

ЛЕКЦИИ ПО ГЕОЛОГИИ

УДК 551.12

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ИМПУЛЬСНЫХ
(ИМПАКТНЫХ) ОБСТАНОВКАХ СЕДИМЕНТАЦИИ*Арк.В. Тевелев*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию 02.06.17

Сравнение таких распространенных обломочных формаций, как турбидиты, прибрежные темпеститы и аллювий, показывает принципиальное подобие их архитектуры и сходство критически важных литофаций, участвующих в их строении несмотря на заведомо различные обстановки их образования и контрастные временные и пространственные масштабы. Причиной структурного сходства рассмотренных стратификаций (последовательной смены литологического состава и осадочной структуры пород) является, по нашему мнению, импульсный (импактный) характер первичного воздействия на седиментационные системы, заволащывающего регулярные механизмы осадконакопления, которые реализуются затем в постройках единой архитектуры.

Ключевые слова: кластиты, стратификация, импакт, турбидиты, темпеститы, аллювий.

Tevelev Ark.V. Main succession of sedimentation in pulse (impact) environment. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2017. Volume 92, part 4. P. 69–79.

Comparison of such widespread clastic formations as turbidite, coastal tempestite and alluvium, shows a fundamental similarity of their architecture and critical lithofacial affinity, despite the notoriously different environment for their formation and contrasting temporal and spatial scale. The cause of structural similarity considered sediments is, in our opinion, the pulse nature of the primary impact on the sedimentary system, driving the regular depositional mechanisms which realize then in a unified architecture of depositional bodies.

Key words: clastics, stratification, impact, turbidite, coastal tempestite, alluvium.

Глубокий анализ феномена слоистости осадочных пород прослеживается с середины XIX в., когда европейские и американские исследователи начали сравнивать древние и современные (формирующиеся на наших глазах) слоистые структуры в попытке обосновать их природу (Ботвинкина, 1962). Этот анализ развивался в разных направлениях. Большое внимание уделялось морфологической классификации слоистости, начиная с очевидного противопоставления параллельной и косой слоистости и продвигаясь к пониманию тонкого строения внешне однородных слоистых пакетов, разделяемых на пласты, слои, слойки (ламины), выделения плоской, изогнутой, корытообразной косой слоистости, к различению ритмичных и неритмичных напластований и деталей их внутреннего сложения. Одновременно и независимо от этих исследований шла работа по использованию разных типов слоистости в генетических целях для различения условий образования пород близкого литологического состава и внешне близкой структуры. Классической проблемой того времени было обоснование эолового, аллювиального и морского генезиса косослоистых серий по критически важным деталям их строения. Только к середине прошлого века это направление исследований стратификаций развилось в литофа-

циальный анализ. Первоначально этот анализ предполагал построение естественных моделей повторяющихся стратификаций, основанных на выявлении эволюционных механизмов их формирования. Общеизвестным примером таких обобщений была схема следования элементов турбидитных ритмов А. Боуми (Bouma, 1962). Дальнейшей разработкой литофациального анализа явилось трехмерное моделирование осадочных построек и их эволюции, в котором слоистость пород, их литологический состав, осадочные структура и текстура слились в единые, генетически связанные литофациальные комплексы, естественная совокупность которых определяет архитектурные элементы большой осадочной постройки (Miall, 1985). Другими словами, развитие представлений о слоистости и стратификациях постоянно шло в сторону увеличения количества изучаемых характеристик слоистых толщ и вовлечения в анализ все более крупных осадочных тел.

В современных построениях понятие «генетическая идентификация» обозначает понимание механизмов образования осадочных толщ, вплоть до достаточного уяснения физических характеристик осадкообразующих процессов. Для того чтобы эти процессы функционировали, требуются определенные энергетические затраты и, соответственно,

каналы их возмещения. Количество естественных поставщиков энергии невелико, и, как правило, в моделях процессов четко прописана их природа (ветер, волны, каналные водные потоки и т.д.); в каждом случае природа переносчиков унифицирована для определенных обстановок осадкообразования. Известное в настоящее время структурное сходство стратификаций, образующихся в контрастно разных условиях (например, таких распространенных обломочных формаций, как турбидиты, прибрежные темпеститы и аллювий), заставляет предполагать существования еще одного фактора структурирования осадочных тел — способа *первичного* воздействия на седиментационные системы, заставляющего регулярные механизмы осадконакопления, которые реализуются затем в постройках единой архитектуры.

Флиш. Цикл Боумы. Энергетическая модель

Название «флиш» (*flysch*, старонемецкое «флюш») было введено в геологическую литературу в 1827 г. швейцарским геологом Бернхардом Штудером (Studer, 1827), который использовал его для характерного переслаивания песчаников и глин в предгорном прогибе Альп. Термин происходит от германского глагола *fliessen*, что значит *течь*; словом «Flysch» альпийские крестьяне называли крайние сыпучие осыпи сланцеватых пород, покрывающие склоны гор, сложенные данной формацией. Б. Штудер считал флишевые отложения осадками рек и рассматривал их в качестве морских аналогов моласс. Флиш наиболее типичен для коллизионных обстановок, в которых высокие горы — источник материала для флиша — сочетаются с остатками глубоких бассейнов. В то же время флиш распространен практически на всех континентальных склонах, а также в глубоких озерах континентальных рифтов, например, в Байкале.

Длительная история изучения флишевых толщ позволила установить типичные особенности их строения и предположить географические и тектонические обстановки их образования. В отечественной литературе первой половины прошлого века в рамках геосинклинальной идеологии сложилось мнение, что флиш — это характерный компонент заполнения предгорных прогибов, представленный толщей пород ритмичного строения с контактами стратиграфического несогласия в основании каждого ритма (Вассоевич, 1948). Оформилось представление, что флишевые формации образуются во внутренних и внешних миогеосинклинальных прогибах, ограниченных кордильерами (горные сооружения, острова, отмели и др.), при особом геотектоническом режиме, характеризующемся малоамплитудными колебательными движениями. Многие исследователи считали, что флиш образуется на строго определенном тектоническом этапе, на заключительной (инверсионной) предорогенной стадии или на средней стадии развития геосинклина-

лей, предшествующей общей инверсии. Происхождение ритмичности приписывалось колебательным движениям в областях питания флишевых бассейнов, влияющим на гранулометрию поставляемого в бассейн обломочного материала (Вассоевич, 1948; Вылцан, 1978; Хаин, 1973 и др.).

