

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЦИКЛОГЕНЕЗА В ЭПИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ БАССЕЙНАХ С ТЕРРИГЕННОЙ СЕДИМЕНТАЦИЕЙ

С. Б. Шишлов* 

Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

* **Контакт:** Сергей Борисович Шишлов, sshishlov@mail.ru

Обобщены результаты фациального анализа разрезов юры-нижнего мела Западной Сибири, верхнего палеозоя Таймырского, Тунгусского и Печорского бассейнов, венда Балтийской синеклизы. Разработана концептуальная седиментологическая модель, описывающая миграцию обстановок осадконакопления при подъёме и падении уровня моря в эпиконтинентальных палеобассейнах гумидных умеренных климатических поясов. Она позволила установить общие закономерности строения трансгрессивно-регрессивных последовательностей слоев. Полученные результаты представляют собой эффективный инструмент для палеогеографических реконструкций и секвентного анализа терригенных сероцветных формаций вне зависимости от их возраста, геотектонической позиции и пространственного расположения.

Ключевые слова: эпиконтинентальные моря, гумидный климат, цикличность седиментации, трансгрессивно-регрессивные колебания уровня моря, обстановки осадконакопления, седиментологическая модель.

Цитирование: Шишлов С. Б. Общие закономерности циклогенеза в эпиконтинентальных бассейнах с терригенной седиментацией // Russian Journal of Earth Sciences. — 2025. — Т. 25. — ES4012. — DOI: 10.2205/2025es001041 — EDN: XKFDMF

Введение

С протерозоя по кайнозой в условиях гумидного умеренного климата на шельфах эпиконтинентальных морей и примыкающих к ним равнинах формировались терригенные сероцветные формации, которые отличаются полифациальным составом и существенной латеральной изменчивостью.

Для них характерны многократно повторяющиеся последовательности слоев, накопление которых происходило в режиме миграционного трансгрессивно-регрессивного циклогенеза [Романовский, 1985].

К настоящему времени опубликовано значительное количество работ, посвящённых методам изучения цикличности и особенностям строения этих формаций [Ботвинкина и Алексеев, 1991; Буш, 1977; Дафф и др., 1971; Иванов, 1967; Македонов, 1985]. Такие исследования, выполняющиеся в рамках фундаментальной научной проблемы создания теории цикличности седиментации, имеют и существенное практическое значение, поскольку с рассматриваемыми комплексами связаны гигантские запасы углеводородов и углей. В этой ситуации качество стратиграфических построений и минерагенических прогнозов в значительной мере определяется пониманием закономерностей строения слоевых систем, образующихся в результате трансгрессивно-регрессивных циклов осадконакопления.

Научная статья

<https://elibrary.ru/XKFDMF>

Получено: 2 июня 2025 г.

Принято: 13 июля 2025 г.

Опубликовано: 30 сентября 2025 г.



© 2025. Автор.

В настоящей статье представлена концептуальная модель циклогенеза в эпиконтинентальных бассейнах с терригенной седиментацией, которая разработана на основе анализа обширного фактического материала. Она отражает общие закономерности строения слоевых систем, формировавшихся за счет миграции обстановок осадконакопления в течение одного цикла подъема и падения уровня моря. Использование этой модели позволяет прогнозировать латеральные изменения последовательностей слоев, представленных в обнажении или керне скважины.

Теоретические положения, ключевые понятия и термины

Осадочные формации, образующиеся в эпиконтинентальных морях, состоят из *парагенераций* [Драгунов, 1973] – простейших систем слоев, формирование которых происходило благодаря трансгрессивно-регрессивным циклам миграции обстановок осадконакопления [Головкинский, 1868; Романовский, 1985; Фролов, 1995; Rutot, 1883]. На сейсмопрофилях они имеют вид линз (клиноформ) и именуются «сеймопакетами» [Шлезингер, 1998]. В секвенс-стратиграфии их называют «парасеквенсы» [Van Wagoner et al., 1990].

Эти трехмерные геологические тела мощностью до 50 м и протяженностью более 100 км не доступны для прямого наблюдения целиком. Непосредственно удается видеть только их случайные вертикальные сечения, представленные в обнажениях или керне скважин. Такие одномерные трансгрессивно-регрессивные последовательности слоев мы будем именовать *циклотемами* [Шванов, 1992; Weller, 1930]. Синонимами этого термина являются «основной ритм» [Иванов, 1967], «элементарный циклит» [Македонов, 1985; Трофимук и Карогодин, 1977], «элементарный седиментационный цикл» [Романовский, 1985], «литоцикл» [Ботвинкина и Алексеев, 1991].

Первую структурно-генетическую модель парагенерации разработал Н. А. Головкинский [Головкинский, 1868]. Он, анализируя результаты изучения разрезов перми Камско-Волжского бассейна, показал, что слои песчаников и мергелей облекают известняки, образуя «геологическую чечевицу» (рис. 1).

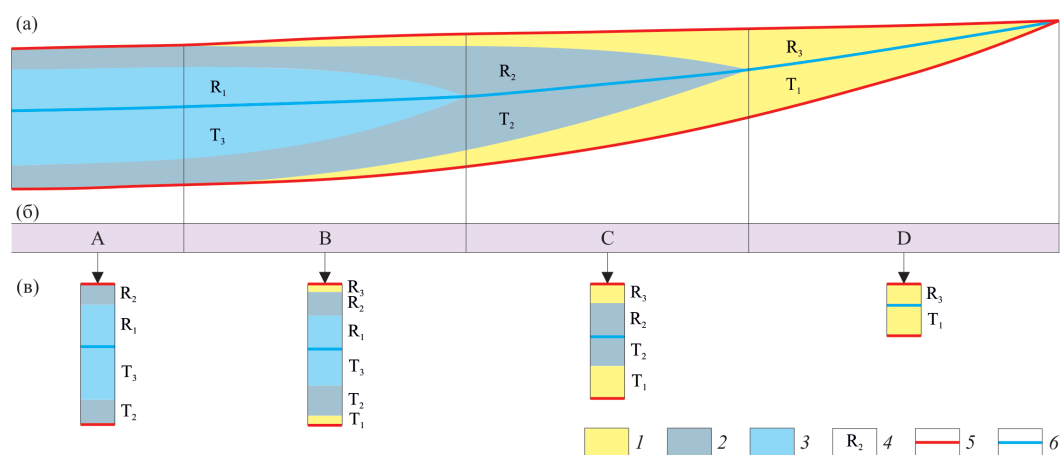


Рис. 1. Геологическая чечевица Головкинского (парагенерация). а – слоевая структура; б – фации А–Д; в – циклотемы. 1–3 – слои: 1 – песчаников, 2 – мергелей, 3 – известняков, 4 – индексы слоев: T₁ – трансгрессивный песчаник, T₂ – трансгрессивный мергель, T₃ – трансгрессивный известняк, R₁ – регрессивный известняк, R₂ – регрессивный мергель, R₃ – регрессивный песчаник; 5 – трансгрессивная поверхность (TS); 6 – поверхность максимального затопления (MFS).

Нижней и верхней границами этого геологического тела являются трансгрессивные поверхности (TS), при пересечении которых фиксируются признаки увеличения глубины бассейна. Трансгрессивную и регрессивную последовательности слоев разделяет поверхность максимального затопления (MFS), над которой появляются признаки обмеления (см. рис. 1, а).

В рассматриваемой автором проксимальной части парагенерации (строение дистальной части не обсуждается) представлены вертикальные сечения 4 типов, (см. [рис. 1, в](#)), что позволяет разделить ее на 4 *фации* – относительно однородные части единого разновозрастного интервала [*Цейслер, 1992*], отличающиеся от смежных особым типом циклотем (см. [рис. 1, б](#)).

