

Фосфатизированные поверхности перерыва в известняках кундаского горизонта (дарривильский ярус, средний ордовик) Северо-Запада России

Поверхности перерыва с фосфатной импрегнацией широко распространены в конденсированных карбонатных разрезах нижнего – среднего ордовика Балтоскандии. Однако они трудно диагностируются и слабоизучены по сравнению с другими импрегнированными поверхностями (гётитовыми, пиритовыми и др.). На материале из эндоцератитовых известняков кундаского горизонта проводится вещественно-морфологическая типизация фосфатизированных поверхностей перерыва, рассматривается распределение типов на палеофациальном профиле, дается интерпретация основных морфологических особенностей. В наиболее мелководных и высокоэнергетических литофациях (биокластовые грейн- и пакстоуны, проксимальные вакстоуны) широко распространены поверхности перерыва с тонкой обычно эродированной импрегнацией и раковины с фосфатным заполнением – реликты полностью эродированных поверхностей перерыва. В более глубоководных фациях вакстоунов развиты поверхности с глубокой фосфатной импрегнацией, варьирующие от твердого (сильно фосфатизированные небиотурбированные) до мягкого дна (слабо фосфатизированные биотурбированные).

Ключевые слова: ордовик, кундаский горизонт, поверхности перерыва, биотурбация, твердое дно, мягкое дно.

G. S. ISKYUL (VSEGEI)

Phosphatized discontinuity surfaces in the limestone of the Kunda Regional Stage (Middle Ordovician) in northwest Russia

Phosphatized discontinuity surfaces are widely distributed in Lower – Middle Ordovician condensed carbonate sections of Baltoscandia. However, it is difficult to diagnose them and therefore they are poorly studied as compared to other impregnated surfaces. Morphological typification and genetic interpretation of the phosphatized discontinuities are given using material from the Endoceras limestone of the Kunda Regional Stage. The distribution of the discontinuity surfaces on the paleofacies profile is shown. The discontinuity surfaces with fine, usually eroded impregnation and phosphate-filled shells which are relics of full-eroded surfaces are common in the most shallow-water and high-energy lithofacies (bioclastic grain- and packstones, proximal wackestones). In the deeper-water wackestones, the discontinuity surfaces with deeper phosphate impregnation, varying from hardground (strongly phosphatized, not bioturbated) to softground (weakly phosphatized, bioturbated) are common.

Keywords: Ordovician, Kunda Regional Stage, discontinuity surfaces, bioturbation, hardground, softground.

Как цитировать эту статью: Искюль Г. С. Фосфатизированные поверхности перерыва в известняках кундаского горизонта (дарривильский ярус, средний ордовик) Северо-Запада России // Регион. геология и металлогения. – 2019. – № 78. – С. 5–20.

Введение. Нижняя часть ордовикской карбонатной серии (флоский – дарривильский ярусы) эстонско-российской части Балтийско-Ладожского глинта представлена конденсированными нетропическими биокластическими известняками, содержащими на отдельных уровнях глауконит и некарбонатные оолиты (гётитовые, фосфатные, пиритовые). Характерной особенностью этих отложений являются поверхности перерыва (ПП), весьма разнообразные по морфологии и составу сингенетичной минерализации

[1–4]. Это комплексные седиментологические объекты, облик которых сформирован в ходе седиментогенеза (эрозия, седиментация) и раннего диагенеза (минерализация, литификация, растворение) при тесном взаимодействии с бентосной биотой. Поэтому изучение ПП включает целый ряд аспектов (литологический, геохимический, палеоихнологический, палеоэкологический и др.) и исключительно важно для понимания седиментологии ордовикских карбонатных отложений Балтоскандии.

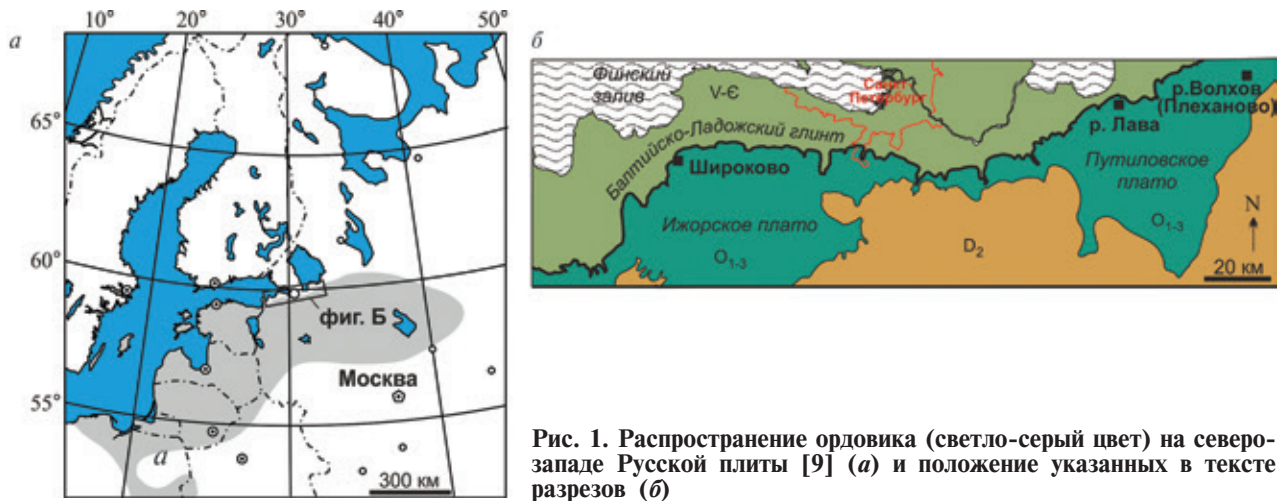


Рис. 1. Распространение ордовика (светло-серый цвет) на северо-западе Русской плиты [9] (а) и положение указанных в тексте разрезов (б)

На российской части глинта распространены ПП со следующими типами минерализации — гётитовой, глауконитовой [1, 2], пиритовой, гематит-фосфатной и фосфатной. Первые три типа легко диагностируются благодаря ярким тонам окраски — желтой у гётитовой минерализации, зеленой — глауконитовой, черной — пиритовой. Первые два типа минерализации многочисленны в нижней части карбонатной серии (латорпский, волховский горизонты). Напротив, бледноокрашенные фосфатизированные ПП и продукты их разрушения обычно пропускаются, что приводит к потере седиментологической информации и потенциальных стратиграфических маркеров. При этом фосфатизированные ПП появляются с самых низов карбонатной серии и в дарривильской части среднего ордовика (начиная с кундаского горизонта) составляют более 90 % от всех минерализованных ПП. В статье рассматриваются основные морфогенетические особенности фосфатизированных ПП и их распределение на профиле палеобассейна на примере эндоцератитовых известняков кундаского горизонта (подгоризонт $V_{III\beta}$).

Работа основана на изучении более 60 образцов ПП, собранных в ходе послойного изучения обнажений кундаского горизонта по рекам Копорье, Лава и Волхов (рис. 1). Данные обнажения характеризуют западную, переходную и восточную группы разрезов кундаского горизонта. Для проявления фосфатной импрегнации автором был использован метод травления известняков азотной кислотой, что позволило диагностировать даже ПП с зачаточной стадией импрегнации. Образцы распиливались поперек напластования через 0,5–1 см. Спилы шлифовались и травилась 10%-й азотной кислотой в течение 20 с. В результате этой обработки фосфатная импрегнация приобретала контрастную белую окраску и небольшой положительный рельеф, что позволяло в деталях изучать морфологические особенности. Содержание

P_2O_5 определено методом ICP MS (15 проб) на приборе ELAN-DRC-6100 в лаборатории ВСЕГЕИ. Характеристика микроструктур карбонатных пород дана в терминах [6].