Флишевая формация изучалась так долго и детально, что, казалось, вопросов о ее строении и происхождении к середине прошлого века уже не оставалось. Однако, несмотря на тонны исписанной бумаги, основные особенности стратификации флишевых толщ, включая общую градационную структуру отдельных ритмов и нахождение в их основании массивных пород с градационной текстурой, оставались непроясненными.

Важнейший шаг к решению этих проблем сделали в 1950 г. Ф. Кюнен и С. Милиорини, которые привлекли для объяснения градационного строения индивидуальных ритмов флиша идею мутьевых потоков (Kuenen, Migliorini, 1950). Эти авторы исходили из того, что лишь небольшая часть типов градационной слоистости может быть объяснена обычными процессами седиментации, такими как извержения вулканов, пыльные бури, сезонные и долговременные климатические циклы, встряхивание осадка штормовыми волнами. Большая часть градационных стратификаций этим хорошо изученным процессам не соответствует. Этому противоречит отсутствие или слабое развитие потоковой слоистости и знаков ряби в градационных осадках, отложение грубого материала на кровле неконсолидированного тонкозернистого предыдущего слоя, необычная латеральная выдержанность каждой отдельной пачки, а также наличие частых угловатых глинистых включений и переотложенных ископаемых. Кюнен и Милиорини пришли к выводу, что транспорт и отложение материала таких градационных толщ могут быть связаны с мутьевыми (турбидитными) потоками высокой плотности — идеальными агентами для построения глубинных ритмичных градационных стратификаций.

Модель Боумы. В 1962 г. Арнольд Боума опубликовал идеализированную литофациальную модель турбидитного ритма (рис. 1, I), основанную на представлении о том, что полный ритм является продуктом одного мутьевого потока, а литологические и структурные особенности различимых элементов ритма связаны с меняющейся во времени энергетикой этого потока (Bouma, 1962). Традиционная модель включает следующие пять элементов (снизу вверх).

А. Массивные до нормально градационных песчаники, от тонко- до грубозернистых, часто с галькой и/или окатышами аргиллитов вблизи основания. Иногда могут содержать каналные и блюдцевые структуры. Основание песчаников слоя А врезано в подстилающие слои и обычно осложнено иероглифами.

В. Плоско расслоенные песчаники от тонко- до среднезернистых. В основании этого слоя после-

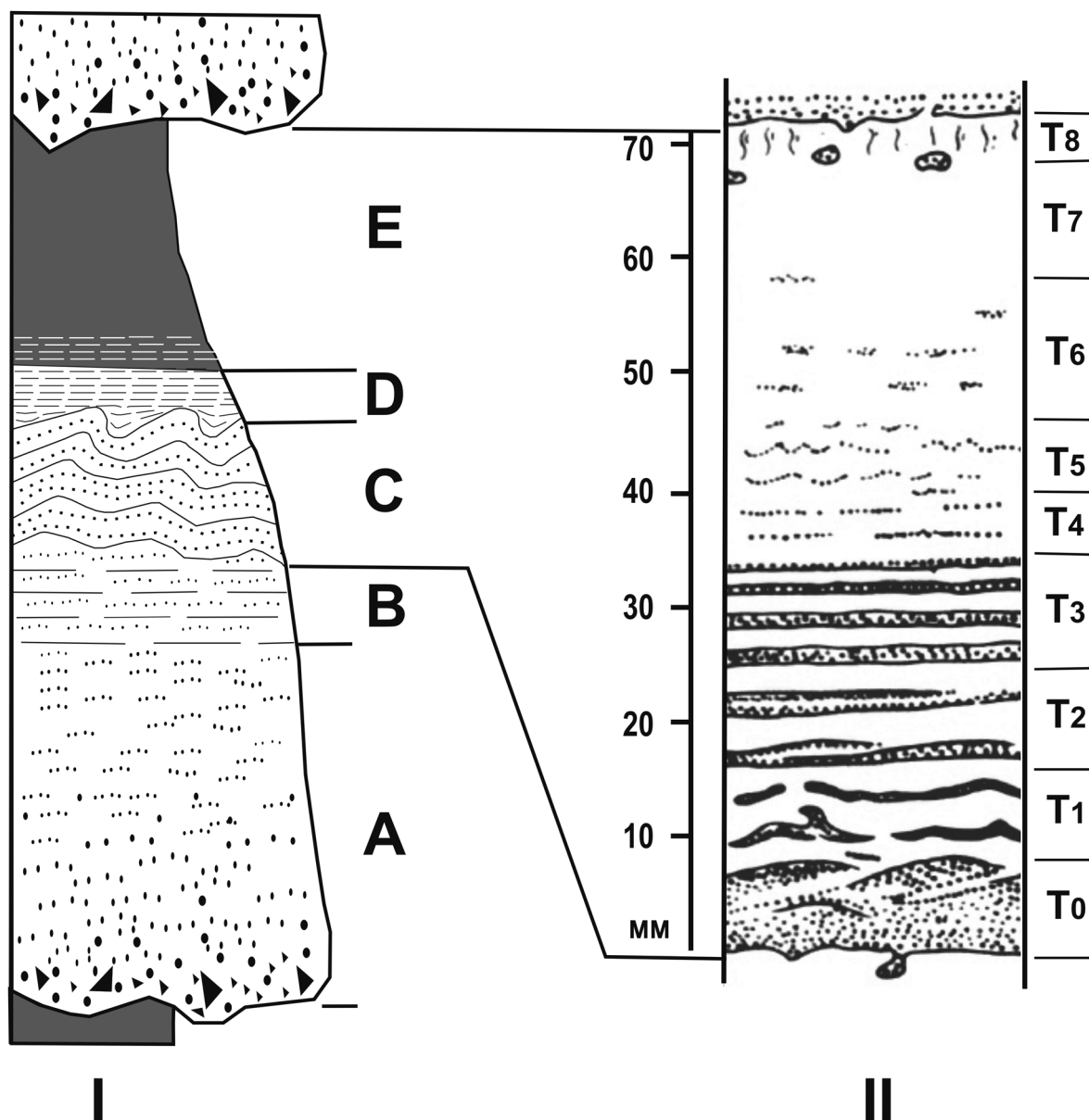


Рис. 1. Литофации турбидитов: I – стратификация ритма среднезернистых турбидитов (последовательность Боумы); II – стратификация тонкозернистых турбидитов (расширение Стоу – Шанмугама). Пояснения в тексте

довательности Боумы часты структуры донного волочения, такие как желобковые и точечные отпечатки, оборванные канавки и пр.