Характеристикой каждой фации может служить *идеальная циклотема*, отражающая полный набор слоев, представленных в относительно однородной части парагенерации (см. [рис. 1](#)). Для составления идеальной циклотемы необходимо установить закономерности латеральных вариаций последовательностей слоев в рассматриваемых частных разрезах. Эту задачу помогает решить разработка концептуальной модели седиментации в палеобассейне, поскольку именно миграция обстановок осадконакопления по линиям, перпендикулярным простиранию берега во время трансгрессий и регрессий, является основной причиной формирования слоевой структуры парагенераций [*Головкинский, 1868; Романовский, 1985*].

Материалы и методы

Представляемая работа основана на материалах, собранных автором при описании обнажений и керна скважин суммарной мощностью около 40 000 м. Это разрезы юры – нижнего мел Западной Сибири [*Шишлов, 2024*], верхнего палеозоя Таймырского, Тунгусского и Печорского бассейнов [*Шишлов, 2010*], венда Балтийской синеклизы. Их анализ выполнен на основе интеграции структурно-вещественного [*Шванов, 1992*] и генетического [*Фролов, 1984*] подходов; принципов фациального анализа [*Walter, 1893*] и секвентной стратиграфии [*Позаментьер и Аллен, 2014*].

Процесс исследования, который подробно обсужден в монографии [*Шишлов, 2010*], можно разделить на семь этапов ([рис. 2](#)).

1. Послойное описание разрезов, при котором пристальное внимание уделялось межсоевым границам и первичным признакам пород, заключенных между ними (вещественный состав, структура, текстура, окраска, неорганические включения, ориктоценозы, ихнофоссилии, новообразования). Для уточнения этих характеристик использованы результаты микроскопического изучения шлифов.
2. Типизация слоев по сочетаниям первичных признаков пород и особенностям их изменений [*Шишлов, 2010, 2024*]. Реконструкция условий накопления установленных типов (динамика среды, Eh, pH, соленость) и особенностей их изменений в процессе слоеобразования опирается на публикации [*Буш, 1977; Дельты. . ., 1979; Зенкович, 1957, 1962; Македонов, 1985; Обстановки осадконакопления. . ., 1990; Павлидис и Никифоров, 2007; Рейнек и Сингх, 1981; Селли, 1989; Хэллем, 1983*]. При этом использованы энергетические зоны эпиконтинентального бассейна [*Irwin, 1965*]: Z – низкодинамичное мелководье, Y – динамичное мелководье, X – низкодинамичное глубоководье; и зоны рампа [*Burchette and Wright, 1992*]: внутренняя, расположенная выше базиса нормальных волн, средняя – между базисами нормальных и штормовых волн, внешняя – ниже базиса штормовых волн.
3. Составление для каждого исследованного разреза литологической колонки с гранулометрической кривой, которая удобна для анализа вертикальных последовательностей слоев, рассматриваемых как результат миграции энергетических зон палеобассейна.
4. Реконструкция обстановок осадконакопления на трансгрессивных и регрессивных фазах седиментации, которая базируется на генетической интерпретации типов слоев и анализе их вертикальных взаимоотношений на основе фациального закона Вальтера, гласящего, что обстановки формирования согласно залегающих друг на друге пород граничили на площади [*Walter, 1893*].
5. Результаты предыдущего этапа использованы для анализа смены обстановок осадконакопления во времени, которые позволили для каждого частного разреза построить кривую колебания уровня моря и установить положение ключевых поверхностей TS и MFS. Таким образом, определены границы циклотем.

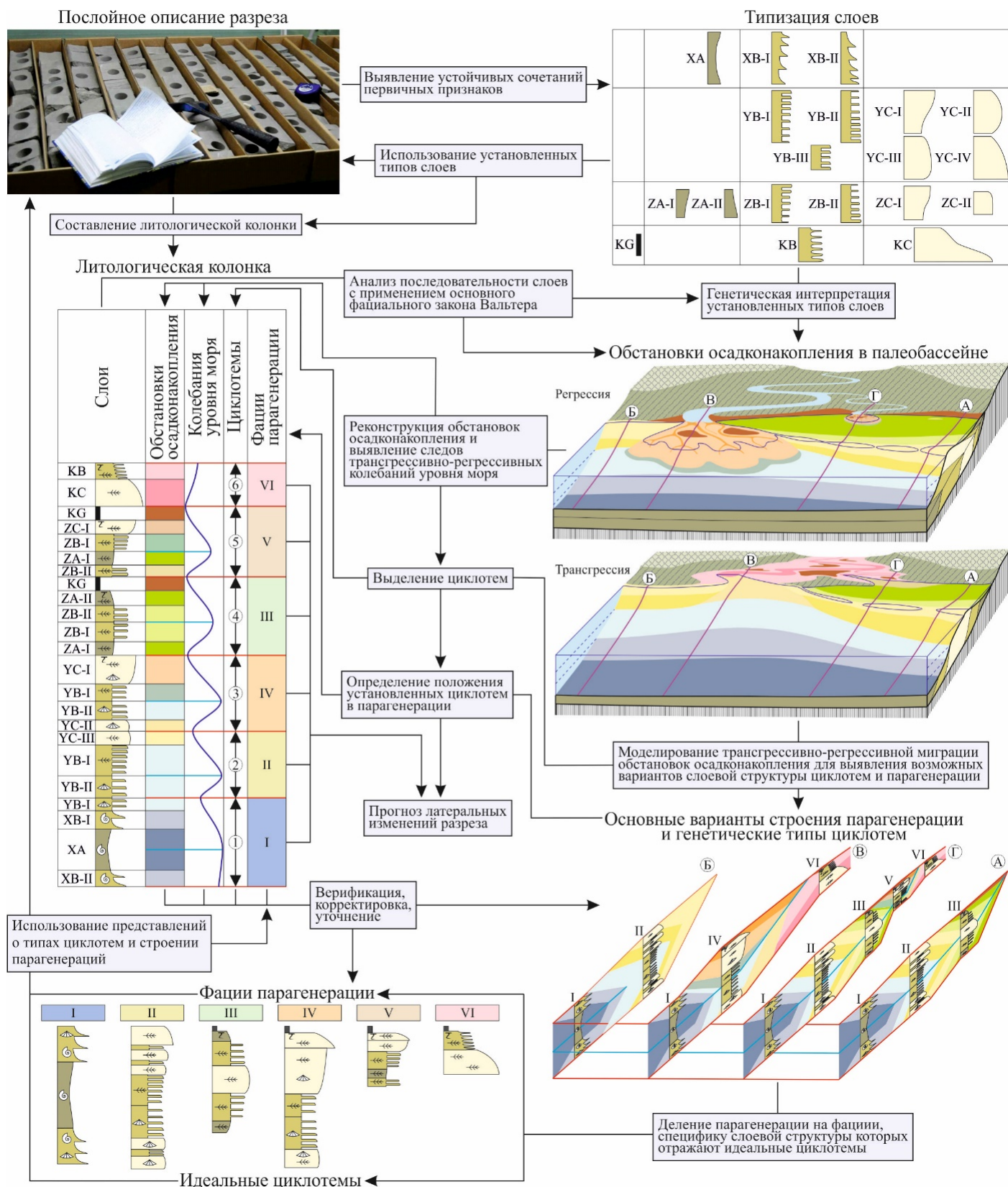


Рис. 2. Схема исследования. Пояснения в тексте.

6. Сравнение строения циклотем и их объединение в группы, так что особенности каждой отражает одна идеальная циклотема – вертикальная последовательность всех типов слоев, представленных в этом множестве.

7. В тесной взаимосвязи с этапом 6 выполнено виртуальное моделирование результатов трансгрессивно-регрессивной миграции обстановок осадконакопления. Оно позволило описать модификации слоевой структуры единой парагенерации и разделить ее на относительно однородные части – фации, охарактеризовав каждую идеальной циклотемой (см. [рис. 2](#)).

Дальнейшая работа включала следующие процедуры ([рис. 3](#)).