Стратиграфия и фации. Кундаский горизонт (дарривильский ярус, средний ордовик) обнажается на дневную поверхность вдоль денудационного уступа Балтийско-Ладожского глинта. На российской части глинта горизонт подразделен на три подгоризонта и шесть зон по азафидным трилобитам: подгоризонты $V_{III\alpha}$ (зона *expansus*), $V_{III\beta}$ (зона *raniceps-striatus*) и $V_{III\gamma}$ (зоны *minor-pachyophthalmus*, *sulevi-ingrianus*, *laevissimus*) [7]. Основной объем горизонта слагают сероцветные биокластические известняки с ортоконами наутилоидей (эндоцератитовый известняк [11]). В нижней и верхней частях горизонта обычно присутствуют маломощные пачки известняков с гётитовыми оолитами — в интервале $V_{III\alpha}$ — низах $V_{III\beta}$ (нижний оолитовый слой) и на разных уровнях $V_{III\gamma}$ (верхний оолитовый слой).

Литологическая изменчивость кундаских отложений вдоль российской части глинта позволяет выделять три типа разрезов — западный, переходный и восточный. Западные разрезы (Нарва — Тосна, 7–8 м) сложены в основной части грубослоистыми биокластическими известняками с обильными фосфатизированными ПП и ортоконами наутилоидей.

Восточные разрезы (Плекханово на р. Волхов, 16,5 м; скв. Дяглево на р. Лынна, 15 м) сложены в основной части тонкослоистыми глинистыми известняками с тонкими пропластками глины. Поверхности перерыва здесь редки.

Разрезы переходного типа (Путилово — Войбокало, 10–12 м) в нижней части ($V_{III\alpha}$ и $V_{III\beta}$) аналогичны разрезам западного типа в верхней части ($V_{III\gamma}$) — восточного.

В статье рассматривается материал, полученный из эндоцератитовых известняков подгоризонта $V_{III\beta}$ (утриаская пачка). Для

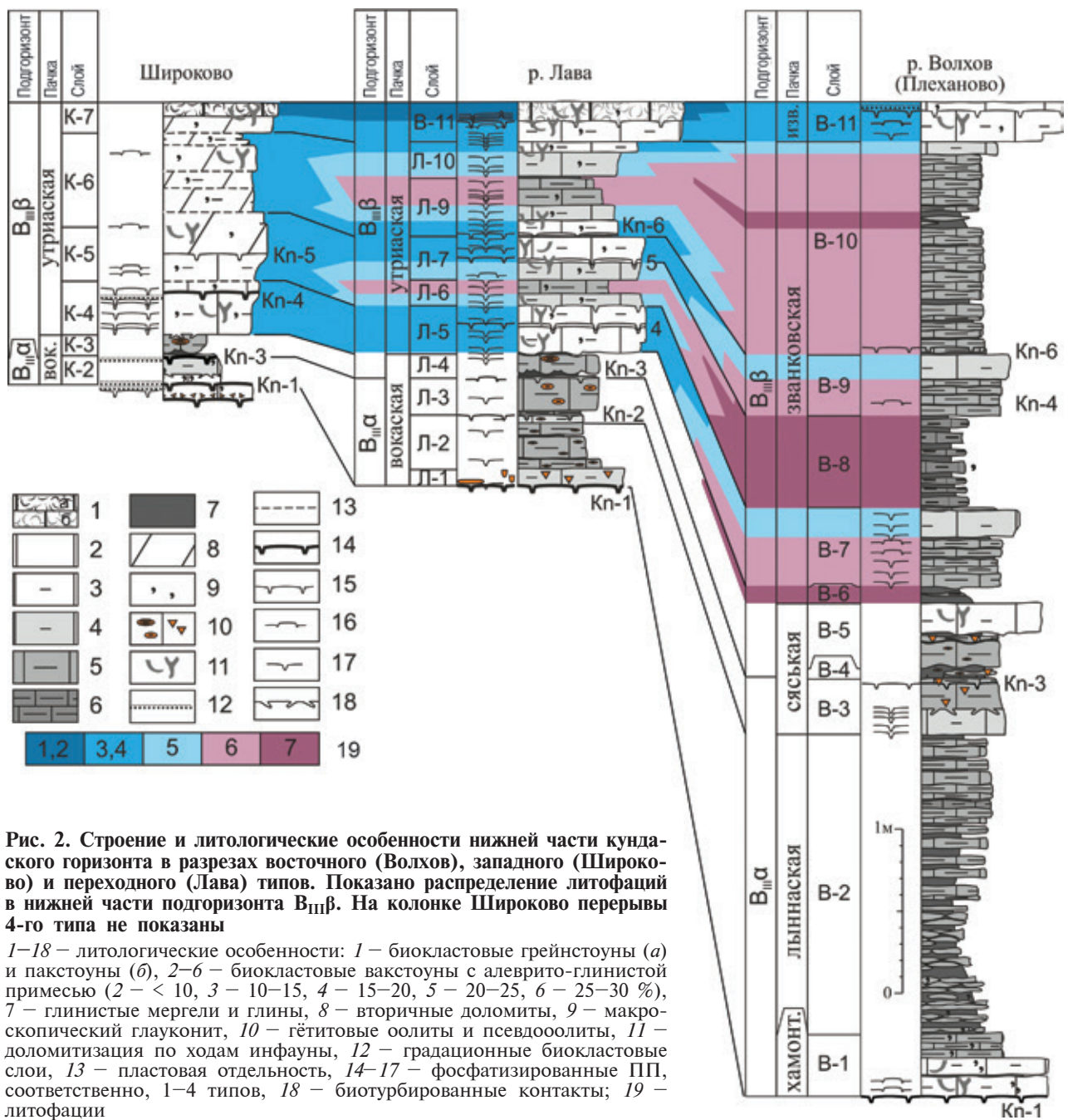


Рис. 2. Строение и литологические особенности нижней части кундакского горизонта в разрезах восточного (Волхов), западного (Широково) и переходного (Лава) типов. Показано распределение литофаций в нижней части подгоризонта $V_{III\beta}$. На колонке Широково перерывы 4-го типа не показаны

1–18 – литологические особенности: 1 – биокластовые грейнстоуны (а) и пакстоуны (б), 2–6 – биокластовые вакстоуны с алевро-глинистой примесью (2 – < 10, 3 – 10–15, 4 – 15–20, 5 – 20–25, 6 – 25–30 %), 7 – глинистые мергели и глины, 8 – вторичные доломиты, 9 – макроскопический глауконит, 10 – гётитовые оолиты и псевдооолиты, 11 – доломитизация по ходам инфауны, 12 – градационные биокластовые слои, 13 – пластовая отдельность, 14–17 – фосфатизированные ПП, соответственно, 1–4 типов, 18 – биотурбированные контакты; 19 – литофации

данных отложений реконструирован профиль из 7 литофаций (рис. 2, см. также рис. 9). Биокластовые литофации (1 и 2) маркируют наиболее мелководные и высокоэнергетические обстановки среднего рамп. Они представлены серыми известняками с относительно сортированными структурами грейнстоуна и пакстоуна. Данные отложения сформировались в результате нескольких фаз перемыва известковых илов с биокластами, в ходе которых биокластовый осадок структурно «созревал» и обогащался раковинами с реликтами осадков разных стадий [3].

