В. П. Об использовании растительных остатков для детального расчленения угленосных отложений // Новые данные по геологии, биостратиграфии и палеотектонике Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. С. 32—37.

Пауль Р. К. Условия образования ордовикских фосфоритов Ангаро-Илимского района // Литология и генезис фосфатоносных отложений СССР. М., 1980. С. 115—132.

Пейве А. В. Проблемы современной тектоники // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 7. С. 3—8.

Периодические процессы в геологии. Л.: Недра, 1976. 264 с.

Плотникова В. И., Смирнов А. И. Фосфориты Селеукского месторождения // Геология месторождений горнохимического сырья. М., 1959. С. 112—136.

Поливанова А. И. Роль соленосных толщ в размещении зон крупномасштабного газообразования // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 150—152.

Попов В. И. Литология кайнозойских моласс Средней Азии. Ташкент: АН УзССР. Т. 1: 1954. 524 с.; Т. 2: 1956. 313 с.

Попов В. И. О терминах «периодичность», «цикличность» и «ритмичность» // Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза. М., 1977. С. 72—94.

Попов В. И., Макарова С. Д., Филиппов А. А. Руководство по определению осадочных фациальных комплексов и методика фациально-палеогеографического картирования. Л.: Гостоптехиздат, 1963. 714 с.

Попов В. И., Тихомиров С. В., Макарова С. Д., Филиппов А. А. Ритмо-стратиграфические, циклостратиграфические и литостратиграфические подразделения. Ташкент: Фан, 1979. 112 с.

Попов В. П. Осадки западной части центральной котловины Индийского океана // Литология и полезные ископаемые, 1985. № 2. С. 16—35.

Проблемы геологии среднего протерозоя Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1972. 185 с.

Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 340 с.

- Процветалова Т. Н.* Ритмичность и нефтегазоносность неокома Западно-Сибирской плиты // Палеогеографические исследования в нефтяной геологии. М., 1979. С. 66—72.
- Пустовалов Л. В.* Петрография осадочных пород. М.; Л.: Гостоптехиздат, 1940. Ч. 1. 476 с.
- Раузер-Черноусова Д. М.* Периодичность в развитии фораминифер верхнего палеозоя и ее значение для расчленения и сопоставления разрезов // Материалы палеонтологического совещания по палеозою. М., 1953. С. 139—160.
- Раузер-Черноусова Д. М., Кулик Е. Л.* Об отношениях фузулинид к фациям и о периодичности в их развитии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1949. № 6. С. 131—148.
- Ритмостратиграфические подразделения.* Л.: ВСЕГЕИ, 1978. 71 с.
- Романовский С. И.* Динамика формирования флиша. Л.: Недра, 1976. 175 с.
- Романовский С. И.* Динамические режимы осадконакопления. Л.: Недра, 1985. 263 с.
- Ронов А. Б.* Общие тенденции в эволюции состава земной коры, океана и атмосферы // Геохимия. 1964. № 8. С. 715—743.
- Рудницкий В. Ф.* Положение колчеданных залежей в разрезе вулканогенно-осадочных пород Узельгинского рудного поля (Южный Урал) // Геология рудных месторождений. 1983. № 1. С. 40—49.
- Рудницкий В. Ф., Алексеев В. П., Масленников В. В.* О цикличности в формировании вулканогенных отложений колчеданных месторождений Узельгинского рудного поля (Южный Урал) // Докл. АН СССР. 1980. Т. 255, № 3. С. 689—692.
- Рухина Е. В.* Литология ледниковых отложений. Л.: Недра, 1973. 176 с.
- Седиментология.* М.: Недра, 1980. 646 с.
- Селли Р. К.* Введение в седиментологию. М.: Недра, 1981. 370 с.
- Семейкин И. Н., Колесников В. Л., Белоголовов В. Ф., Храпаль Ю. И.* Геологическое строение и типы руд северной части Уховольского месторождения фосфоритов (Восточный Саян) // Геология и геофизика. 1976. № 9. С. 82—91.
- Слатвинская Е. А.* Цикличность в угленосном карбоне Карагандинского бассейна // Докл. АН СССР. 1967. Т. 173, № 1. С. 168—169.
- Соколов Б. А., Конюхов А. И.* Отложения в зонах лавинной седиментации на материковых окраинах // Литология и полезные ископаемые. 1985. № 2. С. 137—141.
- Соколов В. А.* Геология и литология карбонатных пород среднего протерозоя Карелии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 184 с.
- Соколов В. А., Галдобина Л. П.* Ритмичность и цикличность ятулийских осадочных толщ // Геология, литология и палеогеография ятулия Центральной Карелии. Петрозаводск, 1970. С. 256—285.
- Соколов В. А., Галдобина Л. П., Хейсканен В. И.* Периодичность средне-протерозойского осадконакопления и вулканизма Балтийского щита как основа для литолого-геологических построений // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 210—211.
- Соколова Е. А., Ботвинкина Л. Н.* Опыт фациального анализа рудоносных вулканогенно-осадочных отложений // Рудоносные вулканогенно-осадочные формации геосинклиналей. М., 1965. С. 68—106.
- Сорокин В. С.* Этапы развития Северо-Запада Русской платформы во франском веке. Рига: Зинатне, 1978. 283 с.
- Сорокин В. С.* Сопоставление разнофациальных отложений историко-геологическими методами // 27-й Междунар. геол. конгресс: Доклады. Т. 1: Стратиграфия. М., 1984. С. 100—110.
- Стратиграфическая классификация, терминология и номенклатура.* Л.: Недра, 1965. 70 с.
- Стратиграфический кодекс СССР.* Л.: ВСЕГЕИ, 1977. 80 с.