1. Детальная корреляция разрезов по кривым колебания уровня моря и изохронным поверхностям TS и MFS. Такой подход принципиально отличается от выполняемых по составу пород и результатам геофизических исследований скважин сопоставлений, которые базируются на прослеживании литологических границ – диахронных согласно правилу Головкинского [[Головкинский, 1868](#)].
2. Построение литолого-генетических профилей по нескольким взаимно пересекающимся линиям, что, по существу, обеспечивает создание трехмерной модели исследуемого стратиграфического интервала, которая отражает пространственно-временные изменения образующих его парагенераций.
3. Составление серии палеогеографических схем для узких интервалов геологического времени, соответствующих трансгрессивным (Tmax) и регрессивным (Rmax) максимумам.

Обсуждение процесса решения перечисленных выше задач, выходит за тематические рамки настоящей публикации, и они упомянуты здесь по двум причинам.

Во-первых, это обеспечивает верификацию результатов предшествующих этапов исследования (см. [рис. 2](#)). Часто оказывалось необходимым внести коррективы в типизацию слоев, реконструкцию обстановок осадконакопления, схемы строения идеальных циклотем и парагенераций. Такие итерации выполнялись до тех пор, пока не удавалось построить хорошо согласующуюся с фактическим материалом внутренне не противоречивую систему представлений об особенностях эволюции процессов осадконакопления в палеобассейне и формировавшихся при этом слоевых последовательностях.

Во-вторых, именно корреляция разрезов, литолого-генетические профили и палеогеографические схемы (см. [рис. 3](#)) имеют существенное практическое значение, поскольку являются основой прогноза строения геологического пространства при стратиграфических и минерагенических исследованиях.

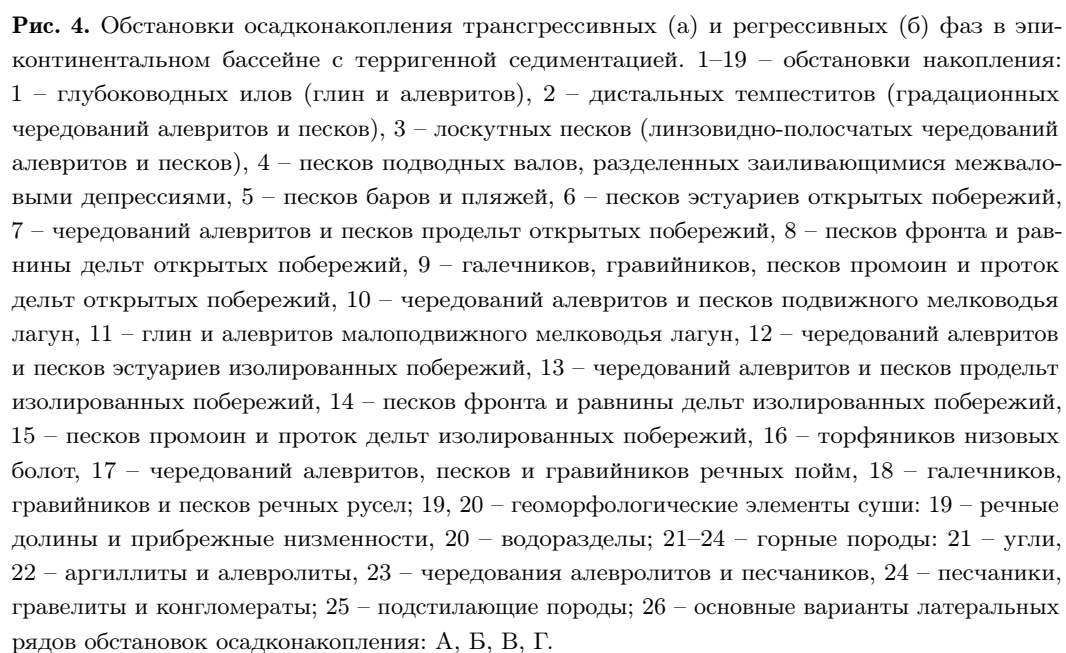
Результаты

Основным элементом разработанной концептуальной седиментологической модели являются схемы палеогеографической ситуации в эпиконтинентальном бассейне с терригенной седиментацией во время трансгрессии и регрессии ([рис. 4](#)). Они, как показывает практика, позволяют объяснить особенности слоевой структуры абсолютного большинства циклотем, установленных в разрезах.

На [рис. 4](#) линиями А–Г показаны основные варианты латеральных рядов обстановок осадконакопления терригенного рамп с изолированными (см. [рис. 4, А](#)) и открытыми (см. [рис. 4, Б](#)) побережьями, с эстуарием и дельтой открытого (см. [рис. 4, В](#)) и изолированного (см. [рис. 4, Г](#)) побережий в устьях рек. В течение одного цикла подъема и падения уровня моря каждый из этих рядов формировал особое сечение единой парагенерации.

Сечение А образуется в результате миграции обстановок накопления: глубоководных илов; дистальных темпеститов; лоскутных песков; песков подводных валов, разделенных межваловыми депрессиями; песков баров; чередований алевроитов и песков подвижного мелководья лагун; глин и алевроитов малоподвижного мелководья лагун, торфяников прибрежных болот ([рис. 5, а](#)). Возникающую при этом систему слоев можно разделить на три фации: I, II, III (см. [рис. 5, б](#)). Каждую из них удастся идентифицировать в разрезах по циклотемам трех типов, особенности которых отражают идеальные циклотемы (см. [рис. 5, в, г, д](#)): I – низкодинамичного глубоководья; II – динамичного мелководья; III – лагуны.





Фация I формировалась ниже базиса штормовых волн (см. рис. 5, а) за счет преимущественного осаждения алевропелитовых частиц, перемещаемых во взвесах из прибрежных областей приповерхностными и придонными течениями или мутьевыми потоками низкой плотности [Обстановки осадконакопления... , 1990; Рейнек и Сингх, 1981]. Она локализуется в дистальной части парагенерации (см. рис. 5, б) и ее вертикальные сечения (циклотемы низкодинамического глубоководья) представляют собой вариации идеальной последовательности слоев ХВ-II→ХА→ХВ-I (см. рис. 5, в).

В начале трансгрессии на поверхности TS накапливались дистальные темпеститы – глинистые алевролиты с градационными слойками тонкозернистых песков (слой ХВ-II). По мере увеличения глубины доля псаммитовых прослоев постепенно уменьшалась. В конечном счете, оседали только алевропелиты, образующие глубоководные силикатные илы (нижняя трансгрессивная часть слоя ХА). По минимальному количеству алевроитовых частиц и повышенному содержанию примеси органического вещества в средней части слоя ХА можно установить поверхность MFS (см. рис. 5, в).

Увеличение доли алевроитовых частиц в верхней части слоя ХА, вероятно, является следствием начала падения уровня моря. Дальнейшее развитие регрессии приводило к возобновлению накопления дистальных темпеститов и формированию слоя ХВ-I, отличающегося увеличением количества и толщины градационных песчаных слойков к кровле, которая является поверхностью TS (см. рис. 5, в).

Фация II накапливалась в обстановках среднего (между базисами штормовых и нормальных волн) и дистальной части внутреннего рампа (выше базиса нормальных волн) (см. рис. 5, а). Для этой средней части парагенерации (см. рис. 5, б) характерны циклотеми динамического мелководья, особенности которых отражает идеальная циклотема, образованная снизу вверх слоями УС-II→УВ-III→УС-II→УВ-II→УВ-I→УС-III→УВ-III→УС-III→УВ-III→УС-IV (см. рис. 5, г).