Илистые литофации (3–7) отвечают более спокойным обстановкам среднего и нижнего рамп. Они сложены светлыми (сероватыми,

розоватыми) известняками с заметным преобладанием матрикса над псаммитовыми биокластами. Матрикс представляет собой смесь микробиокластов (< 0,05 мм) и микроспаритового кальцита. Распределение биокластов весьма неравномерно даже в пределах шлифа, что является результатом полной биотурбации осадка ходами инфауны различной этиологии и размера. В целом, учитывая значительное содержание матрикса, известняки могут считаться условными вакстоунами. Фоновая биотурбация с индексом 5–6 по [13] образована следами рытья диаметром 1–3 мм. Мощности и глинистости илистых литофаций заметно возрастают в сторону палеобассейна, но характер микроструктур меняется

относительно слабо. Лишь в литофации 7 начинают появляться прослой с преобладанием структуры мадстоуна.

Вещественно-морфологические особенности поверхностей перерыва. Рассматриваемые в статье ПП относятся к параллельным несогласиям и могут быть определены как поверхности напластования, обладающие комплексом признаков (морфологических, палеоэкологических, минералого-геохимических, литологических), указывающих на перерыв в осадконакоплении. ПП ордовика Балтоскандии отличаются от согласных поверхностей напластования в первую очередь эрозионным рельефом (обычно резко неровным) и сингенетичной минерализацией; они могут содержать синхронные поселения инфавны или более поздние биотурбации [2, 4, 10]. Кратко рассмотрим эти признаки применительно к кундаским фосфатизированным ПП.

Абиогенный рельеф образован в ходе площадной эрозии несвязного биокласто-илистого осадка (см. Рельеф: эрозия vs растворение). Характерны выступающие в рельефе (отпрепарированные) более плотные участки осадка – слепки ихнофоссилий и раковины. Последние нередко бронируют вершины небольших до 3–4 см эрозионных останцев. В шлифах можно наблюдать, как биокласты эродированного слоя выступают в рельефе ПП, а биокласты выше ПП – приспособляются к ее рельефу. В терминах [4] рельеф может быть назван «несглаженным неровным».

Фосфатная импрегнация представляет собой тонкую (от 1–3 до 30 мм) зону замещенного известкового осадка, развитую непосредственно под ПП. В зависимости от содержания P_2O_5 цвет импрегнации меняется от белесого (~ 1–2 %), серого или коричневатого (~ 3–7 %) до темно-серого или коричневого (~ 10–13 %). Метасоматозу подвергся лишь иловый карбонатный матрикс, замещенный пелитоморфным карбонатапатитом, тогда как биокласты остались кальцитовыми или (при особенно сильной фосфатизации) были растворены. Гётитовые оолиты на участках сильной импрегнации были замещены железистым карбонатапатитом с частичной потерей ламинации. Во вторичных доломитах участки фосфатной импрегнации по причине выноса карбоната приобрели белую окраску и мучнистое сложение, из-за которых могут приниматься за доломитовую муку; в отличие от последней, участки фосфатизации сохраняют биокластовую структуру, обычно преобразованную в псевдоморфную (с пустотами от биокластов).

Ихнофоссилии относительно времени формирования ПП могут быть разделены на *до-омиссионные* (более ранние,

срезаются ПП), *омиссионные* (синхронные) и *пост-омиссионные* (более поздние, секут ПП) [5]. Диагностическим признаком оmissионных ихнофоссилий является импрегнация их стенок и пассивное заполнение вышележащим осадком. Такие ихнофоссилии – сверления *Trypanites*, неглубокие норы – встречаются лишь на наиболее зрелых ПП (хардграундах). Пост-омиссионные ихнофоссилии проникают из перекрывающего осадка, секут и даже брекчируют полосу импрегнации; среди них автор выделяет две размерные группы. Условно мелкая инфавна оставила шнуровидные ходы диаметром 1–3 мм, хаотично ориентированные и без футеровки и ветвления. По-видимому, это следы передвижения и/или питания; заполнение таких ходов более илистое и с концентрическим расположением биокластов. Условно крупные ихнофоссилии (диаметр ходов 4–20 мм, редко до 50 мм) эволюгически более разнообразны и включают норки сидячего бентоса (*Gastrochaenolithes*, *Bergaueria*), норы червей или ракообразных (*Arenicolites?*, *Balanoglossites*), а также следы поедания осадка, выделяющиеся слоистым или менисковым биокластовым заполнением (*Teichichnus*). Однако чаще всего крупные ихнофоссилии выступают лишь как некие следы рытья без ярких ихнотаксономических особенностей.

В кундаских отложениях российской части глинта фосфатизированные ПП представлены восьмью вещественно-морфологическими типами (рис. 3), которые различаются характером импрегнации, амплитудой рельефа и палеоихнологическими особенностями. В илистых и биокластовых литофациях набор типов заметно различается, хотя отдельные типы прослеживаются везде.

Поверхности перерыва в илистых литофациях. Здесь выделяются типы 1–4, для которых характерна относительно глубокая (5–25 мм) импрегнация обычно со следами проникновения пост-омиссионной инфавны. Данные типы сменяют друг друга в сторону палеобассейна, демонстрируя постепенное ослабление фосфатизации, уменьшение амплитуды рельефа и усиление пост-омиссионной биотурбации.

Тип 1. Сильно фосфатизированные ПП без пост-омиссионной биотурбации. Как правило, они входят в состав сложных ПП, состоящих из двух – трех индивидуальных поверхностей. Они хорошо известны в нижнем и среднем ордовике Балтоскандии, где определяются как хардграунды [1, 2, 4, 9]. Их диагностические признаки следующие:

- непрерывная полоса сильной фосфатизации ($P_2O_5 > 10\%$) коричневого цвета;
- отсутствие пост-омиссионных ихнофоссилий любых размеров и этиологии;