- Страхов Н. М.* О периодичности и необратимой эволюции осадкообразования в истории Земли // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1949. № 6. С. 70—112.
- Страхов Н. М.* Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 535 с.
- Табылдиев К. Т., Киперман Ю. А., Тимченко А. И.* Каратауский фосфоритоносный бассейн. Алма-Ата, 1970. 40 с.
- Таранушиц Ф. Ф., Щибрик В. И.* Цикличность в вулканогенно-кремнистокарбонатной формации месторождения Западный Джайрем в Казахстане // Литология и полезные ископаемые. 1971. № 3. С. 84—99.
- Теоретические и методологические вопросы седиментационной цикличности и нефтегазоносности.* Новосибирск: Наука, 1988. 196 с.
- Тимофеев Н. П.* Геология и фашии юрской угленосной формации Южной Сибири. М.: Наука, 1970. 232 с.
- Тихомиров С. В.* Этапы осадконакопления девона Русской платформы. М.: Недра, 1967. 268 с.
- Тихомиров С. В.* Факторы осадочного процесса и его основной закон // Изв. вузов. Геология и разведка. 1972. № 3. С. 3—35.
- Тихомиров С. В.* Значение периодичности в строении стратисферы для решения вопросов стратиграфии // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 43—44.
- Трофимук А. А., Карогодин Ю. Н.* Место слоевых ассоциаций (циклитов) среди природных тел геологического уровня организации материи и принципы их выделения // Теоретические и методические вопросы седиментационной цикличности. Новосибирск, 1977 а. С. 3—47.
- Трофимук А. А., Карогодин Ю. Н.* Теоретические и прикладные вопросы цикличности седиментогенеза // Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза. М., 1977 б. С. 9—33.
- Труды Института геологических наук АН СССР.* Угольн. сер. 1947. Вып. 90. 240 с.
- Фивег М. П.* Условия образования месторождений калийных солей // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1955. № 3. С. 3—15.
- Фирсов Л. В.* Галактическая периодичность в развитии органического мира Земли // Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза. М., 1977. С. 104—116.
- Фролов В. Т.* Опыт выделения и систематики генетических типов морских отложений // Вестн. МГУ. 1968. № 6. С. 20—41.
- Фролов В. Т.* О происхождении ритмичности дельтовых угленосных толщ // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1972. Т. 47, вып. 4. С. 111—124.
- Хашн В. Е.* Предисловие к кн.: Дафф П., Халлам А., Уолтон Э. Цикличность осадконакопления. М.: Мир, 1971. С. 5—8.
- Хашн В. Е.* Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. 510 с.
- Хашн В. Е.* Цикличность и геотектоника // Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза. М., 1977. С. 213—221.
- Хачатрян Р. О.* Тектоническая цикличность, стадийность структурообразования и нефтегазоаккумуляции на плитах древних платформ // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 89—90.
- Хворова И. В.* История развития средне- и верхнекаменноугольного моря западной части Московской синеклизы. М., 1953. 320 с.
- Хворова И. В.* Флишевая и нижнемолагосская формации Южного Урала. М., 1961. 352 с.
- Хворова И. В.* Геосинклинальные кремнеобломочные породы и условия их формирования // Литология и полезные ископаемые. 1974. № 2. С. 36—48.
- Хворова И. В.* Терригенные обломочные отложения океанов и некоторых морей // Литология и полезные ископаемые. 1978. № 4. С. 3—23.
- Хворова И. В.* Основные черты седиментации в палеозойских геосинклинальных бассейнах и ее сравнение с седиментацией в современных океанах //