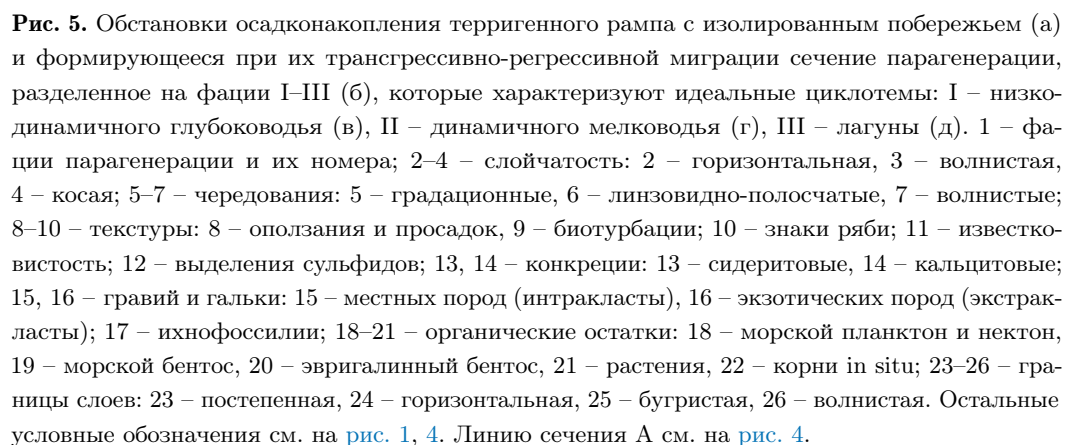
При подъеме уровня моря в поясе подводных валов, разделенных межваловыми депрессиями, на поверхности TS формировалось чередование слоев УС-II и УВ-III. Их перекрывают осадки области лоскутных песков – линзовидно-полосчатые чередования, алевропелитов и псаммитов слоя УВ-II. Характерное для него сокращение к верху доли песчаных слойков можно считать следствием снижения влияния штормовых волн при увеличении глубины. Кровля этого слоя является поверхностью MFS (см. рис. 5, г).

Во время регрессии на поверхности MFS в поясе лоскутных песков, накапливался слой УВ-I, который отличается увеличением количества и толщины песчаных слойков от подошвы к кровле, что, вероятно, связано с уменьшением глубины. Выше залегают отложения подводных валов (УС-III) и межваловых депрессий (УВ-III). Разрез венчают песчаники вдольбереговых островных баров, образующие слои УС-IV и УС-III. Их кровля представляет собой поверхность TS (см. рис. 5, г).

Фация III накапливалась в обстановках низкодинамического мелководья за барами (см. рис. 5, а). Она локализуется в проксимальной части сечения А (см. рис. 4) и идентифицируется по циклотемам лагуны. Их специфику отражает последовательность, впервые описанная как «элементарный цикл» угленосных пермских отложений [Македонов, 1961]. Снизу вверх ее образуют слои ЗА-I→ЗВ-I→УС-III→ЗВ-II→ЗА-II→КГ (см. рис. 5, д).

Исследования современных лагун гумидных поясов [Иванов, 1967; Македонов, 1985; Основные закономерности... , 1985; Рейнек и Сингх, 1981] показали, что здесь от берега к бару представлена следующая последовательность: торфяники заболоченного побережья (КГ); алевролиты и глины малоподвижного мелководья (ЗА-I, ЗА-II); чередования глинистых алевролитов и песков подвижного мелководья (ЗВ-I, ЗВ-II); пески тыловой части бара (УС-III) (см. рис. 5, а).

При подъеме уровня моря илы прибрежной застойной области (ЗА-I) перекрывали отложения подвижного мелководья (ЗВ-I). Здесь, во время штормов, за счет перехлеста волн через бар, накапливались тонкозернистые пески, а между штормами – глинистые алевролиты. Островной бар затапливался и мигрировал в сторону берега [Зенкович, 1957; Иванов, 1967], формируя слой УС-III. В его средней части локализуется гранулометрический максимум, маркирующий поверхность MFS (см. рис. 5, д).



Во время регрессии бар смещался в сторону моря. При этом образовывались острова, и степень изоляции лагуны от открытой акватории увеличивалась. Это приводило к сокращению площади подвижного мелководья (ЗВ-II) и расширению застойной области осаднения илов (ЗА-II). У берега накапливались торфяники низовых болот (КГ), кровля которых является поверхностью TS (см. [рис. 5, д](#)).

Сечение Б является следствием трансгрессивно-регрессивного смещения обстановок терригенного рампа с открытыми побережьями: глубоководных илов; дистальных темпеститов; лоскутных песков; песков подводных валов, разделенных межваловыми депрессиями; песков пляжа (рис. 6, а). Такой латеральный ряд возникает на участках со значительным уклоном донного профиля, который, препятствуя образованию бара, приводит к формированию пляжа [Зенкович, 1957, 1962]. В результате сечения Б состоит из фаций I и II (см. рис. 6, б, в, г), которые описаны выше, а его спецификой является отсутствие фации III.

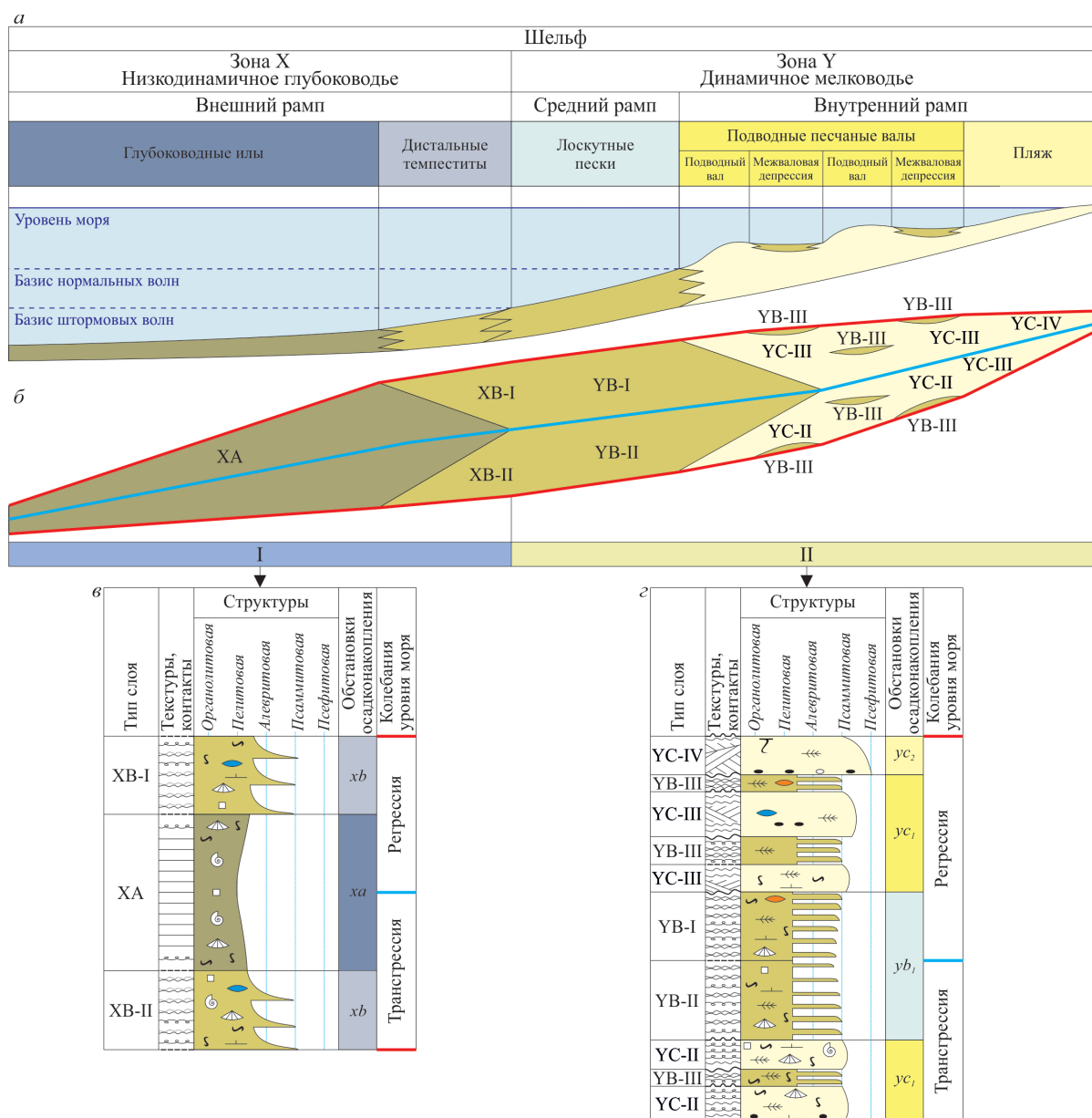


Рис. 6. Обстановки осадконакопления терригенного рампа с открытым побережьем (а) и формирующееся при их трансгрессивно-регрессивной миграции сечение парагенерации, разделенное на фации I, II (б), которые характеризуют идеальные циклотемы: I – низкодинамического глубоководья (в), II – динамического мелководья (г). Условные обозначения см. на рис. 1, 4, 5. Линию сечения Б см. на рис. 4.