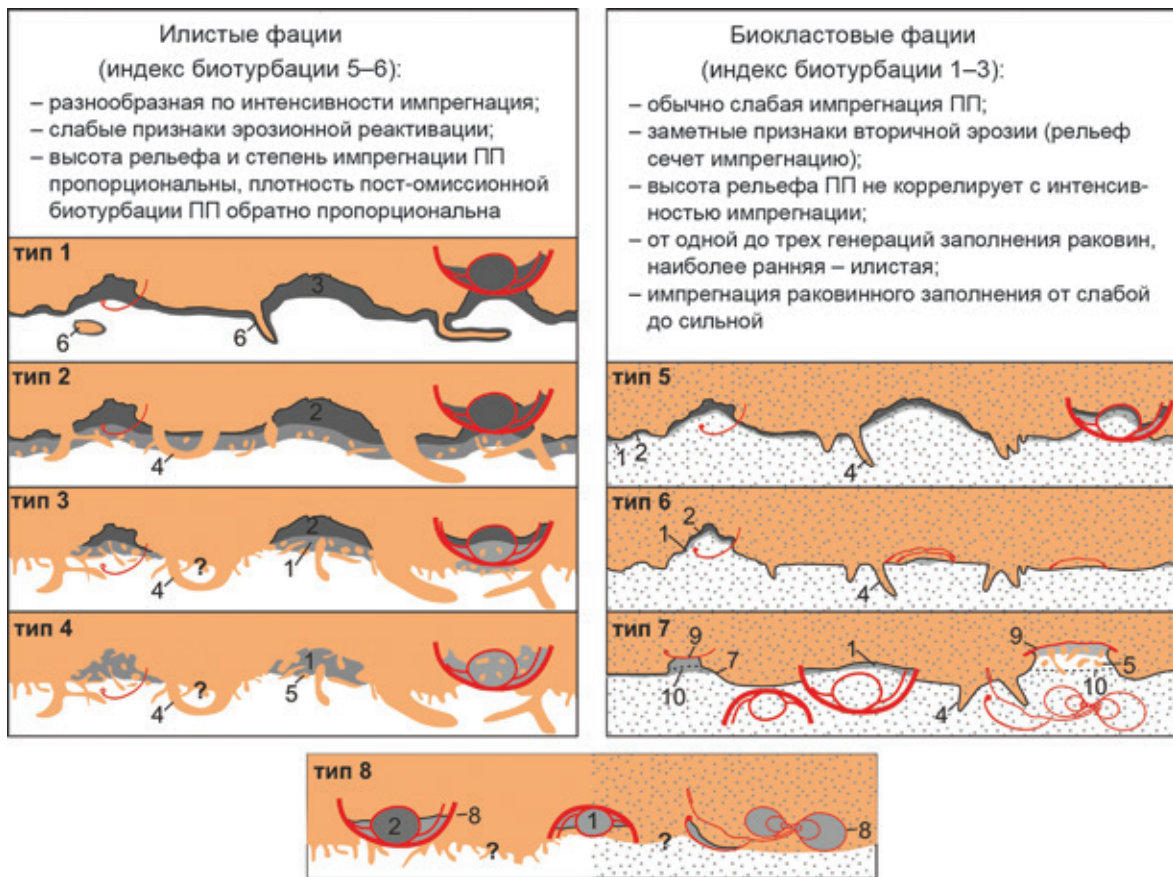


Рис. 3. Вещественно-морфологические типы фосфатизированных ПП в эндоцератитовых известняках. Цифрами обозначены: импрегнация слабая (1), средняя (2) и сильная (3), пост-омиссионная биотурбация мелкая (4) и крупная (5), омиссионная биоэрозия (6), раковины с реликтовым илистым заполнением (8), эрозионные останцы с илистыми вершинами (9). В случае типов 3, 4 и 8 вне участков импрегнации поверхность перерыва неразличима из-за литологической однотипности выше- и нижележащего слоя. Типы 7 и 9 часто встречаются совместно

– эрозионный рельеф амплитудой до 2–4 см;

– омиссионные ихнофоссилии стадии плотного (норы) и твердого дна (сверления) являются важным, но нечасто встречающимся признаком.

Примером служит поверхность Кп-4 в карьере Широково, состоящая из трех индивидуальных поверхностей (ПП-1, 2, 3) (рис. 4). К рассматриваемому типу принадлежит ПП-1, обладающая следующими особенностями:

И м п р е г н а ц и я коричнево-бурая (рис. 4, з) глубиной 4–20 мм непрерывная, довольно равномерно подчеркивает рельеф.

Р е л ь е ф неровный неглаженный с амплитудой до 40 мм. Микрорельеф зубчатый за счет выступающих из субстрата биокластов (рис. 4, д). Основные неровности создают небольшие эрозионные останцы (вероятно, участки начальной цементации) и устья омиссионных нор.

О м и с с и о н н ы е ихноструктуры представлены частыми неглубокими норями и единичными сверлениями *Trypanites*. Норы диаметром от 6 до 12 мм и глубиной до

30 мм, с неглаженными стенками U-образные (с двумя устьями), варьируют от круто погружающихся до очень пологих. На рис. 4, а, б фрагмент крупной норы виден в правой части рисунка. Сверления *Trypanites* узкие (1–1,5 мм) прямые неглубокие (< 10 мм), встречаются единично.

ПП-2 и 3 развиты в кровлях небольших эрозионных останцев и линз, сохранившихся на ПП-1. ПП-2 обладает несколько более светлой коричневой импрегнацией глубиной до 8 мм, которая в непротравленных образцах трудноотличима от импрегнации ПП-1. ПП-3 характеризуется тонкой (до 6 мм в линзах, а в останцах – до 20 мм) бледно-коричневой импрегнацией, которая пронизана редкими мелкими пост-омиссионными биотурбациями. Время заложения последних устанавливается по секущему характеру ходов по отношению к импрегнации, а этология – по следам перемешивания в ходах импрегнированного и свежего осадка. ПП-2 и особенно ПП-3 образуют двух- и трехфазные эрозионные останцы, бронированные усеченными ортоконами (центральная часть образца