- 27-й Междунар. геол. конгресс: Доклады. Т. 6, ч. 1: Геология мирового океана. М., 1984. С. 3—8.
- Хворова И. В., Ильинская М. Н.* Верхнедевонские граувакковые (флишоидные) отложения Южного Урала и механизмы их формирования // Литология и полезные ископаемые. 1980. № 4. С. 55—67.
- Хворова И. В., Руженцев С. В.* Сравнение отложений палеозойских геосинклиналей, современных морей и океанов. Сообщ. 1: Отложения краевых морей и смежных участков океанов // Литология и полезные ископаемые. 1985. № 5. С. 3—15.
- Хворова И. В., Руженцев С. В.* Сравнение отложений палеозойских геосинклиналей. Сообщ. 2: Отложения палеозойских геосинклиналей // Литология и полезные ископаемые. 1986. № 2. С. 25—36.
- Хэллем Э.* Интерпретация фаций и стратиграфическая последовательность. М.: Мир, 1983. 328 с.
- Циклическая и событийная седиментация.* М.: Мир, 1985. 502 с.
- Цикличность* осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. 255 с.
- Цикличность* отложений нефтегазоносных и угленосных бассейнов. М.: Наука, 1977. 244 с.
- Чешиков К. Р., Никишин В. И.* Седиментационная ритмичность нефтегазоносных толщ платформы и ритмофациальный метод их изучения // Цикличность отложений нефтегазоносных и угленосных бассейнов. М.: Наука, 1977. С. 61—69.
- Чешиков К. Р., Постникова И. Е.* Закономерности размещения залежей нефти в карбонатных формациях и методы их изучения // 27-й Междунар. геол. конгресс. М., 1984. Т. 9, ч. 2. С. 327.
- Чижевский А. Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 366 с.
- Шаевич Я. Э.* Цикличность лёссовидных отложений: (на примере юга Западной Сибири) // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 190—191.
- Шаевич Я. Э.* Цикличность в формировании лёссов: (спыт системного подхода). М.: Наука, 1987. 104 с.
- Шанцер Е. В.* Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М.: Наука, 1966. 240 с.
- Шатский Н. С.* Фосфоритоносные формации и классификация фосфоритовых залежей // Совещание по осадочным породам. М., 1955. Вып. 2. С. 7—100.
- Швецов М. С.* Петрография осадочных пород. М.; Л.: Госгеолгиздат, 1948. 386 с.
- Шнитников А. В.* Изменчивость солнечной активности за историческую эпоху на основе ее некоторых земных проявлений // Бюл. комиссии по исследованию Солнца. 1951. № 7(21). С. 47—56.
- Шостакович В. Б.* Слоистые иловые отложения и некоторые вопросы геологии // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. 1941. Вып. 3. С. 393—405.
- Шрок Р.* Последовательность в свитах слонстых пород. М.: Изд-во иностр. лит., 1950. 564 с.
- Эйнасто Р. Э.* К вопросу о классификации и формировании поверхностей перерыва // Литология палеозойских отложений Эстонии. Таллинн, 1964. С. 123—131.
- Эйнасто Р. Э.* Седиментационная цикличность и стратиграфические подразделения: (в свете фациального анализа силурийских отложений на южном склоне Балтийского щита) // Цикличность осадконакопления и закономерности размещения горючих полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. С. 55—57.
- Эйнасто Р. Э.* Система перерывов в силуре Северной Прибалтики // Геология и палеонтология. Л.: Наука, 1989. С. 142—153.
- Юдович Я. Э.* Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.

Янишин А. Л. Основные проблемы соленакотления // Проблемы соленакотления. Новосибирск, 1977. Т. 1. С. 5—15.

Янишин А. Л. Эволюция геологических процессов в истории Земли // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1987. № 11. С. 13—19.

Allen J. R. L. Studies in fluvial sedimentation: lateral variation in some fining — upwards cyclothems from the Red-Marls, Pembrokeshire // Geol. J. 1974. Vol. 9, N 1. P. 1—16.