Исследования современных побережий [Македонов, 1985; Обстановки осадконакопления... , 1990; Рейнек и Сингх, 1981] показали, что признаки осадков пляжей и баров (особенно островных) очень близки, и сами по себе не способны обеспечить достоверную идентификацию этих объектов. Поэтому циклотемы низкодинамичного глубоководья (фацция I) и динамичного мелководья (фацция II) можно отнести к сечению Б только выполнив корреляцию частных разрезов и показав, что по направлению к суше фацция II выклинивается, сменяясь поверхностью несогласия. Тогда можно считать, что в ее составе представлены отложения пляжей открытых побережий, расположенные вдоль эродируемой суши. Существенную помощь при таком анализе могут оказать сейсмические профили высокого разрешения, к которым привязаны рассматриваемые разрезы.

Сечение В образуется там где в море с открытым побережьем впадает река. На трансгрессивной фазе здесь формируются глубоководные илы; дистальные темпеститы; лоскутные пески; пески подводных валов, разделенных межваловыми депрессиями; пески эстуария; отложения речной долины: галечники, гравийники и пески русла, волнистые чередования алевритов и песков поймы, торфяники низовых болот (рис. 7, а). Во время регрессии накапливаются глубоководные илы; дистальные темпеститы; чередования алевритов и песков продельты; пески фронта и равнины дельты; галечники, гравийники, пески дельтовых промоин и проток; торфяники низовых болот на дельтовой равнине (см. рис. 7, б).

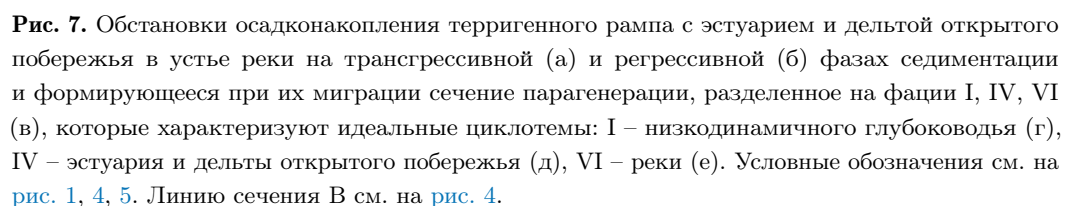
Сечение В состоит из трех фаций (см. рис. 7, в). Это дистальная фацция I, характеристика которой уже была дана выше, и две особые фации: центральная IV и проксимальная VI.

Фацция IV формировалась в устье реки за счет взаимодействия пресного однонаправленного речного потока и соленых морских вод с преобладающей возвратно-поступательной волновой гидродинамикой. Особенности строения фиксируемых здесь циклотем эстуария и дельты открытого побережья, отражает идеальная циклотема, в которой снизу вверх представлены слои $YC-III \rightarrow YB-II \rightarrow YB-I \rightarrow YC-I \rightarrow YC-IV \rightarrow KG$ (см. рис. 7, д).

Подобные последовательности установлены не только в голоценовых дельтах рек Миссисипи, Кланг, Сенегал [Дельты... , 1979], но и в разрезах палеозоя – мезозоя [Буш, 1977; Дубкова и др., 2022; Селли, 1981; Фролов, 1972, 1984; Хэллем, 1983; Шишлов, 2010; Шишлов и Дубкова, 2021; Шишлов и Журавлев, 2001, 2009].

На трансгрессивном этапе приустьевую часть речной долины затапливало море, и образовывался воронкообразный залив – эстуарий (см. рис. 4, а; 7, а). Здесь на поверхности TS накапливались пески слоя $YC-III$. Благодаря дальнейшему подъему уровня моря их перекрывали осадки среднего рамп – линзовидно-полосчатые чередования алевритов и песков слоя $YB-II$, кровля которого является поверхностью MFS (см. рис. 7, д).

Во время регрессии благодаря понижению базиса эрозии речная долина углублялась [Позаментьер и Аллен, 2014]. Это приводило к увеличению объема твердого стока, и в морской бассейн выдвигалась дельта (см. рис. 4, б; 7, б). При этом происходило: формирование приустьевых баров, подпруживающих речной поток; образование и миграция дельтовых протоков к энергетически наиболее выгодным путям стока, что приводило к возникновению новых и отмиранию прежних дельтовых лопастей; погружение отмерших дельтовых лопастей при уплотнении осадков [Дельты... , 1979; Обстановки осадконакопления... , 1990; Павлидис и Никифоров, 2007; Рейнек и Сингх, 1981]. В результате на поверхности MFS накапливались: отложения продельты ($YB-I$) – чередования алевритов глинистых и песков тонкозернистых, нарушенные текстурами оползания; пески фронта дельты и дельтовой равнины ($YC-I$) от тонкозернистых внизу до среднезернистых сверху с остатками бентоса и фрагментами наземных растений; пески дельтовых промоин и протоков ($YC-IV$), у основания крупнозернистые с гравием и галькой, а у кровли мелкозернистые с остатками корневых систем *in situ*; торфяники низовых болот дельтовой равнины (слой KG), кровля которых является поверхностью TS (см. рис. 7, д).



Фация VI накапливалась на трансгрессивной фазе седиментации (см. рис. 4, а; 7, а) при заполнении осадками переуглубленных речных долин [Позаментьер и Аллен, 2014] и образует проксимальную часть сечения В (см. рис. 7, в). Специфику ее слоевой структуры отражают циклотемы реки, которые залегают с размывом на подстилающих отложениях, отличаются уменьшением гранулометрического состава пород от псефитовых у основания до пелитовых вверху, и характерны для континентальных толщ разного возраста [Ботвинкина и Алексеев, 1991; Буш, 1977; Дафф и др., 1971; Обстановки осадконакопления. . ., 1990; Рейнек и Сингх, 1981; Селли, 1989; Хэллем, 1983; Шванов, 1992; Шишлов, 2024; Шишлов и Дубкова, 2021]. В идеальной циклотеме снизу вверх представлены слои КС→КВ→КГ (см. рис. 7, е).

Подъем уровня моря приводил к накоплению в русле реки слоя КС, сложенного у основания осадками стрежневой части потока (гравелиты и грубозернистые песчаники), которые кверху, за счет меандрирования, сменяют накопления прибрежных отмелей с замедленной скоростью течения (песчаники от крупно- до мелкозернистых). Благодаря продолжающейся боковой миграции потока на осадках русла залегают отложения поймы [Селли, 1989], образующие слой КВ – чередование алевролитов глинистых с остатками корней и песчаников разнотернистых, содержащих гравий. Низменные участки поймы и старицы заболачивались, и здесь формировались торфяники, образующие слой КГ (см. рис. 7, б).

При падении уровня моря доминировала донная эрозия и речные долины углублялись [Позаментьер и Аллен, 2014]. В это время (см. рис. 4, б; 7, б) формировалась эрозионная поверхность в основании следующей циклотемы (см. рис. 7, е).

Сечение Г является вариацией сечения А, в проксимальной части которого локализуются осадки реки, впадавшей в лагуну (см. рис. 4). Здесь представлены фации I–III (рассмотрены при описании сечения А), V и VI (рис. 8). Характеристика последней дана при описании сечения В.