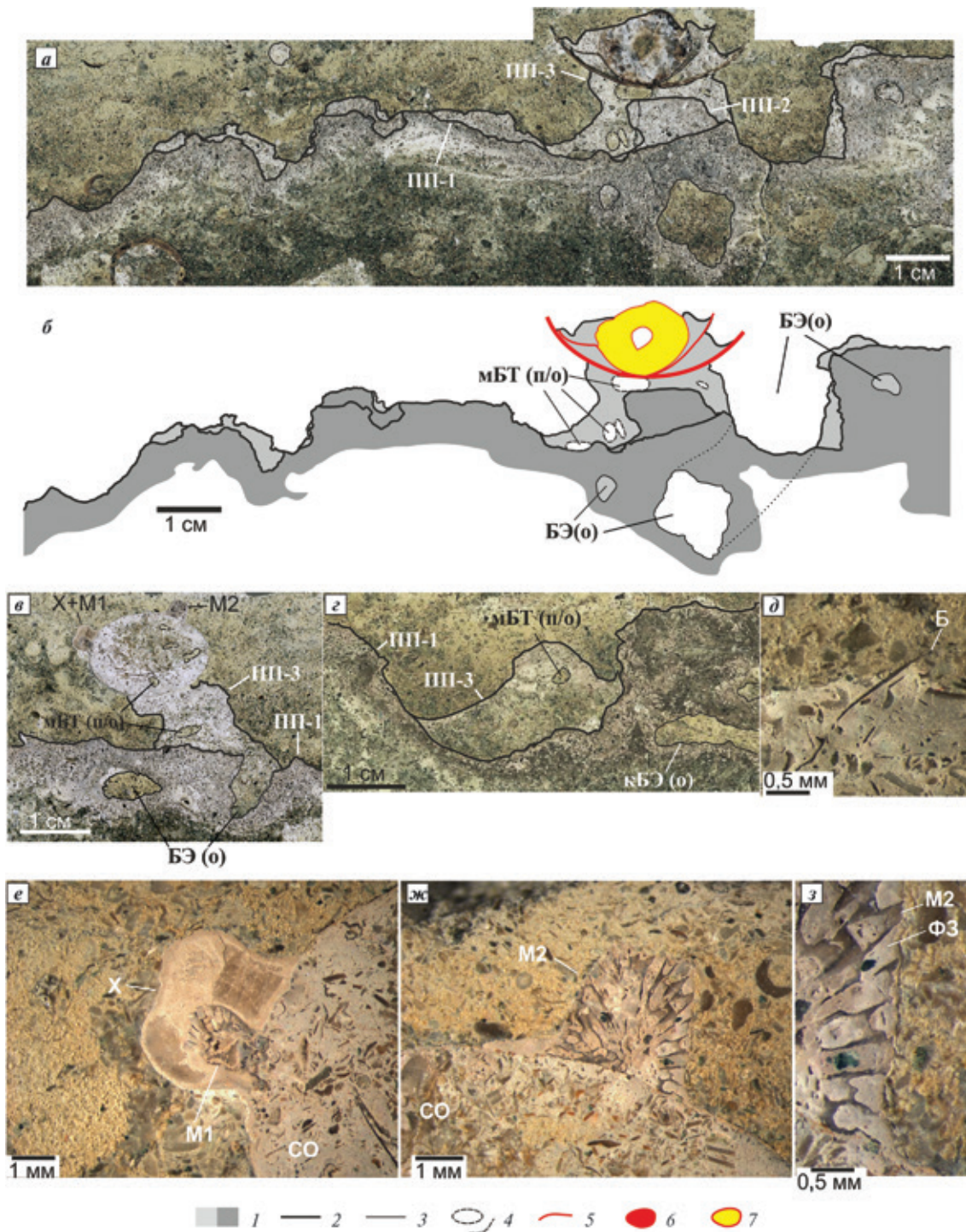


Рис. 4. Поперечные сечения ПП 1-го типа (Кп-4, карьер Широково)

Осн. сокращения на рис. 4–8: БЭ(о) – оmissионные биоэрозийные ихноструктуры; кБТ(п/о), мБТ(п/о) – пост-омиссионная биотурбация крупная и мелкая; И₁, И₂ – импрегнация слабая и сильная; ПП – поверхность перерыва; ФЗ – фосфатизированное заполнение раковин; ДВ – ореолы доломитизации вокруг ходов инфуны. На а и з–з импрегнация осветлена после травления кислотой.

а, б – общий вид тройной ПП и ее обрисовка. Правее центра расположен двухфазный останец, бронированный вентральной частью эндоцероидного ортокона; в – продолжение того же образца со вторым останцем, бронированным эндоцероидным сифоном с тремя биоинкрустаторами – холдфастом иглокожего, обросшим маленькую мшанку (X+M1), и более крупной мшанкой (M2); г – полировка с настоящими цветами импрегнации; д – створка брахиоподы (Б), выступающая из ПП-1 крупным планом; е, ж – обрастатели с б, крупный план: холдфаст (X), наростий на мелкую мшанку (M1), и более крупная мшанка (M2), заполнение которых фосфатизировано сильнее, чем сифон ортоцеракона (CO), на который они нарости; з – контакт фосфатизированного заполнения (ФЗ) мшанки M2 с вмещающей породой; края зоэциев находятся вровень или ниже краев заполнения.

1–4 – импрегнация: 1 – слабая и относительно сильная, 2–4 – границы эрозийные (2), биоэрозийные (3), биотурбационные и отдельные биотурбации (4); 5–7 – раковинная фауна: 5 – трилобиты, брахиоподы, моллюски, 6 – мшанки, 7 – спаритовый цемент полостей

на рис. 4, а) или даже одними сифонами эндоцератоидей (рис. 4, б). Ортоконы лежат сифоном вниз. На выступающих из ПП-2 и -3 раковинах обнаруживаются обрастатели (мелкие мшанки и холдфасты иглокожих), которые отсутствуют на самих ПП. Фосфатизированный ил, заполняющий мшанки, находится практически вровень с краями зоециев (рис. 4, з; возможное значение этого явления см. Рельеф: эрозия vs растворение). Обрастатели селились на разных стадиях растворения раковинного вещества ортоконов: под мшанкой на рис. 4, ж еще наблюдаются реликты стенки сифона, тогда как холдфаст на рис. 4, е вырос уже на осадочный слепок. Несмотря на то, что количество наблюдаемых индивидуальных ПП не превышает трех, реальное количество фаз фосфатизации, по-видимому, было больше. По сравнению с субстратом обрастатели более темные (сильнее фосфатизированы). При этом холдфаст на рис. 4, е оброс маленькую мшанку, заполнение которой фосфатизировано еще сильнее. Таким образом, можно говорить по меньшей мере о еще двух фазах фосфатизации, которые имели место после формирования ПП-3, но практически не оставили следов.

Тип 2. Умеренно фосфатизированные ПП с редкой пост-омиссионной биотурбацией. Встречаются гораздо чаще, чем поверхности 1-го типа, но упоминаются в литературе реже. Их морфология не была предметом изучения. Диагностические признаки фосфатизированных ПП этого типа следующие:

- прерывистая за счет развития крупных пост-омиссионных ходов полоса умеренной (P_2O_5 3–7 %) фосфатизации серого/белесого, коричневатого, сиреневатого цветов.

- отсутствие достоверных омиссионных икноструктур.

- появление частых крупных и редких мелких пост-омиссионных следов рытья; в верхней наиболее насыщенной части импрегнации мелкие ходы могут отсутствовать.

- несглаженный неровный эрозионный рельеф амплитудой 1–2 см с выступами высотой до 4 см (аналогично типу 1).

Примером является комплекс поверхностей Кп-4 на р. Лава. Менее зрелый, по сравнению с карьером Широково, облик этих ПП обусловлен тем, что разрез р. Лава формировался в несколько более мористых условиях. Об этом свидетельствуют, в частности, повышенные глинистость и мощность карбонатных слоев. Комплекс Кп-4 состоит из двух не пересекающихся (в отличие от карьера Широково) поверхностей, относящихся к типу 2. Предполагается, что ПП-1 в карьере Широково отвечает обеим этим поверхностям, а незрелые фазы ПП-2 и -3 в разрезе р. Лава почти не формировались.

Морфология верхней ПП детально изучена по серии поперечных спилов, сделанных через

1 см (рис. 5, а). Зарисовка морфологических особенностей потребовала предварительного травления породы, так как без этого полоса импрегнации плохо видна на фоне породы (ср. рис. 5, д и е).

Импрегнация глубиной 10–23 мм образует две зоны: а) верхнюю – более сильную серого и темно-бежевого цветов, чаще встречаемую на выступах; б) нижнюю – слабую белесого цвета (рис. 5, е). При травлении кислотами различия зон в окраске исчезают. Вне выступов развита преимущественно белесая импрегнация. Нижняя граница импрегнации переходная, но там, где встречаются крупные фрагменты трилобитов, последние резко ограничивают распространение импрегнации вниз (рис. 5, б, д, е).

Рельеф аналогичен ПП-1 в карьере Широково – неровный несглаженный (бугристый) с амплитудой до 30 мм, микрорельеф зубчатый за счет выступающих из субстрата биокластов. Наиболее высокие выступы формировались над скоплениями крупных раковинных остатков, бронировавших осадок и, возможно, способствовавших его начальной цементации. Так, выступ в средней части образца на рис. 5, б, как показывает сопоставление спилов (рис. 5, а), образован вдоль линейного скопления раковин, ориентированного перпендикулярно плоскости рисунка. В рельефе выступают отпрепарированные края створок брахиопод, щитков трилобитов и мелкие колонии мшанок. Тонкие интерстиции последних заполнены фосфатизированным илом почти вровень с краями зоециев (рис. 5, ж).