С. Тонкозернистые слойчатые песчаники со знаками ряби. Часто структуры ряби деформированы до конволютных и флейм-структур.

Д. Параллельно-расслоенные алевролиты.

Е. Массивные, градационные пелиты, иногда биотурбированные. Этот слой часто отсутствует или слабо отличается от подстилающего слоя Д.

Ключом к пониманию условий формирования отдельных элементов турбидитной последовательности являются их состав и структура, то, что в целом определяет литофациальную характеристику отложений. Интерпретация последовательности Боумы основана на энергетических соображениях. Как и для наземных флювиальных систем, для турбидитных течений выделяются низкий потоко-

вый режим, в котором образуется рябь, песчаные волны и дюны, и высокий потоковый режим с горизонтальной расслоенностью, антидюнами и различными зерновыми потоками. Границей низко- и высокоэнергичного потоковых режимов считается переход от ламинарного к турбулентному поведению потока, которому соответствует значение числа Фруда, равное единице. Интерпретационная модель выглядит следующим образом (Shanmugam, 1997).

Слой Е – последний отложенный слой. Он появляется в суспензионной обстановке, где, по существу, нет никакого потока. Глина остается в суспензии до тех пор, пока не изменится химический состав воды, который позволит ей коагулировать в хлопья и выпасть в осадок. Поскольку слой Е, если он накапливается вообще, легко эродируется последующими турбидитными течениями, в разрезе он часто не представлен.

Слой D накапливается в суспензионной обстановке, где существует слабое течение. Слабые изменения в энергии потока порождают чередование тонких слоев (ламин) более грубого и более тонкого алеврита.

Слой С накапливается в относительно низком потоковом режиме, в котором достаточно энергии, чтобы переносить тонкий песок путем сальтаций. Если сдвиговое усилие накладывается на слой со структурой ряби, например при землетрясении или воздействии перекрывающего турбидитного потока, слоистость ряби может быть деформирована в конволютные складки или флейм-структуры.

Слой В накапливается при верхнем потоковом режиме, где энергия достаточно велика, чтобы тащить песчаные зерна по дну потока волочением. Энергия потока такова, что маркеры подошвы слоя типа следов падения и волочения могут формироваться на поверхности ложа под потоком и сохраняться в виде обратных отпечатков и слепков на нижней поверхности слоя В.

Слой А — это первый слой, отложенный потоком, при условии, что поток имел существенную энергию. В других случаях первым элементом последовательности будут В, С или D. Слой А накапливается, когда энергия потока достаточно высока, чтобы флюидная турбулентность могла поддерживать в суспензии самый грубый материал. Когда энергия опускается ниже критического уровня, материал может выпасть весь сразу, образуя слой с массивной текстурой. Если энергия потока уменьшается более медленно, тогда грубый материал может осесть первым, оставив более тонкие зерна в суспензии. В результате более грубая часть осадка приобретает градационную текстуру, а распределение более тонкого материала неградационное. В слое могут развиваться структуры вытеснения воды и горизонты глинистых обломков из подстилающих пород основания слоя А.

Расширение модели Боумы. Идеальная модель турбидитных литофаций Боумы недолго оставалась единственной. Из множества предложенных модификаций в практической терминологии наиболее прижились расширения Стоу-Шанмугама и Лоу. Д. Стоу и Г. Шанмугам на основе изучения древних и современных турбидитных осадков увеличили количество элементов в тонкозернистой части стратификации Боумы, соответствующей слоям (С?)-D-E, до 9 (Stow, Shanmugam, 1980). Они обозначаются символами от T_0 до T_8 , где Т — аббревиатура от *traction*. Все эти подразделения, кроме, может быть, базальных алевролитов T_0 , выделяются микроскопически. Стандартная последовательность тонкозернистых турбидитов показана на рис. 1, II. Базальный (ленточный) слой T_0 — самый мощный (около 8 мм) и самый грубый (алевролит — тонкий песок), с четким нерегулярным основанием, показывающим врезание, следы волочения и глинистые инъекции. Внутри может наблюдаться горизонтальная или косая слоистость, которая переходит

вверх в затухающую рябь. Верхняя поверхность резкая, или градационная и волнистая, или с выраженной потоковой линейностью.

Базальный слой — это самое нижнее подразделение градационной слойчатой пачки, в которой размер зерен и мощность алевритовых слоев уменьшаются вверх, сопровождаясь небольшими изменениями минерального состава. Перекрывающее, преимущественно илистое подразделение (T_1) содержит тонкие алевритовые слои, чья мощность увеличивается непосредственно перед гребнем подстилающей затухающей ряби; иногда они конволютно деформированы синфазно с рябью. Они перекрываются малоамплитудной поднимающейся рябью (подразделение T_2), тонкими регулярными (выдержанными) ламинами (T_3), тонкими нечеткими слоями (T_4) и тонкими расплывчатыми или конволютными слоями (T_5). В трех верхних подразделениях алевритовые ламини отсутствуют. Они сложены градационным илом с обрывками тонкоалевролитовых линз (T_6), не градационным однородным илом с редкими псевдонодулями грубых алевритов (T_7) и биотурбированным илом (T_8) с микронодами и алевритовыми псевдонодулями.

Для унификации традиционные подразделения Боумы также обозначаются с первым символом Т. По Г. Шанмугаму (Shanmugam, 1997), подразделения T_a предполагается продуктом мутьевого потока только в том случае, если оно имеет нормальную градационную слоистость, а иначе оно образовано песчаным обломочным потоком. При этом элементы T_b , T_c и T_d рассматриваются как результат переработки материала *донными течениями*.

Д. Лоу добавил в модель Боумы три слоя, которые представляют собой песчаный элемент С последовательности Боумы снизу, которые он маркировал S_1 , S_2 , S_3 (Lowe, 1982). Эти подразделения также имеют собственные литолого-структурные характеристики. S_3 — песчаники массивные до градационных, от тонко- до грубозернистых, отлагаются из турбулентной суспензии. По сути, это слой А модели Боумы. S_2 — это обратно градационные песчаники, от тонко- до грубозернистых, представляющие собой отложения типа покрова донного волочения, для которого существенную роль играет непосредственное взаимодействие между кластами. S_1 — песчаники до конгломератов, залегающие в основании турбидитной пачки, от плоскопараллельных до косослоистых, представляющие собой отложения из масс донного волочения, которые перемещаются за счет перекачивания и скольжения кластов по дну потока.