Фация V формировалась в устье впадающей в лагуну реки. Для нее характерны циклотемы эстуария и дельты изолированного побережья, которые являются вариациями идеальной последовательности ZB-II→ZA-I→ZB-I→ZC-I→ZC-II→KГ (см. рис. 8, д).

Такие циклотемы были впервые установленных в пермских разрезах Таймырского и Печорского бассейнов [Шишлов, 2010], а затем и в керне из юры – нижнего мела Западной Сибири [Шишлов, 2024]. Они напоминают циклотемы эстуария и дельты открытого побережья фации IV, но отличаются низкой долей псефитовых обломков (особенно экстракластовых) и грубозернистых песчаных разностей; плохой сортировкой и повышенной глинистостью псефитов и псаммитов; отсутствием остатков морской фауны и обилием фрагментов континентальной флоры. Перечисленные особенности, по-видимому, связаны со спецификой приемного бассейна – лагуны, которая, в отличие от открытого моря, имела пониженную соленость и низкую гидродинамику, что было причиной слабой сортировки принесенного рекой материала. Кроме того, поскольку лагуны образуются при незначительных уклонах поверхности [Зенкович, 1957, 1962], впадающие в них реки имеют небольшую скорость течения и перемещают преимущественно «тонкие» частицы. При этом основным критерием отнесения наблюдаемых в разрезах циклотем к фации V является парагенетическая связь с осадками лагуны, которые входят в состав их трансгрессивной части, замещают по латерали, образуют подстилающие и перекрывающие слои.

При повышении уровня моря (см. рис. 8, а) устье реки, впадавшей в лагуну, превращалось в эстуарий. Благодаря накоплению аллювия в переуглубленной долине [Позаментьер и Аллен, 2014] здесь возникал дефицит осадочного материала, и волновая зыбь перераспределяла накопившиеся ранее отложения, формируя на поверхности TS чередование алевритового и песчаного материала слоя ZB-II. На нем залегают алевропелитовые отложения малоподвижного мелководья лагуны – слой ZA-I, кровля которого представляет собой поверхность MFS (см. рис. 8, д).

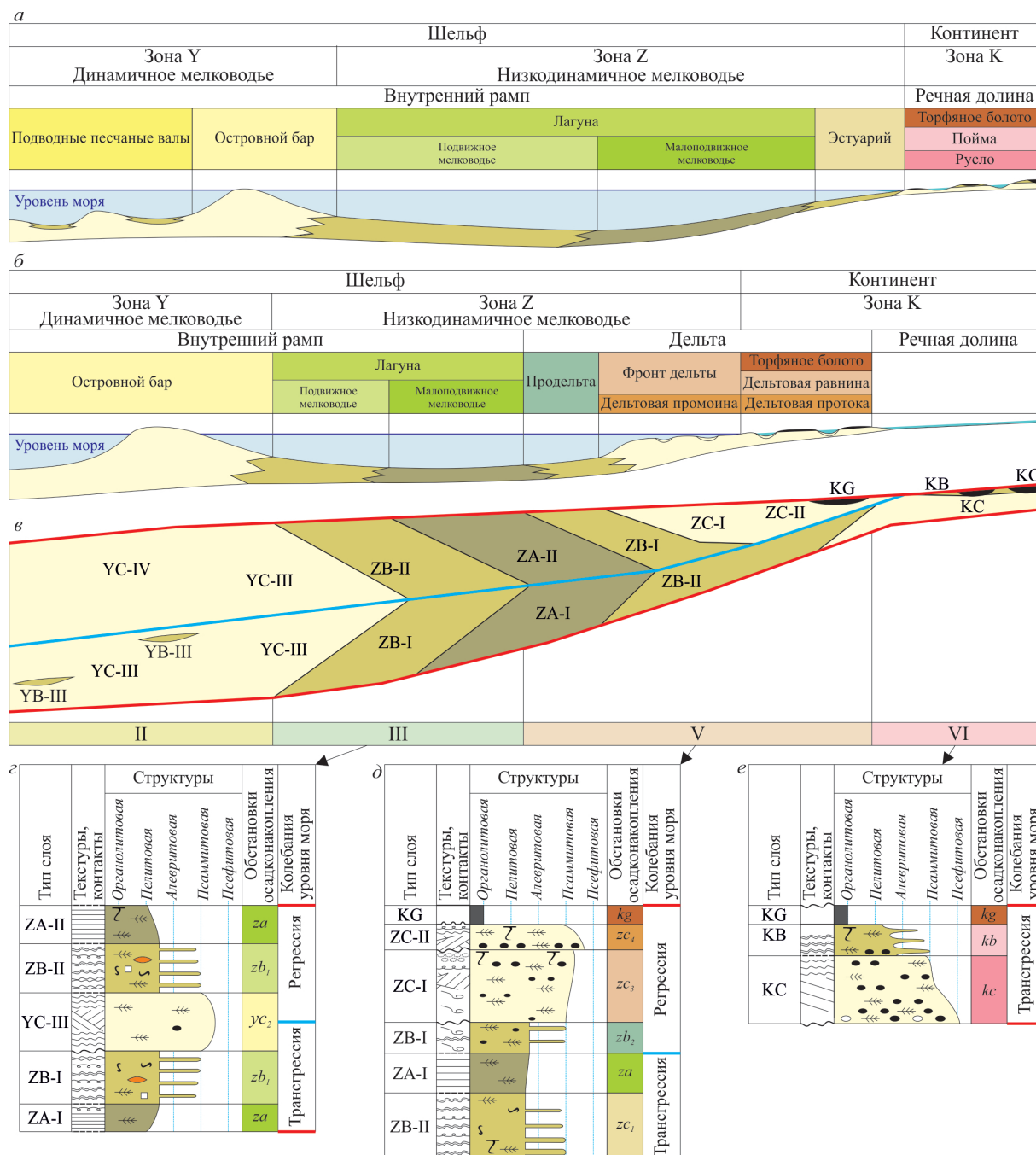


Рис. 8. Обстановки осадконакопления внутреннего рамп с эстуарием и дельтой в устье реки, впадающей в лагуну, на трансгрессивной (а) и регрессивной (б) фазах седиментации и формирующееся при их миграции сечение, разделенное на фации II, III, V, VI (в), которые характеризуют идеальные циклотемы: II – лагуны (г), V – эстуария и дельты изолированного побережья (д), VI – реки (е). Условные обозначения см. на рис. 1, 4, 5. Линию сечения Г см. на рис. 4.

При падении уровня моря (см. рис. 8, б) объем твердого стока реки увеличивался, и в лагуну выдвигалась дельта. Алевропелитовые частицы выносились дальше, формируя продельту (ZB-I). Выше залегают пески дельты (ZC-I) и песчаный материал, заполнявший дельтовые промоины и протоки (ZC-II). На заболоченных участках дельтовой равнины накапливались торфяники, образующие слой KG, кровля которого является поверхностью MFS (см. рис. 8, д).

Заключение

В результате предпринятого исследования удалось создать обоснованную обширным фактическим материалом внутренне не противоречивую концептуальную седиментологическую модель, описывающую слоевую структуру парагенераций, формировавшихся в эпиконтинентальных палеобассейнах гумидных умеренных климатических поясов за счет миграции обстановок осадконакопления при подъёме и падении уровня моря.

По существу, это новый, достаточно эффективный инструмент изучения сероцветных терригенных осадочных формаций, вне зависимости от их возраста, геотектонической позиции и пространственного расположения. Он позволяет оптимизировать работу по описанию разрезов, обеспечивая переход от рутинной констатации вертикальной смены литологических разностей к осмысленному «чтению» записи геологических событий; дает возможность выполнить детальную корреляцию разрезов и прогнозировать их латеральные изменения.