Beerbower J. R. Interpretation of cyclic Permo — Carboniferous deposition in alluvial plain sediments in West Virginia // Geol. Soc. of Amer. Bull. 1969. Vol. 80, N 9. P. 1843—1848.

Bouma A. H. Sedimentology of some flysh deposits. Amsterdam: Elsevier, 1962. 168 p.

Bramlett M. N. The Monterey Formation of California and the origin of its siliceous rocks. Washington: U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 2/2, 1946. 57 p.

Elliott T. Upper Carboniferous sedimentary cycles produced by river dominated, elongate deltas // J. Geol. Soc. Lond. 1976. Vol. 32, N 2. P. 199—208.

Kuenen Ph. H. Significant features of graded bedding // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1953. Vol. 37, N 5. P. 1044—1066.

Newberry J. S. Cycles of deposition in American Sedimentary rocks // Proc. Amer. Assoc. Adv. Sci. 1872. Vol. 22. P. 97—135.

Pruvost P. Sedimentation et subsidence // Livre jubilaire Centen sire Soc. Geol. France. P., 1930. P. 1830—1930.

Rhythm in sedimentation // Intern. Geol. Congress. L., 1950. Pt. 4. 99 p.

Symposium on cyclic sedimentation / Ed. Merriam D. F. Geol. Surv. of Kansas Bull. 1964. Vol. 169. 636 p.

Wanless H. R., Shepard F. P. Sea — level and climatic changes related to late paleozoic cycles // Bull. Geol. Soc. Amer. 1936. Vol. 47, N 8. P. 1177—1206.

Weller J. M. Cyclical sedimentation in the Pennsylvanian period and its significance // J. Geol. 1930. Vol. 38, N 2. P. 97—135.

Wells A. J. Cyclic sedimentation // Geol. Mag. 1960. Vol. 97, N 5. P. 389—403.

SUMMARY

Botvinkina L. N., Alekseyev V. P.

CYCLICITY OF SEDIMENTARY THICKNESS AND METHODS OF ITS INVESTIGATION

General problems connected with investigation of cyclicity are being reviewed in this work. Peculiarities of cyclic sedimentation in sedimentary thick layers of different composition, formed in different conditions: paleogeographic, climatic and tectonic are described on concrete examples.

Main objective regularities of cyclic sedimentation and its causes are being discussed. Classification of cyclotheme is presented. Different methods of its distinguishing and investigations are being considered. Some methods of cyclotheme investigations in reference to different objects are suggested. The possibility of application of information about cyclicity in practice is pointed out: for division and correlation of sections, search for mineral deposits and so on.

The book is addressed to a wide circle of practical geologists, researchers, post-graduate students and students of geological specialities.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ	
Глава 1. Общие вопросы	5
1.1. История изучения цикличности	5
1.2. Основные термины «цикл» и ритм» и связанная с ними дискуссия	10
Глава 2. Цикличность отложений разного состава и возраста, сформиро- ванных в различных палеогеографических, климатических, гидро- динамических и тектонических условиях	15
2.1. Общие замечания	15
2.2. Литоциклы в осадочных толщах, сложенных преимущественно терригенным материалом и сформированных при различных климатических условиях в наземной и прибрежно-морской обстановках	16
2.2.1. Угленосные толщи	17
2.2.2. Меденосные отложения	32
2.2.3. Отложения лёссов	36
2.2.4. Ледниковые отложения	37
2.2.5. Молассы	38
2.2.6. Дельтовые отложения	41
2.2.7. Отложения аллювиального генезиса	43
2.2.8. Отложения озер	44
2.3. Литоциклы в преимущественно биогенных и хемогенных породах, сформированных в водной среде (главным образом в морской)	48
2.3.1. Карбонатные отложения	49
2.3.2. Соленосные толщи	60
2.3.3. Кремнистые отложения	68
2.3.4. Фосфориты и фосфорсодержащие породы	74
2.3.5. Горючие сланцы	81
2.4. Литоциклы в отложениях разного состава, сформированных в морской и океанической, часто глубоководной, обстановках 2.4.1. Собственно геосинклинальные отложения	85
2.4.2. Океаническая седиментация	89
2.4.3. Отложения мутвых течений	96
2.5. Литоциклы в отложениях, формирующихся в специфических условиях	104
2.5.1. Вулканогенно-осадочные отложения	104
2.5.2. Нефтегазоносные отложения и нефтесодержащие толщи	114
2.5.3. Докембрийские отложения	123
2.5.4. Высокометаморфизованные отложения	134