Ихноструктуры заложены на пост-омиссионной стадии – они проникают из перекрывающего слоя и секут полосу импрегнации. Последнее хорошо видно на примере крупных ходов, секущих сразу обе зоны (рис. 5, е). Крупные ($d = 4–12$ мм) следы рытья расположены через 2–6 см; их очертания неровные и даже лапчатые, нарушенные более поздними мелкими ($d = 1–3$ мм) следами рытья. Помимо разрывов полосы импрегнации, крупные ходы литологически почти не выделяются. Изредка встречаются особенно крупные, шириной до 5 см, разрывы импрегнации (рис. 5, а, спилов 1 и 2), которые прослеживаются также в подстилающих ПП. Мелкие рытья обильны в перекрывающем слое, немногочисленны в нижней части импрегнации (куда они проникают по крупным следам рытья) и единичны в верхней зоне импрегнации.

Тип 3. Умеренно фосфатизированные лоскутные ПП. По вещественно-морфологическим особенностям близки предыдущему типу, но имеют ряд отличий:

- локально развита (на возвышениях) полоса фосфатизации серого, коричневатого, сиреневатого цветов (P_2O_5 3–7 %), ослабляющаяся вниз до белесой;

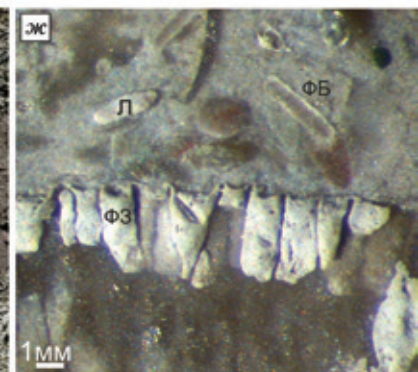
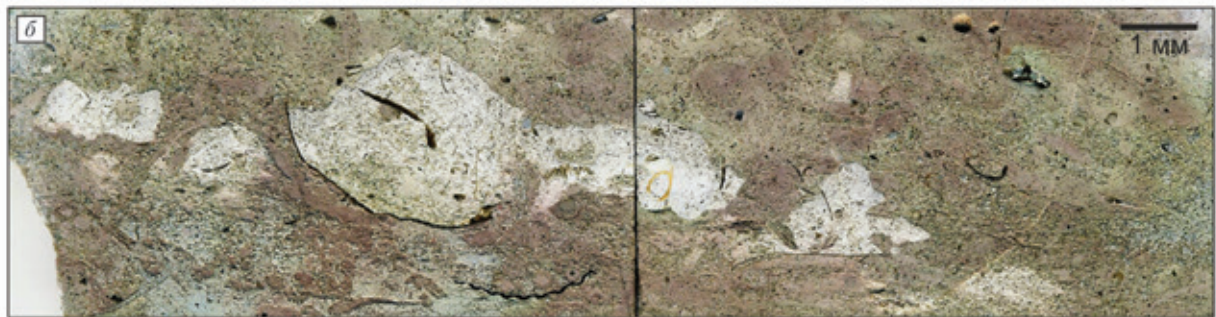
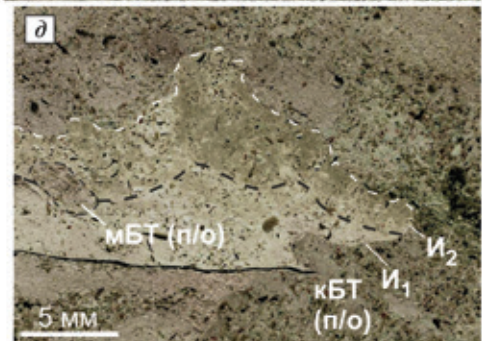
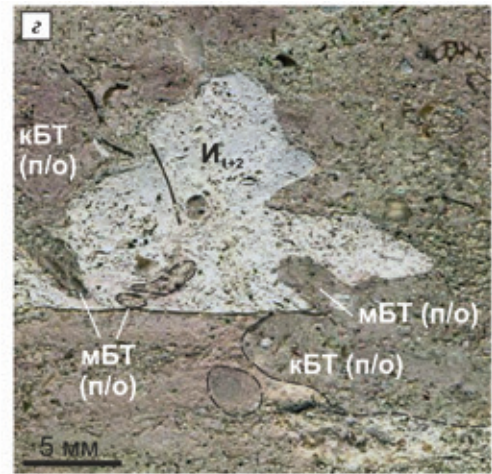
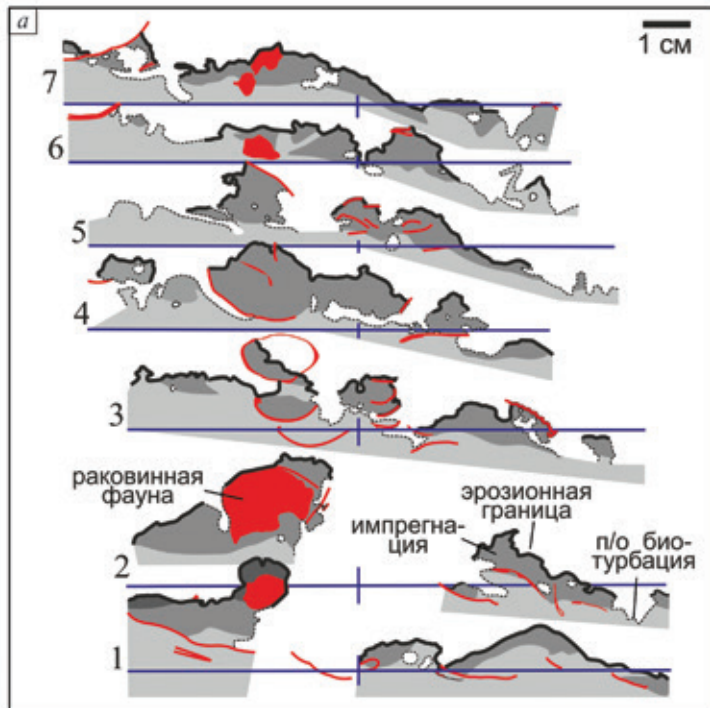


Рис. 5. Поперечные сечения ПП 2-го типа (Кп-4/б, р. Лава)

Усл. обозн. см. на рис. 4. Все образцы, кроме *e*, протравлены кислотой.

a – распределение участков эрозии, фосфатизации и наложенной в пределах небольшого 8×15 см фрагмента поверхности. Обрисовки спилов, сделанных через 1 см. Темно-серое – импрегнация, светло-серое – неимпрегнированная порода под ПП; *b*, *в* – участок ПП с частыми пост-омиссионными ходами, спил 4, внешний вид (*b*) и его обрисовка (*в*). Отметим, что щиты трилобитов (Т) резко ограничивают распространение импрегнации вниз. В полосе импрегнации находится корродированный слепок-интракласт гастроподы (Г), выделяющийся более сильной фосфатизацией; *г* – фрагмент *b* крупным планом, видны мелкие пост-омиссионные следы рытья в полосе импрегнации; *д* – тот же участок на противоположной стороне спила, полированный и отраженный зеркально. Полоса импрегнации почти не отличается по цвету от чистого известняка. Верхняя граница импрегнации показана белым, а граница нижней и верхней зон черным пунктирами. Видно, что стенка крупного хода (слева) сечет как верхнюю (И₂), так и нижнюю (И₁) зоны импрегнации; *e* – фрагмент ПП без крупных пост-омиссионных ходов, спил 7. Хорошо виден неровный микрорельеф с выступающими фоссилиями – мшанками (М) и брахиоподами (Б). Над поверхностью «висят» мелкие литоинтракласты (Л), в том числе отторгнутый и отпрепарированный кранидий *Амрух* (К); *ж* – увеличенный фрагмент мшанки на *e*, выступающий из ПП. Края зоэциев и фосфатизированного заполнения находятся почти на одном уровне. В перекрывающем слое видны фосфатизированные биокласты (ФБ) и литоинтракласты (Л)

– крупные редко расположенные пост-омиссионные следы рытья в импрегнированных выступы обычно не попадают;

– нижняя часть полосы импрегнации переработана мелкими пост-омиссионными следами рытья, что обусловлено доступностью этих участков для заселения мелкой инфауной.