При этом следует понимать, что предложенная модель отражает только самые общие закономерности строения трехмерных осадочных тел, формирующихся в течение одного трансгрессивно-регрессивного цикла осадконакопления. В процессе исследования конкретных объектов ее необходимо уточнять, корректировать и детализировать по результатам описания разрезов, каротажа и сеймики.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность Ю. В. Ростовцевой и В. Г. Кузнецову за ценные замечания при подготовке статьи. Исследование выполнено в рамках госзадания ИГГД РАН (тема FMUW-2021-0003)

Список литературы

- Ботвинкина Л. Н. и Алексеев В. П. Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения. — Свердловск : Изд-во Уральск. гос. ун-та, 1991. — 336 с.
- Буш Д. А. Стратиграфические ловушки в песчаниках: методика исследований / под ред. Н. М. Еременко. — М. : Мир, 1977. — 216 с.
- Головкинский Н. А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна. — СПб. : Тип. Имп. Академии наук, 1868. — 192 с.
- Дафф П., Халлам А. и Уолтон Э. Цикличность осадконакопления / под ред. В. Е. Хаина. — М. : Мир, 1971. — 284 с.
- Дельты - модели для изучения / под ред. М. Бруссард. — М. : Недра, 1979. — 323 с.
- Драгунов В. И. Геологические формации. — Л. : Недра, 1973. — 24 с.
- Дубкова К. А., Шишлов С. Б., Кузнецов А. Б. и др. История формирования отложений валанжина Юго-Западного и Центрального Крыма // Стратиграфия. Геологическая корреляция. — 2022. — Т. 30, № 6. — С. 46–66. — <https://doi.org/10.31857/S0869592X22060059>.
- Зенкович В. П. О происхождении береговых баров и лагунных берегов // Труды Ин-та океанологии АН СССР. — 1957. — Т. XXI. — С. 3–39.
- Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. — М. : Изд-во АН СССР, 1962. — 710 с.
- Иванов Г. А. Угленосные формации. — Л. : Наука, 1967. — 408 с.
- Македонов А. В. Формации Печорского бассейна и некоторые закономерности образования и развития угленосных формаций // Угленосные формации некоторых регионов СССР / под ред. Н. Ф. Карпова. — М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1961. — С. 147–186.
- Македонов А. В. Методы литофациального анализа и типизация осадков гумидных зон. — Л. : Недра, 1985. — 242 с.
- Обстановки осадконакопления и фации: в 2 т. Том 1 / под ред. Х. Рединга и П. П. Тимофеева. — М. : Мир, 1990. — 352 с.
- Основные закономерности строения и образования угленосных формаций и методика прогноза угленосности / под ред. Г. А. Иванова, Н. В. Иванова и А. В. Македонова. — Л. : Недра, 1985. — 255 с.
- Павлидис Ю. А. и Никифоров С. Л. Обстановки морфолитогенеза в прибрежной зоне Мирового океана. — М. : Наука, 2007. — 455 с.
- Позаментьер Г. В. и Аллен Дж. П. Секвенсная стратиграфия терригенных отложений. Основные принципы и применение. — М.; Ижевск : ИКИ, 2014. — 436 с.

- Рейнек Г.-Э. и Сингх И. Б. Обстановки терригенного осадконакопления (с рассмотрением терригенных кластических осадков) / под ред. А. В. Коченова. — М. : Недра, 1981. — 439 с.
- Романовский С. И. Динамические режимы осадконакопления. Циклогенез. — Л. : Недра, 1985. — 263 с.
- Селли Р. К. Введение в седиментологию / под ред. В. Н. Холодова. — М. : Недра, 1981. — 370 с.
- Селли Р. Ч. Древние обстановки осадконакопления. — М. : Недра, 1989. — 294 с.
- Трофимук А. А. и 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 : Изд-во АН СССР, Сиб. отд.; Ин-т геологии и геофизики, 1977. — С. 3—47.
- Фролов В. Т. О происхождении ритмичности дельтовых угленосных толщ // Бюл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. геол. — 1972. — Т. 47, № 4. — С. 111—124.
- Фролов В. Т. Генетическая типизация морских отложений. — М. : Недра, 1984. — 222 с.
- Фролов В. Т. Литология. Том 3. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1995. — 352 с.
- Хэллем Э. Интерпретация фаций и стратиграфическая последовательность / под ред. Д. П. Найдин. — М. : Мир, 1983. — 328 с.
- Цейслер В. М. Анализ геологических формаций. — М. : Недра, 1992. — 140 с.
- Шванов В. Н. Структурно-вещественный анализ осадочных формаций (начала литомографии). — СПб. : Недра, 1992. — 230 с.
- Шишлов С. Б. Структурно-генетический анализ осадочных формаций. — СПб. : ЛЕМА, 2010. — 276 с.
- Шишлов С. Б. Атлас циклотем юры - нижнего мела Западной Сибири. — СПб. : ЛЕМА, 2024. — 191 с.
- Шишлов С. Б. и Дубкова К. А. Обстановки осадконакопления и эволюция палеогеографической ситуации при формировании верхнепалеозойских терригенных отложений Таймыра // Литология и полезные ископаемые. — 2021. — № 6. — С. 538—552. — <https://doi.org/10.31857/S0024497X21060069>.
- Шишлов С. Б. и Журавлев А. В. Строение и обстановки накопления пограничных отложений нижнего и верхнего отделов пермской системы в разрезе по р. Кожим (Приполярный Урал) // Литология и полезные ископаемые. — 2001. — № 3. — С. 296—303.
- Шишлов С. Б. и Журавлев А. В. Особенности строения и механизмы формирования прибрежных терригенных отложений пермских эпиконтинентальных бассейнов Севера России // Литология и полезные ископаемые. — 2009. — № 3. — С. 297—311.
- Шлезингер А. Е. Региональная сеймостратиграфия. — М. : Научный мир, 1998. — 144 с.
- Burchette T. P. and Wright V. P. Carbonate ramp depositional systems // Sedimentary Geology. — 1992. — Vol. 79, no. 1–4. — P. 3–57. — [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90003-a](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90003-a).
- Irwin M. L. General Theory of Epeiric Clear Water Sedimentation // AAPG Bulletin. — 1965. — Vol. 49. — P. 445–459. — <https://doi.org/10.1306/a6633632-16c0-11d7-8645000102c1865d>.
- Rutot A. Les Phénomènes de la sédimentation marine, étudiés dans leurs rapports avec la stratigraphie régionale // Bulletin du Musée Royal, d'Histoire Naturelle de Belgique. — 1883. — Vol. II, no. 1. — P. 64–78. — (In French).
- Van Wagoner J. C., Mitchum R. M., Campion K. M., et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts of high-resolution correlation of time and facies. — The American Association of Petroleum Geologists, 1990. — 75 p.
- Walter J. Einleitung in Die Geologie Als Historische Wissenschaft: Beobachtungen über die Bildung der Gesteine und ihrer organischen Einschlüsse // Lithogenesis der Gegenwart. — Jena : Gustav Fischer, 1893. — P. 535–1055. — (In German).
- Weller J. M. Cyclical Sedimentation of the Pennsylvanian Period and Its Significance // The Journal of Geology. — 1930. — Vol. 38, no. 2. — P. 97–135. — <https://doi.org/10.1086/623695>.

GENERAL REGULARITIES OF A SEDIMENTARY CYCLES IN EPICONTINENTAL BASINS WITH TERRIGENOUS SEDIMENTATION

S. B. Shishlov** 

Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Science, Saint Petersburg, Russia

**Correspondence to: Sergey Shishlov, sshishlov@mail.ru

RESEARCH ARTICLE

Received: June 2, 2025

Accepted: July 13, 2025

Published: September 30, 2025



© 2025. The Authors.

The results of facies analyses of Jurassic-Lower Cretaceous sections of Western Siberia, the Upper Palaeozoic of the Taimyr, Tunguska and Pechora basins, and the Vendian deposits of the Baltic Syncline are summarised. Has been developed the conceptual sedimentological model describing the migration of depositional conditions during sea level changes in epicontinental paleobasins of humid climate. General regularities of the structure of transgressive-regressive layer sequences were established. The results obtained represent an effective tool for paleogeographic reconstructions and sequential analysis of terrigenous grey facies in geologic history regrades of their geotectonic position and paleogeography location.