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Глава 3. Выделение литоциклов и их основные черты. Терминология и классификация литоциклов. Литоритмы	138
3.1. Основные черты циклической седиментации	138
3.1.1. Определение литоциклов и их типы	139
3.1.2. О начале литоциклов и их границах	145
3.1.3. Литоциклы разных порядков и их соотношение	149
3.1.4. Понятия «порядок», «ранг» и «масштаб» литоциклов	151
3.1.5. Об определении трансгрессивной и регрессивной последовательности отложений в литоциклах разного состава	152
3.2. Классификация литоциклов	157
3.2.1. Классификации формальные и генетические	158
3.2.2. Классификация и типизация литоциклов. Терминология	161
3.3. Литоритмы и их соотношение с литоциклами	168
3.4. Литоциклы различного ранга и разные принципы их номенклатуры	176
3.5. О толщах «хаотических» и «монотонных»	184
Глава 4. Причины формирования литоциклов	185
4.1. Факторы формирования циклическости и причины, ее вызывающие	185
4.2. Периодичность различных природных явлений, их взаимосвязь и влияние на циклическую седиментацию	196
Глава 5. Основные законы формирования циклической седиментации и их связь с законами диалектики	204
5.1. Законы формирования литоциклов (общие и частные)	204
5.2. Проявление основных законов диалектики в седиментационных циклах	210

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Глава 6. Методика изучения седиментационной циклическости	214
6.1. Основные понятия генетического анализа	214
6.2. Литоциклы в геологических разрезах и фактический материал для их выделения	220
6.3. Прослеживание литоциклов в геологических разрезах и их корреляция	230
6.4. Усложнения при корреляции разрезов	236
6.4.1. Разрезы, вмещающие аллювиальные отложения	236
6.4.2. Разрезы с расщеплением литоциклов	243
6.4.3. О выдержанности мощностей литоциклов	247
6.4.4. Неполнота разреза	248
6.4.5. Изучение литоциклов инъективного режима	248
6.5. Прослеживание литоциклов на площади, палеогеографические построения	249
6.6. Вспомогательные методы выявления циклического строения осадочных толщ, основанные на признаках пород	256
6.6.1. Вещественный состав	257
6.6.2. Структура пород	261
6.6.3. Текстура пород	263
6.6.4. Биогенная часть	266
6.6.5. Физические свойства	268
6.7. Математические методы изучения литоциклов	272
6.8. Некоторые замечания по индексации и оформлению графики	279
6.8.1. Об индексации литогенетических типов и фаций	279
6.8.2. Составление легенды	281

6.8.3. Изображение литоциклов разных типов и рангов и их индексация	284
6.8.4. Рельефные колонки	285
6.9. Иные методы изучения литоциклов, предложенные различными исследователями	286
Глава 7. Практическое значение изучения цикличности	301
7.1. Литоциклы как стратиграфические единицы и их соотношение со стратиграфическими подразделениями	302
7.2. Цикличность и палеогеографические построения	308
7.3. Цикличность седиментации и синхронные ей тектонические движения	309
7.4. Связь полезных ископаемых с литоциклами	312
7.5. О возможном практическом применении познания цикличности при изучении седиментации в вулканических областях	314
Основные выводы и рекомендации	317
Литература	322

Научное издание

Ботвинкина Любовь Николаевна
Алексеев Валерий Порфирьевич

**ЦИКЛИЧНОСТЬ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ
И МЕТОДИКА ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ**

Редактор *С. Г. Галинова*
Мл. редактор *М. Г. Тюлькина*
Технический редактор *Т. М. Качула*
Корректор *Т. С. Валек*

ИБ № 460

Сдано в набор 18.01.91. Подписано в печать 24.04.91.
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Гарнитура литерат.
Печать высокая. Усл. печ. л. 21,0. Уч.-изд. л. 22,2. Усл. кр.-отт. 21,23.
Тираж 700 экз. Заказ № 22. Цена 3 р. 80 к.

Издательство Уральского университета.
620219, Свердловск, ГСП-830, пр. Ленина, 13 б.
Типография изд-ва «Уральский рабочий». г. Свердловск, пр. Ленина, 49.

Зр.80к.