Изучение лоскутных ПП в плане показало, что выступы рельефа представляют собой отчетливо линейные образования (валики), неровные и извивающиеся, изредка разветвляющиеся или даже замыкающиеся в кольцо толщиной 1–3 см и высотой до 3 см. Валики интерпретируются как откопанные эрозией слепки крупных горизонтальных ходов, близких к талассиноидам. В пользу такого предположения свидетельствует отчетливая линейность валиков и их Т- и Y-образные разветвления. В поперечном сечении валики напоминают небольшие интракласты, от которых отличаются отсутствием нижней стороны; между валиками поверхность различима только там, где есть литологический контраст слоев ниже и выше нее.

Примером может служить ПП, лежащая в слабоглинистом известняке в 12 см над подошвой утриаской пачки в карьере Широково. Она изучена по серии спилов вкост напластования, на которых установлены продольные и поперечные сечения валиков. Здесь приведены только последние, так как они наиболее часто встречаются в штуфах (рис. 6). Более полно поверхности данного типа будут рассмотрены в другой статье.

Рельеф. В поперечном сечении валики субтреугольных очертаний, высотой и шириной 2–2,5 см, расположены на расстоянии 5–10 см друг от друга. Эрозионная поверхность сохранилась только на импрегнированных участках; ее микрорельеф здесь такой же, как у ПП, описанных выше (выступающие биокласты и т. п.).

И м п р е г н а ц и я. Приурочена исключительно к валикам и в целом согласна с их рельефом. Она распространяется на всю

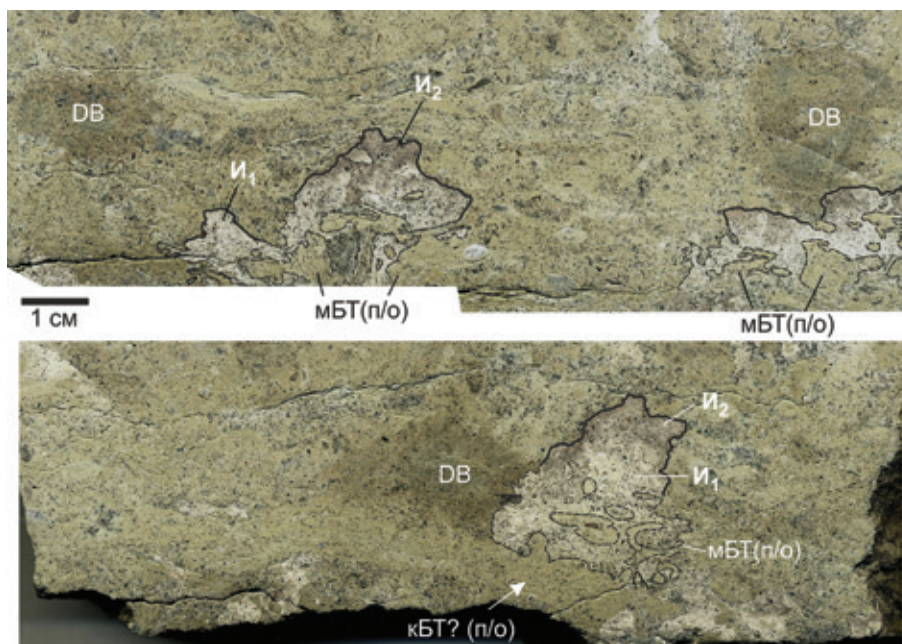


Рис. 6. Поперечные сечения ПП 3-го типа

Объяснения даны в тексте

высоту валиков, на вершинах коричнево-серая глубиной до 7 мм, вниз довольно резко переходит в почти белую.

Ихноструктуры. В пределах полосы импрегнации отмечены только пост-омиссионные мелкие следы рытья, плотность расположения которых резко различна в зонах слабой и сильной фосфатизации. В зоны слабой фосфатизации (нижняя часть валиков) наблюдается обильное проникновение мелких ходов. Напротив, участки сильной фосфатизации (вершины валиков) содержат лишь единичные следы рытья этого типа. Некоторые из таких мелких ходов срезаются поверхностью валиков, что может указывать на их реактивацию.

Тип 4. Слабо фосфатизированные ПП с сильной пост-омиссионной биотурбацией. Многочисленные, через 2–6 см, поверхности этого типа характерны для биокластических вакстоунов с содержанием алеврито-глинистой примеси 12–18 %. Диагностические признаки:

– прерывистая и в виде цепочки мелких пятен полоса слабой ($P_2O_5 \sim 1-2\%$) импрегнации белесого цвета;

– частые мелкие пост-омиссионные ходы, образующие кружевной или горошчатый рисунок участков импрегнации;

– эрозионный рельеф амплитудой не более 1 см, почти целиком разрушен биотурбацией.

В качестве иллюстрации приведем два образца из утриаской пачки р. Лава, взятые на высоте 15–18 см и 100–107 м над ее подошвой. Первый образец – слабоглинистый пакстоун-вакстоун, содержащий ПП 4-го типа. Полоса белесой импрегнации глубиной 5–10 мм расчленена вертикальными следами рытья диаметром 6–18 мм (рис. 7, а). На фоне сохранившихся участков импрегнации видны частые мелкие пост-омиссионные следы рытья, занимающие около 35 % площади (рис. 7, б).

Второй образец – глинистый вакстоун с тремя ПП 4-го типа (рис. 7, в–д). Нижняя поверхность (ПП-1) обладает наиболее выдержанной, хоть и сильно расчлененной следами рытья полосой импрегнации глубиной 3–5 мм. Между септами усеченного ортокона импрегнация толще (до 7 мм), а сама ПП чуть выше (рис. 7, з, д). Это может говорить