Keywords: epicontinental seas, humid climate, sedimentary cyclicity, transgressive regressive cycles, sedimentation environments, sedimentological model.

Citation: Shishlov S. B. (2025), General regularities of a sedimentary cycles in epicontinental basins with terrigenous sedimentation, *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES4012, <https://doi.org/10.2205/2025ES001041>, EDN: XKFDMF

References

- Basic regularities of structure and formation of coal-bearing formations and methods of coal-bearing forecast / ed. by G. A. Ivanov, N. V. Ivanov and A. V. Makedonov. — L. : Nedra, 1985. — 255 p. — (In Russian).
- Botvinkina L. N. and Alekseev V. P. Cyclicity of Sedimentary Layers and Methods of Its Study. — Sverdlovsk : Ural State University, 1991. — 336 p. — (In Russian).
- Burchette T. P. and Wright V. P. Carbonate ramp depositional systems // *Sedimentary Geology*. — 1992. — Vol. 79, no. 1–4. — P. 3–57. — [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90003-a](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90003-a).
- Busch D. A. Stratigraphic Traps in Sandstones-Exploration Techniques. — Tulsa, Oklahoma, U.S.A. : The American Association of Petroleum Geologists, 1977.
- Deltas Models for Exploration / ed. by M. L. Broussard. — Houston : Geological Society, 1975.
- Dragunov V. I. Geological formations. — L. : Nedra, 1973. — 24 p. — (In Russian).
- Dubkova K. A., Shishlov S. B., Kuznetsov A. B., et al. Formation History of the Valanginian Deposits, Southwestern and Central Crimea // *Stratigraphy and Geological Correlation*. — 2022. — Vol. 30, no. 6. — P. 498–517. — <https://doi.org/10.1134/s0869593822060053>.
- Duff P. McL. D., Hallam A. and Walton E. K. Cyclic sedimentation. — London, New York : Elsevier, 1967.
- Frolov V. T. On the Origin of the Rhythm of Delta Coal-Bearing Formations // *Byul. Mosk. obshchestva ispyt. prirody. Otd. geol.* — 1972. — Vol. 47, no. 4. — P. 111–124. — (In Russian).
- Frolov V. T. Genetic typing of marine sediments. — M. : Nedra, 1984. — 222 p. — (In Russian).
- Frolov V. T. Lithology. Volume 3. — M. : Moscow University, 1995. — 352 p. — (In Russian).
- Golovkinsky N. A. On the Permian formation in the central part of the Kama-Volga basin. — St. Petersburg : Imperial Academy of Sciences, 1868. — 192 p. — (In Russian).
- Hallam A. Facies Interpretation and the Stratigraphic Record. — Oxford, San Francisco : W. H. Freeman, Company, 1981.

- Irwin M. L. General Theory of Epeiric Clear Water Sedimentation // AAPG Bulletin. — 1965. — Vol. 49. — P. 445–459. — <https://doi.org/10.1306/a6633632-16c0-11d7-8645000102c1865d>.
- Ivanov G. A. Coal-bearing formations. — L. : Nauka, 1967. — 408 p. — (In Russian).
- Makedonov A. V. Formations of the Pechora Basin and Some Regularities of the Formation and Development of Coal-Bearing Formations // Coal-Bearing Formations of Some Regions of the USSR / ed. by N. F. Karpova. — M.; L. : USSR Academy of Sciences, 1961. — P. 147–186. — (In Russian).
- Makedonov A. V. Methods of lithofacies analysis and typification of sediments of humid zones. — L. : Nedra, 1985. — 242 p. — (In Russian).
- Pavlidis Yu. A. and Nikiforov S. L. Morpholithogenesis environments in the coastal zone of the World Ocean. — M. : Nauka, 2007. — 455 p. — (In Russian).
- Posamentier H. W. and Allen G. P. Siliciclastic Sequence Stratigraphy - Concepts and Applications. — Tulsa, Oklahoma, U.S.A. : SEPM, 1999.
- Reineck H.-E. and Singh I. B. Depositional Sedimentary Environments. With Reference to Terrigenous Clastics. — Springer-Verlag, 1975.
- Romanovsky S. I. Dynamic sedimentation regimes. Cyclogenesis. — L. : Nedra, 1985. — 263 p. — (In Russian).
- Rutot A. Les Phénomènes de la sédimentation marine, étudiés dans leurs rapports avec la stratigraphie régionale // Bulletin du Musée Royal, d'Histoire Naturelle de Belgique. — 1883. — Vol. II, no. 1. — P. 64–78. — (In French).
- Schlezinger A. E. Regional Seismostratigraphy. — M. : Scientific World, 1998. — 144 p. — (In Russian).
- Sedimentary Environments and Facies. Second Edition / ed. by H. G. Reading. — Blackwell Scientific Publications, 1986.
- Selley R. C. An Introduction to Sedimentology. — London, New York, San Francisco : Academic Press, 1976.
- Selley R. C. Ancient Sedimentary Environments and their Sub-Surface Diagnosis. — London : Chapman, Hall, 1985.
- Shishlov S. B. Structural and genetic analysis of sedimentary formations. — St. Petersburg : LEMA, 2010. — 276 p. — (In Russian).
- Shishlov S. B. Atlas of cyclothems of the Jurassic - Lower Cretaceous of Western Siberia. — St. Petersburg : LEMA, 2024. — 191 p. — (In Russian).
- Shishlov S. B. and Dubkova K. A. Depositional Environments and Paleogeographic Evolution during the Formation of Upper Paleozoic Terrigenous Rocks in Taimyr // Lithology and Mineral Resources. — 2021. — Vol. 56, no. 6. — P. 509–522. — <https://doi.org/10.1134/S0024490221060067>.
- Shishlov S. B. and Zhuravlev A. V. Structure and accumulation environments of boundary deposits of the lower and upper sections of the Permian system in the section along the Kozhim River (Subpolar Urals) // Litologiya i Poleznye Iskopaemye. — 2001. — No. 3. — P. 296–303. — (In Russian).
- Shishlov S. B. and Zhuravlev A. V. The structure and mechanisms of the formation of coastal terrigenous rocks in Permian epicontinental basins of northern Russia // Lithology and Mineral Resources. — 2009. — Vol. 44, no. 3. — P. 270–283. — <https://doi.org/10.1134/S0024490209030067>.
- Shvanov V. N. Structural and material analysis of sedimentary formations (beginnings of lithography). — St. Petersburg : Nedra, 1992. — 230 p. — (In Russian).
- Trofimuk A. A. and Karogodin Yu. N. The Place of Layered Associations (Cyclites) Among Natural Bodies of the Geological Organization Level of Matter and the Principles of Their Identification // Theoretical and Methodological Issues of Sedimentation Cyclicity. — Novosibirsk : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, Siberian Branch; Institute of Geology, Geophysics, 1977. — P. 3–47. — (In Russian).
- Van Wagoner J. C., Mitchum R. M., Campion K. M., et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts of highresolution correlation of time and facies. — The American Association of Petroleum Geologists, 1990. — 75 p.
- Walter J. Einleitung in Die Geologie Als Historische Wissenschaft: Beobachtungen über die Bildung der Gesteine und ihrer organischen Einschlüsse // Lithogenesis der Gegenwart. — Jena : Gustav Fischer, 1893. — P. 535–1055. — (In German).
- Weller J. M. Cyclical Sedimentation of the Pennsylvanian Period and Its Significance // The Journal of Geology. — 1930. — Vol. 38, no. 2. — P. 97–135. — <https://doi.org/10.1086/623695>.
- Zeisler V. M. Analysis of geological formations. — M. : Nedra, 1992. — 140 p. — (In Russian).
- Zenkovich V. P. On the origin of beach bars and lagoon shores // Proceedings of the Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences. — 1957. — Vol. XXI. — P. 3–39. — (In Russian).
- Zenkovich V. P. Fundamentals of the doctrine of the development of sea coasts. — M. : USSR Academy of Sciences, 1962. — 710 p. — (In Russian).