Современное понимание седиментации турбидитных потоков включает анализ архитектуры турбидитных каналов, изученных в последние годы многочисленными исследовательскими группами. Т. Мак-Харгью с соавторами (McHargue et al., 2011) пришли к выводу, что в турбидитных системах отчетливо выражены две архитектурные модели: мо-

дель врезания — заполнения и модель латеральной аккреции. Заметим от себя, что это полностью соответствует двум типам русловой седиментации в речных системах — продольной (вниз по течению) донной аккреции и латеральной русловой аккреции в меандровых комплексах. Эти авторы отмечают, что, судя по концентрации песка в пределах изогнутых фрагментов каналов, потоки очень хорошо стратифицированы. Похоже, однако, что из архитектуры этих фрагментов следует, что нижние и верхние части единого потока имели различную плановую конфигурацию — их трассы имеют разную извилистость и расходящиеся, даже противоположно направленные траектории. Полноценных объяснений этому пока не видят, хотя, на наш взгляд, эта ситуация полностью соответствует обычным двухкомпонентным речным системам, в которых русловые и долинные (половодные) потоки образуют единые аллювиальные постройки, но имеют при этом разную динамику и эволюционируют независимо.

Таким образом, в модель Боумы добавлялись новые элементы из областей более и менее энергичных потоковых режимов, что резко увеличивало количество турбидитных литофаций, а сами литофации неоднократно переинтерпретировались под другие структурообразующие обстановки (например, волновые, донных течений и пр.). Если все существующие модели турбидитной последовательности реалистичны, то идеальная турбидитная пачка должна была бы состоять из 16 подразделений. Однако пока никто не документировал таких наборов ни в поле, ни в эксперименте (Shanmugam, 2000).

Все эти расширения дополняют, но не заменяют и тем более не отменяют модель Боумы, которая является «лицом» самых распространенных среднеразмерных турбидитов и наиболее примечательным образцом градиционной стратификации. При этом, однако, облик даже классических турбидитов заметно меняется в зависимости от обстановок и условий их накопления. Их крайние формы представлены, с одной стороны, *амальгаматами*, которые образуются при частом следовании мощных потоков, срезающих почти нацело тонкозернистую часть предыдущих ритмов и формирующих постройки из песчанниковых элементов последовательности Боумы, с другой стороны, так называемыми *дистальными* турбидитами, состоящими в основном из тонкозернистых элементов с весьма ограниченным присутствием песчанников.

**Прибрежная штормовая седиментация.
Бугорчатое перекрестное напластование.
Волновая модель**

Диагностическим признаком этой группы осадочных структур, более известной под английским термином *hummocky cross stratification* (HCS), являются антиформные бугры и синформные западины (рис. 2, А), сложенные случайно ориентированными ламинарными слоями с углами падения до 15°

(Harms et al., 1975). Этот тип наслаивания образуется прежде всего в алевритах и тонкозернистых песках. Хотя сортировка по размеру для них не характерна, концентрация слюды и растительного детрита на поверхности многих слоев создает определенную структурированность пород. Слои в хаммоки-толщах варьируют в мощности от нескольких сантиметров до 5–6 м; пачки слоев могут достигать десятков метров мощности.

Дж. Хармс пришел к пониманию генезиса хаммоки-слоистости из анализа облика и структуры ряби в различных условиях образования. Элементы хаммоки — это нечто среднее между рябью течения и волновой рябью. Идеализированная хаммоки стратификация Р. Дотта и Дж. Буржуа, которая может служить той же цели, что и последовательность Боумы для градиционных комплексов, отражает изменение мощности воздействующих на область осадконакопления волн — от мощных редких штормов к спокойному обычному режиму вне волновой зоны (Dott, Bourgeois, 1982). Разрез (рис. 2, В) включает снизу вверх (1) размытое основание первого порядка; (2) характерные хаммоки-зоны с несколькими поверхностями размыва второго порядка, разделяющими индивидуально ундулирующие пачки; (3) зону плоских ламинарных слоев; (4) зону с хорошо ориентированными косыми слоями ряби и симметричными формами ряби. Все это перекрывается (5) более или менее фоновыми алевритами и глинами, обычно биотурбированными.

Варианты этой последовательности включают пропуск и/или расширение одной или нескольких таких зон. Наиболее обычным вариантом является амальгамация, формирующаяся или при наложении последовательных бугорчатых зон (рис. 2, Б), или при интенсивной биотурбации, уничтожающей границы между зонами. Дистальные разрезы (рис. 2, Г) представлены, главным образом, илами, с редкими линзами тонкопесчаных хаммоки-слоев.

По мнению Р. Дотта и Дж. Буржуа, хаммоки-слоистость определенно формируется за счет штормового переотложения тонкого песка ниже нормальной волновой границы (границы «хорошей погоды»); песчаный материал поставляется паводковыми реками, вымывается из береговых уступов или транспортируется большими волнами с мелководья. Осаждение происходит как за счет выпадения из взвеси, так и за счет латеральных перемещений материала волновыми осцилляциями, часто похожими на приливно-отливные течения. В случае интенсивного осциллирующего потока большие волны наволакивают песок на нерегулярно промытую поверхность и переукладывают материал в грубо округлые неориентированные бугры и западины. Практическое отсутствие ориентировки подтверждается многочисленными структурными диаграммами слоев в бугристом косом напластовании, резко отличающихся от хорошо упорядоченных структур ряби. Р. Дотт и Дж. Буржуа постули-

плоская слоистость формируется в условиях преимущественно осциллирующего потока. На медленно накапливаемом субстрате могут образоваться крупные округлые формы ряби, однако большая часть песка вносится и перерабатывается штормами и волнами зыби в районах затухания донных течений, так что неориентированные хаммоки-стратификации формируются в условиях сильных, преимущественно осциллирующих потоков. Если волновые движения, связанные со штормами, уменьшаются в скорости, то образуется покров из драпирующих плоских слоев, который позднее перекрывается илом.

В целом происхождение хаммоки-стратификации остается дискуссионным. Разработаны и подтверждены лабораторно модели волновой природы структур, сходных с хаммоки-стратификациями. Кроме того, подобные им структуры встречаются и в чисто потоковых осадках — турбидитных, аллювиальных, флювиогляциальных и др. (рис. 3).

Речная седиментация. Аллювиальный цикл. Климатическая модель

Аллювиальный цикл составляют осадки, отложенные от момента зарождения долины, отмечаемого формированием врезанного русла реки, до ее отмирания. Этот момент фиксируется выведением аллювиальных комплексов в рельеф в составе образующейся надпойменной террасы и формированием новой долины, врезанной в эту террасу. Тектонической обстановкой процесса является медленное неравномерное региональное поднятие, а главным контролирующим фактором — климатические изменения. Реальные разрезы аллювиальных образований (в рамках единого циклового комплекса) резко изменчивы. Помимо основного, климатически зависимого седиментационного тренда они отражают в своем составе как ландшафтно-морфологические особенности вмещающих долину пространств, так и положение разреза внутри долины реки. Крайними членами семейства аллювиальных разрезов зоны умеренного климата являются толщи руслового аллювия (русловые амальгаматы), образованные в энергичных полноводных потоках (рис. 4, А); осадки развитых двухкомпонентных долин с закономерным чередованием русловых и пойменных фаций, часто в сочетании с погребенными почвами (рис. 4, Б); толщи преимущественно пойменных осадков разного типа (рис. 4, В). Разрезы второго типа, контрастные в литофациальном отношении (рис. 4, Г), но в целом градационно стратифицированные, рассматриваются как образцы «идеального» аллювия (Стефановский и др., 2003; Тевелев и др., 2015 и др.).

Толщи преимущественно руслового аллювия встречаются не слишком часто и обычно соответствуют местам слияния рек с крупными притоками, постоянно доставляющими избыточный материал в долину. Вертикальная дифференциация материала

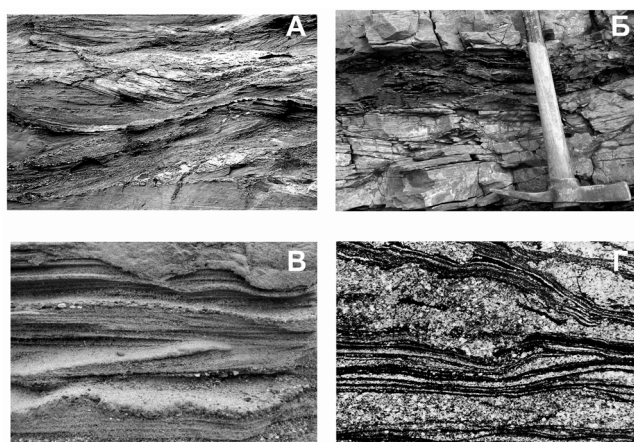


Рис. 3. Хаммоки-подобные структуры в потоковых толщах: А — террасовый аллювий р. Анга, западный борт Байкальской впадины; Б — слой С турбидитного ритма в породах таврической серии, долина р. Марты, Юго-Западный Крым; В — гляциофлювиальные образования московского горизонта среднего неоплейстоцена, карьер в с. Сухарево, Московская обл.; Г — турбидиты нижнерифейской айской свиты Южного Урала. Все фотографии автора

не вполне отчетливая, хотя сглаженный градационный тренд обычно присутствует. Вверх по разрезу упрощаются осадочные структуры отложений — от спутанно-слоистых, встречно-слоистых и даже беспорядочных в основании к донной потоковой косой слоистости и к слоистости латеральной аккреции в верхней части разреза. В том же направлении (снизу вверх) умеренно теплые, преимущественно древесно-кустарниковые спорово-пыльцевые спектры со мхами и плаунами сменяются в основном травянистыми, с горизонтами разнотравных, ксерофитных и суббореальных растительных ассоциаций.

Для умеренного климатического пояса наиболее характерны толщи аллювия, включающие как русловые, так и пойменные фации, представляющие осадки двухкомпонентных речных долин. В каждой речной долине функционируют два водных канала: канал *постоянного* стока — это русло реки и канал *временного* стока — ее пойма, по которой распределяются и сбрасывают осадочный материал сезонные половодные потоки (Шанцер, 1951). Формирующиеся в обоих каналах осадки образуют единую аллювиальную постройку, но при этом и конфигурация каналов, и направления потоков в них, и механизмы их функционирования могут резко различаться. Основные эволюционные события, которые разыгрываются в речной долине такого рода, в сильнейшей степени контролируются климатическими факторами.

Рабочая гипотеза эволюции условий аллювиальной седиментации состоит в том, что в долинах умеренного климатического пояса очередной цикл врезания начинается в эпоху быстрого послеледникового потепления (вплоть до оптимума межледниковья). В этот период из тающих ледников начинает высвобождаться большое количество воды, а базисы эрозии остаются еще низкими из-за

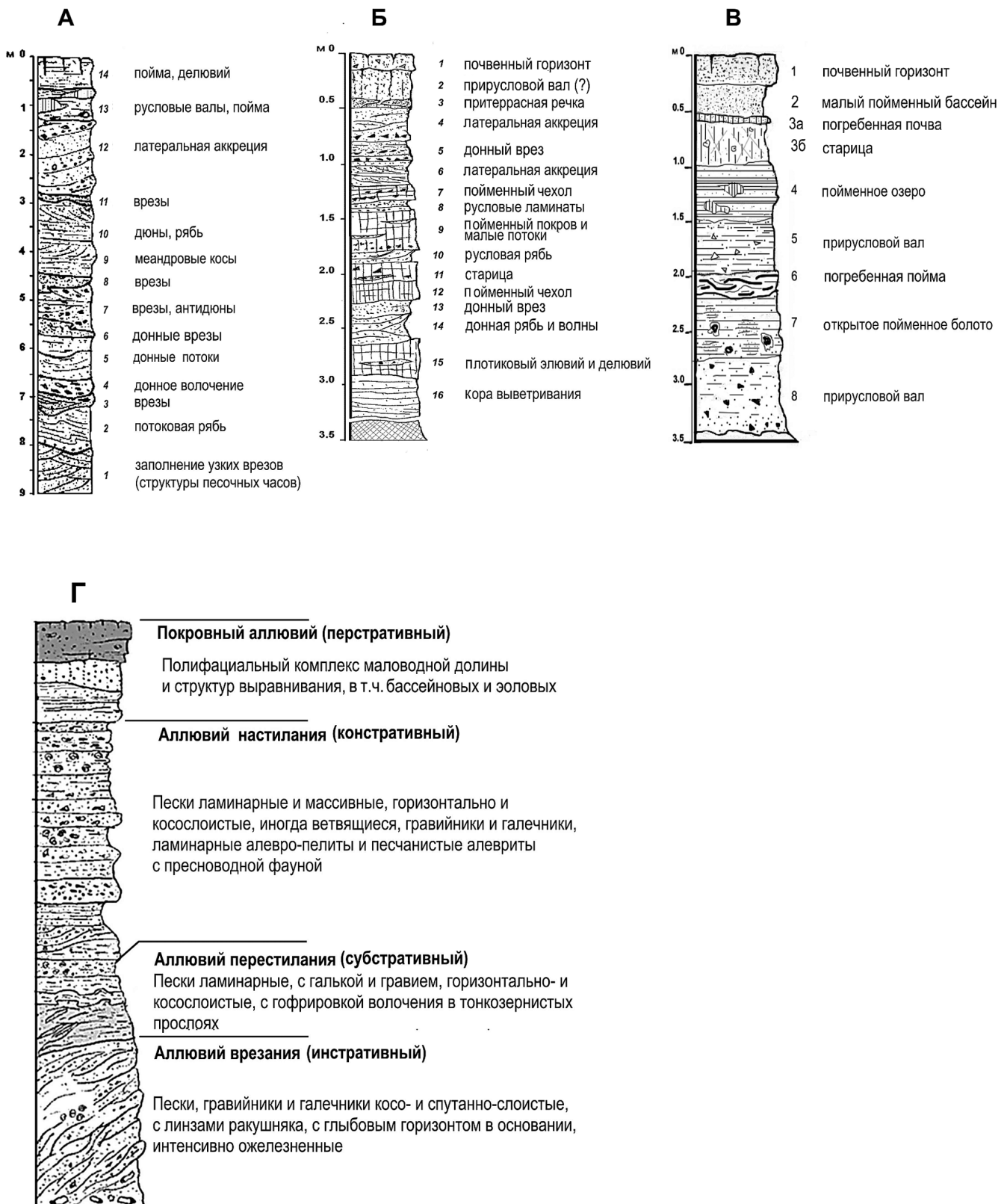


Рис. 4. Типовые разрезы террасового аллювия малых и средних рек Южного Урала и их фациальная интерпретация (пояснения в тексте): А – сложенный преимущественно русловыми фациями (русловые амальгамы третьей террасы р. Сухой); Б – сложенный чередованием русловых и пойменных фаций (первая терраса р. Карагайлы-Аят); В – сложенные преимущественно пойменными фациями (вторая терраса р. Акмулла); Г – «идеальный» разрез аллювия – градиционно-слоистая толща с полным набором динамических фаз аллювия (вторая терраса р. Камышлы-Аят)

связывания значительной части мировых водных ресурсов в тающих ледниковых покровах. Последовательное приспособление речной системы к этому климатическому импакту задает гидрологические и морфологические рамки долинной седиментации.

Предполагается, что первоначальные врезы имеют клиновидную форму и заполняются грубым материалом со спутанно-слоистой или даже массивной структурой (рис. 4, 5). Осадки этой фазы развития долины называются в отечественной литературе *инстративным* аллювием. Затем ситуация с водностью и высотой базисов эрозии уравнивается, в долине начинаются боковая эрозия и комплементарная к ней латеральная аккреция, в результате которых образуется широкий, но тонкий нижний аллювиальный слой, сложенный песком и галькой, перекрывающий как породы первоначального вреза, так и более древние породы. Фактически это нижний горизонт выравнивания новой долины, в настоящее время он называется субстративным.

Далее начинается главный и наиболее вариативный этап развития долины, когда над горизонтально-слоистой базальной толщей надстраивается довольно мощный комплекс осадков, который включает и русловые, и старичные, и пойменные фации, многократно чередующиеся в разрезе и часто имеющие корытообразную врезную структуру (рис. 5). Чтобы наслоить такую многоэтажную постройку, необходимо изменять условия осадконакопления: или время от времени прогибать днище долины, или менять ее продольный профиль, или периодически увеличивать водность потока. Драйвером этих изменений являются заметные климатические колебания, контролирующие эволюцию долины в период от оптимума межледниковья до последующего ледниковья. Этот комплекс осадков называется констративным.

Финальное похолодание, приходящееся, как правило, на ледниковье, обычно сопровождается иссушением, водность рек уменьшается, и в долинах начинает накапливаться самый верхний, покровный горизонт более тонких пород, обычно представленных мелкоземными. В строении этого горизонта выравнивания (перстративного аллювия) участвуют не только каналные речные образования, но также эоловые, бассейновые и делювиальные составляющие, полого залегающие и имеющие небольшую мощность.

Заметим, что тренд изменений условий аллювиальной седиментации и общая архитектура аллювиальной постройке отражают структуру климатических изменений. Для последнего миллиона лет наблюдается общее похолодание климата, которое прерывается время от времени быстрыми лавинными потеплениями, продолжительность которых от конца ледниковья до оптимума межледниковья составляет первые тысячи лет. После этого начинается этап длительного (многие десятки тысяч лет) возвратного похолодания до пессимума очередного ледниковья. Речные долины на каждый

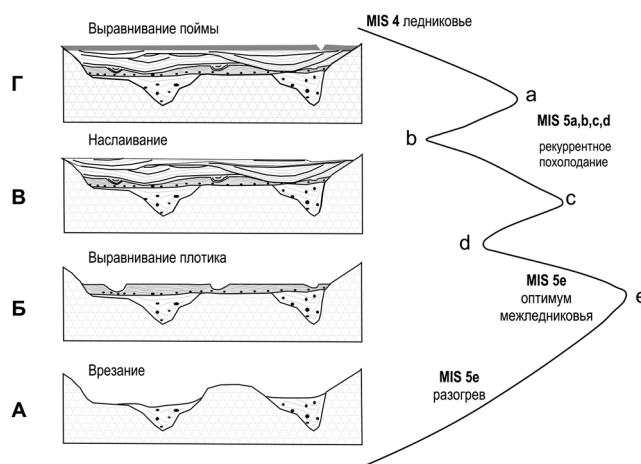


Рис. 5. Модель формирования климатически-зависимой толщи террасового аллювия (на примере второй террасы рек умеренного пояса). Пояснения в тексте

эпизод возвратного потепления — трендового похолодания успевают отреагировать смещением перегибов продольного профиля и построением микротеррас, формирующих в итоге сложную по конфигурации постройку констративного аллювия.

Общий разрез полного аллювиального цикла, таким образом, отчетливо напоминает разрезы осадков предыдущих обстановок (рис. 5, 6). Осадочные комплексы меняются от грубо слоистых или массивных галечно-песчаных толщ в основании постройки к довольно тонким песчаным (иногда гравийно-песчаным) ламинатам, которые надстраиваются косослоистыми многоэтажными пачками разного литофациального состава и заканчиваются преимущественно параллельно-слоистым или бесструктурным мелкоземным покровом.

Обсуждение

Как справедливо указывали Ф. Кюнен и С. Милиорини (Kuenen, Migliorini, 1950), наиболее естественно градиционная слоистость объясняется процессами седиментации, следующими за быстрыми резкими событиями в осадочных бассейнах типа извержений вулканов, пыльных бурь, сезонных и долговременных климатических изменений, встряхивания осадка штормовыми волнами. В этот список можно добавить сейсмические события, внезапную потерю устойчивости склонов бассейнов и рыхлых чехлов склоновых отложений, падения метеоритов. Все эти события, которые можно характеризовать как *импакты*, выводят осадочную систему из динамического равновесия, к которому она затем рекуррентно приближается, постоянно уменьшая амплитуду колебаний. Кюнен и Милиорини предложили для объяснения градиционной слоистости флишевых толщ очень выразительный импакт — мощные мутьевые потоки, знания о которых в то время только начинали накапливаться.

На примерах, рассмотренных в настоящей работе, мы отчетливо видим, что серии осадков, сформированных после выраженного импактного

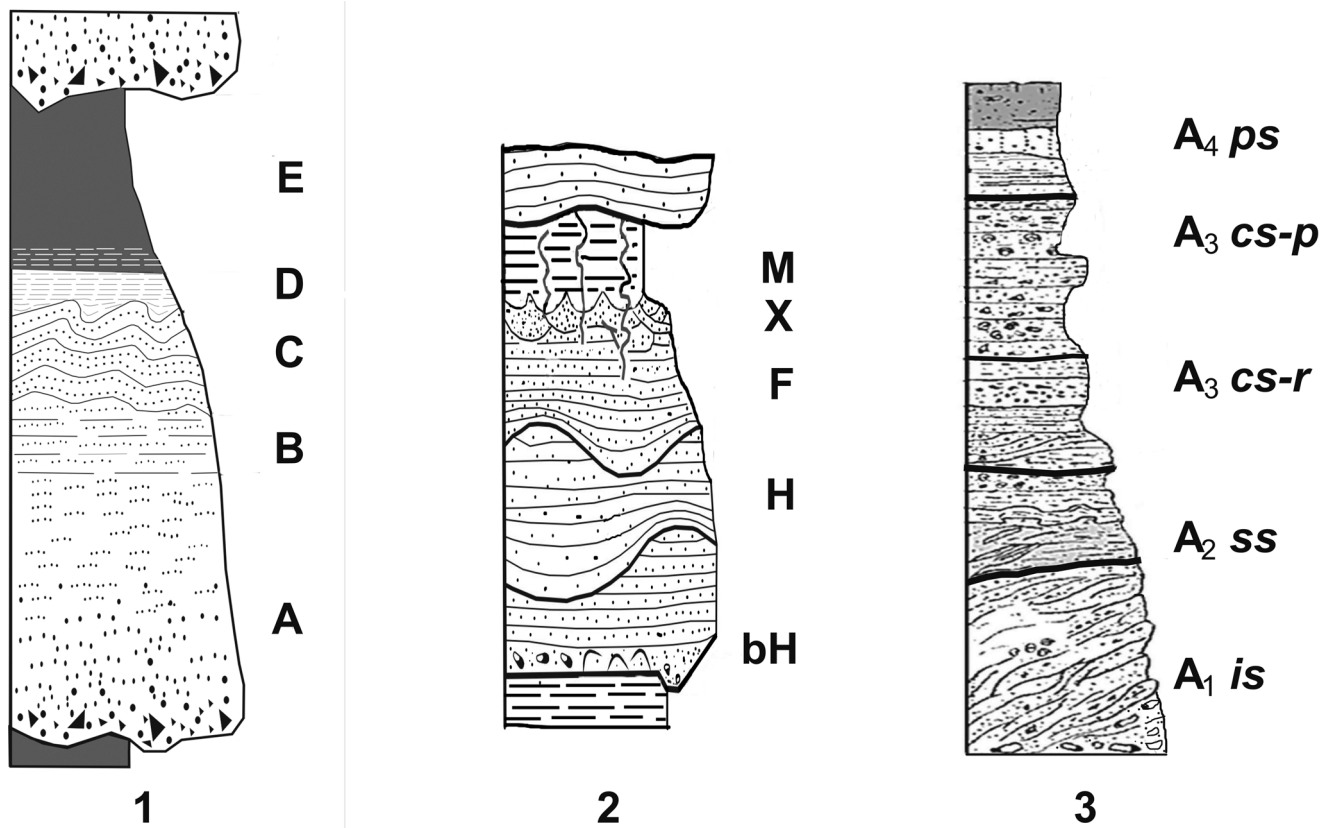


Рис. 6. Сравнительная архитектура турбидитной (1), бугорчатой (2) и аллювиальной (3) стратификаций: (1) А, В, С, D, Е – элементы последовательности Боумы; (2) bH – базальные хаммоки-слои, H – нормальные песчаные хаммоки-слои, F – плоские слои, X – косые слои, M – аргиллиты; (3) is – инстративный аллювий, ss – субстративный аллювий, cs-r – констративный аллювий преимущественно русловой, cs-p – констративный аллювий, преимущественно пойменный, ps – перстративный аллювий

воздействия самого разного типа, обнаруживают глубокое внутреннее сходство. Это сходство проявляется прежде всего в общей градиционной вертикальной структуре получающихся осадочных серий, с более или менее однородным порядком следования литофаций и архитектурных элементов. Безусловно, в каждой из рассмотренных стратификаций обнаруживается целый спектр типовых разрезов, зависящих от локальных условий седиментации, но также справедливо, что в каждом из этих спектров могут быть показаны усредненные «идеальные» разрезы, наиболее полно отвечающие механизмам образования данного класса осадков. Сравнение классических турбидитов, прибрежных темпеститов и нормального циклового аллювия демонстрирует их структурное подобие. Идеальный импактный ритм начинается грубо слоистыми или массивными галечно-песчаными толщами в основании постройки, продолжается более тонкими, в основном песчаными ламинатами донного волочения, которые надстраиваются косослоистыми многоэтажными пачками разного литофациального состава и заканчиваются преимущественно параллельно-слоистым или бесструктурным мелкоземным покровом.

Это сходство не ограничивается общим структурным подобием, но проявляется также в однотипных литофациях, слагающих эти постройки, которые мы предполагаем контрастно различными

по условиям образования. В этом заключается причина необходимости постоянной ревизии обстановок и механизмов седиментации данных стратификаций. Последовательность Боумы неоднократно интерпретировалась в терминологии волновых процессов и донных течений различной конфигурации. Бугорчатые (хаммоки) стратификации могут быть результатом и штормовых, и приливных волн, а также трехмерной рябью в потоковых обстановках, при этом похоже на хаммоки структуры обнаруживаются и в глубинных, и в параливальных, и во флювиальных системах. В речных осадках мы можем обнаружить толщи с характерным «турбидитным» и «бугорчатым» обликом, а каналные комплексы турбидитов, образующиеся в меандрирующих подводных руслах, принципиально не отличаются по образованию и стратификациям от пойменно-русловых речных осадков.

Одной из возможных причин неопределенности в интерпретации одних и тех же структурно-литологических единиц (помимо прогресса в детальности их изучения) может быть концептуальная привязка факторов структурирования к единственным обстановкам седиментации. Так, волновые интерпретации привязываются к зоне действия ветровых волн, энергетические интерпретации – к глубинным плотностным потокам и флювиальным поверхностным потокам и т.д. Эти интерпретации используются затем для моделирования палеогео-

графических и палеотектонических обстановок, адекватность которых по другим критериям может быть спорной.

Сейчас мы можем представить себе, что такой однозначной зависимости между факторами и обстановками осадочного структурирования на самом деле не существует. Волновые воздействия могут быть связаны не только с атмосферными событиями, но и вызываться самими глубинными потоками. Прибрежные области за пределами нормальной волновой зоны могут перерабатываться мелководными донными течениями, отложения подводных каньонов могут формироваться не только мутье-

выми потоками, но и канальными течениями в подводных русловых меандрирующих системах. Речные потоки в определенные эпизоды, например половодные, могут рассматриваться как плотностные. Эти обстоятельства позволяют предполагать, что важнейшей причиной морфологического сходства рассмотренных стратификаций является *импактный*, импульсный характер первичного воздействия, заводящего регулярные механизмы осадко-накопления, которые реализуются затем в различных формах и временных масштабах. Сравнительные характеристики этих стратификаций приведены в таблице.

Сравнительные характеристики турбидитов, прибрежных темпеститов и аллювия

	Турбидиты	Темпеститы (HCS)	Аллювий
Обстановка	Глубоководная	Мелководная	Субаэральная
Инициация	Потеря устойчивости склонов	Погодные кризисы	Климатический кризис
Триггеры	Землетрясения Промывка каньона Оползни	Шторм	Таяние ледников Изменение базисов эрозии
Переносчик материала	Мутьевой поток	Волны и канальные потоки	Канальные потоки
Периодичность	Сотни – тысячи лет	Десятки – сотни лет	Тысячи – десятки тысяч лет
Факторы первичного накопления материала	Оползни, обломочные потоки, аллювиальная и флювиогляциальная разгрузка, фоновое морское накопление	Аллювиальная разгрузка, береговая абразия	Половодные потоки, береговая и склоновая эрозия, флювиогляциальная разгрузка
Последующая переработка материала	Канальная	Канальная и площадный смыв	Канальное накопление и эрозия, пойменное накопление
Мощность осадков за цикл	Дециметры – первые метры	Первые сантиметры – первые метры	Первые метры – десятки метров
Основной тренд стратификации	Градационный	Градационный	Градационный

ЛИТЕРАТУРА

Ботвинкина Л.Н. Слоистость осадочных пород // Тр. Геол. ин-та АН СССР. Вып. 59. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 542 с.

Вассоевич Н.Б. Флиш и методика его изучения. Л.; М.: Гостехиздат, 1948. 216 с.

Вылцан И.А. Флишоидные формации (опыт анализа на примере палеозойских формаций западной части Алтае-Саянской складчатой области). Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1978. 208 с.

Стефановский В.В., Бородин А.В., Струкова Т.В. Корреляция аллювиальных и озерных отложений верхнего неоплейстоцена Южного Зауралья // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2003. Т. 11, № 4. С. 87–100.

Тевелев Арк.В., Шилова Г.Н., Хотылев А.О., Тевелев Ал.В. Влияние климатических событий МИС 5 на стратигра-

фию континентальных отложений и формирование речных террас Западной Евразии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 2015. № 1. С. 43–54.

Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. 512 с.

Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Тр. Ин-та геол. наук АН СССР. Вып. 135. Геол. сер. № 55. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 274 с.

Vouma A.H. Sedimentology of some flysch deposits, a graphic approach to facies interpretation. Amsterdam: Elsevier, 1962. 168 p.

Dott R.H., Bourgeois J. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences // Geol. Soc. Amer. Bull. 1982. Vol. 93, N 8. P. 663–680.

Duke W.L., Arnott R.W.S., Cheel R.J. Shelf sandstones and hummocky cross-stratification: New insights on a stormy debate // *Geology*. 1991. Vol. 19. P. 625–628.

Harms J.C., Southard J.B., Spearing D.R., Walker R.G. Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences // *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Short Course Notes*. 1975. N 2. 161 p.

Kuenen Ph.H., Migliorini C.I. Turbidite currents as a cause of graded bedding // *J. Geol.* 1950. Vol. 58. P. 91–127.

Lowe D.R. Sediment gravity flows. 2. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents // *J. Sediment. Res.* 1982. Vol. 52. P. 279–298.

Miall A. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits // *Earth-Sci. Rev.* 1985. Vol. 22. P. 261–308.

McHargue T., Pyrcz M.J., Sullivan M.D. et al. Architecture of turbidite channel systems on the continental slope: Patterns and predictions // *Mar. Petrol. Geol.* 2011. Vol. 28. P. 728–743.

Shanmugam G. The Bouma sequence and the turbidite mind set // *Earth-Sci. Rev.* 1997. Vol. 42. P. 201–229.

Shanmugam G. 50 years of the turbidite paradigm (1950s–1990s): deep-water process and facies models – a critical perspective // *Mar. Petrol. Geol.* 2000. Vol. 17. P. 285–342.

Stow D.A.V., Shanmugam G. Sequences of structures in finegrained turbidites: comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments // *Sediment. Geol.* 1980. Vol. 25. P. 23–42.

Studer B. Geognostische Bemerkungen über einige Theile der nordlichen Alpenkette // *Z. Mineralogie. Herausgegeben von Karl Cäsar, von Leonhard. Jahrgang 1827. Bd. I. S. 1–46.*

Сведения об авторе: *Тевелев Аркадий Вениаминович* – докт. геол.-минерал. наук, проф. каф. региональной геологии и истории Земли геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, *e-mail:* arctevelev@rambler.ru