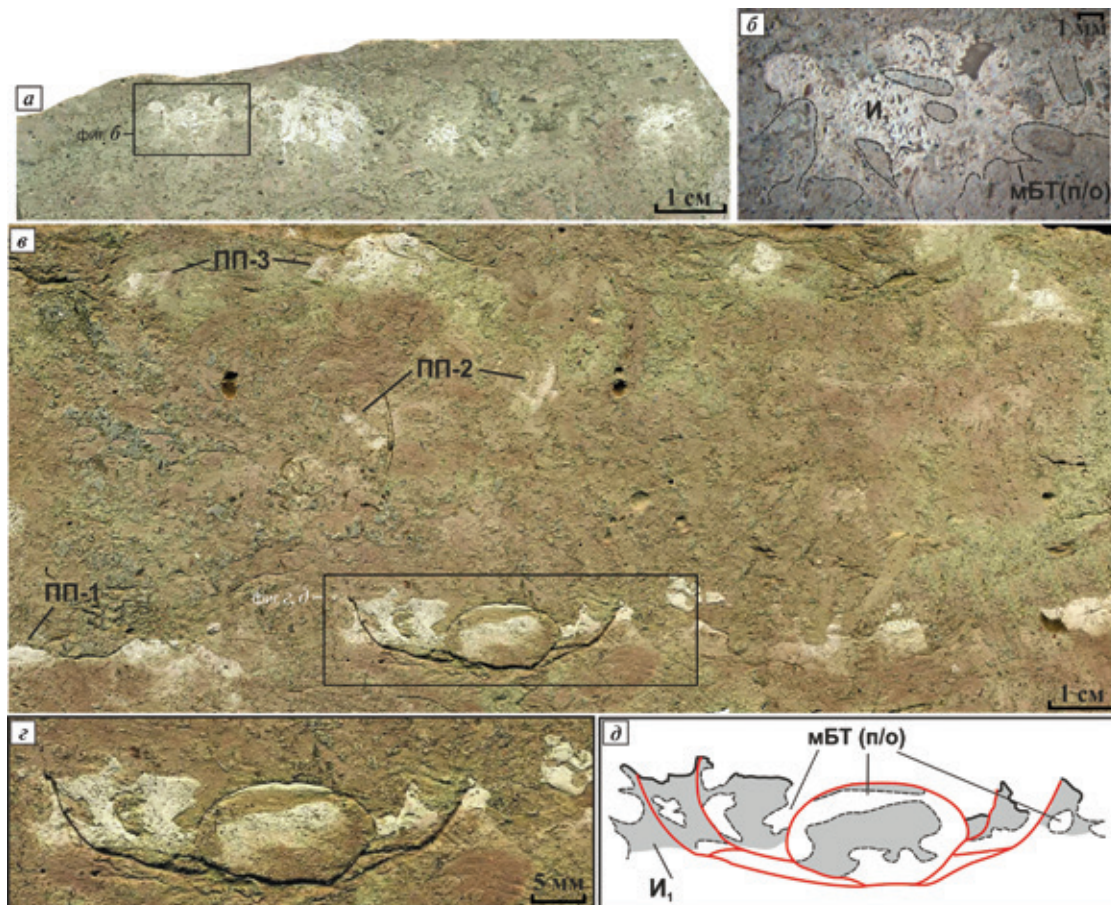


Рис. 7. Поперечные сечения ПП 4-го типа

Усл. обозн. см. на рис. 4. Все образцы обработаны кислотой.

а, б – поверхность в слое Л-5, р. Лава, вид полосы импрегнации в натуральную величину (а) и увеличенный фрагмент с обрисовкой пост-омиссионной биотурбации (б); в–д – три ПП в слое Л-9, р. Лава, вид в натуральную величину (в), увеличенный участок с усеченным ортоконом (з) и его обрисовка (д)

о небольшом размыве полосы импрегнации, которая более полно сохранилась под защитой ортокона. Благодаря большей толщине импрегнации внутри ортокона, в ней хорошо видны мелкие пост-омиссионные следы рытья, плотность расположения которых меньше, чем в перекрывающем слое. Крупные разрывы полосы импрегнации (14–15 мм), наблюдаемые слева и справа от ортокона, возможно, представляют следы рытья крупной инфауны.

Былое существование второй поверхности (ПП-2) с зачаточной полосой импрегнации угадывается по двум светлым пятнам примерно по центру образца. Эти участки имеют лапчатые очертания из-за пронизывающих их мелких пост-омиссионных ходов.

Верхняя поверхность (ПП-3) представлена цепочкой редких пятен фосфатной импрегнации глубиной до 7 мм, отстоящих на расстоянии 2–4 см. Мелкая пост-омиссионная биотурбация обусловила их кругевидный рисунок и даже лапчатые очертания (верхний правый угол образца на рис. 7, *в*). Широкий разнос пятен импрегнации и их изометричность позволяют предположить, что данная поверхность является незрелым вариантом типа 3.

Поверхности перерыва в биокластовых литофациях. Здесь характерны, с одной стороны, маломощность импрегнации и следы ее размыва (до полного), а с другой – хорошая сохранность даже очень слабо выраженных поверхностей, обусловленная слабостью пост-омиссионной биотурбацией осадка. Здесь выделяются типы 5, 6 и 7, которые, по-видимому, являются аналогами (с поправкой на указанные выше особенности) типов 2, 3 и 4. Это несглаженные неровные ПП с амплитудой рельефа до 1,5 см и отдельными останцами высотой до 2–3 см, обычно бронированными крупными раковинами. Тип 5 характеризуется в целом конформной рельефу импрегнацией глубиной 3–5 мм, на выступах до 7 мм, серой (верхняя зона) и белесой (нижняя зона). Эрозионные останцы редки. Встречаются участки шириной до 10 см, на которых полоса импрегнации уничтожена плотно расположенными крупными пост-омиссионными следами рытья. Фрагмент поверхности 5-го типа изображен на рис. 8, *а* (ПП-1).

Типы 6 и 7 отвечают сильно эродированным поверхностям. Тип 6 развит на субстрате без крупных раковинных фрагментов и характеризуется слабо неровной эрозионной поверхностью с редкими корнями эродированной фосфатной импрегнации и единичными, резко выраженными выступами высотой до 2 см с интенсивной (серой) конформной импрегнацией до 3–5 мм. Тип 7 развит на субстрате с частыми раковинными остатками

и, как результат, характеризуется весьма неровным рельефом с частыми эрозионными останцами, бронированными раковинами. Вершины останцев нередко илистые с реликтами ранее существовавших ПП 4-го типа и мелкой пост-омиссионной биотурбацией. Собственно эрозионная поверхность может нести корни эродированной импрегнации, но чаще различима только за счет литологического контраста контактирующих слоев. К этому типу относится ПП, изображенные на рис. 5, *Б–Г* в статье [3], а также верхняя ПП на рис. 8, *а*. Для всех трех типов характерно утолщение импрегнации внутри раковин.

В верхней части слоя В-11 утриаской пачки р. Лава и карьера Путилово данные поверхности следуют через 0,5–2 см. Они разделяют элементарные слои пакстоуна с растущей вверх плотностью упаковки биокластов. Последний признак отражает увеличение энергии среды седиментации, поэтому закономерно, что вверх усиливаются признаки повторной эрозии полосы импрегнации. Самые нижние ПП относятся к типу 5, верхние – к типу 7.

Переработанные поверхности перерыва. Перерывы этого типа представляют собой, по сути, определенные уровни в карбонатной толще, в пределах которых раковинная фауна (наутилоидеи, гастроподы, мшанки, брахиоподы, трилобиты) заполнена фосфатизированным осадком (далее ФЗ – фосфатизированное заполнение). От вмещающей породы ФЗ отделено эрозионным контактом, вдоль которого наблюдается наиболее сильная фосфатизация. Вне раковин эта эрозионная граница не прослеживается. Многочисленные ортоконы наутилоидей и другие раковинные остатки, содержащие ФЗ, были впервые обнаружены автором в утриаских эндоцератитовых известняках карьера Путилово и р. Лава. Такое заполнение раковин отличалось по цвету (белесому) и структуре (пелитоморфной без вторичного доломита) от вмещающих известняков, но было аналогично импрегнации фосфатизированных ПП из других частей утриаской пачки. Позже было обнаружено, что многочисленные раковины с ФЗ являются характерной особенностью относительно чистых и конденсированных биокластических известняков кундаского – ласнамягского горизонтов на всем отрезке глинта от Таллина до р. Волхов. Наиболее информативным примером такого рода фоссилий являются усеченные (без дорсальной стороны) раковины наутилоидей, представленные как небольшими целыми ортоконами, так и фрагментами крупных фрагмоконов длиной от первых сантиметров до полуметра. ФЗ содержится в сифонах и реже – на дне воздушных камер.

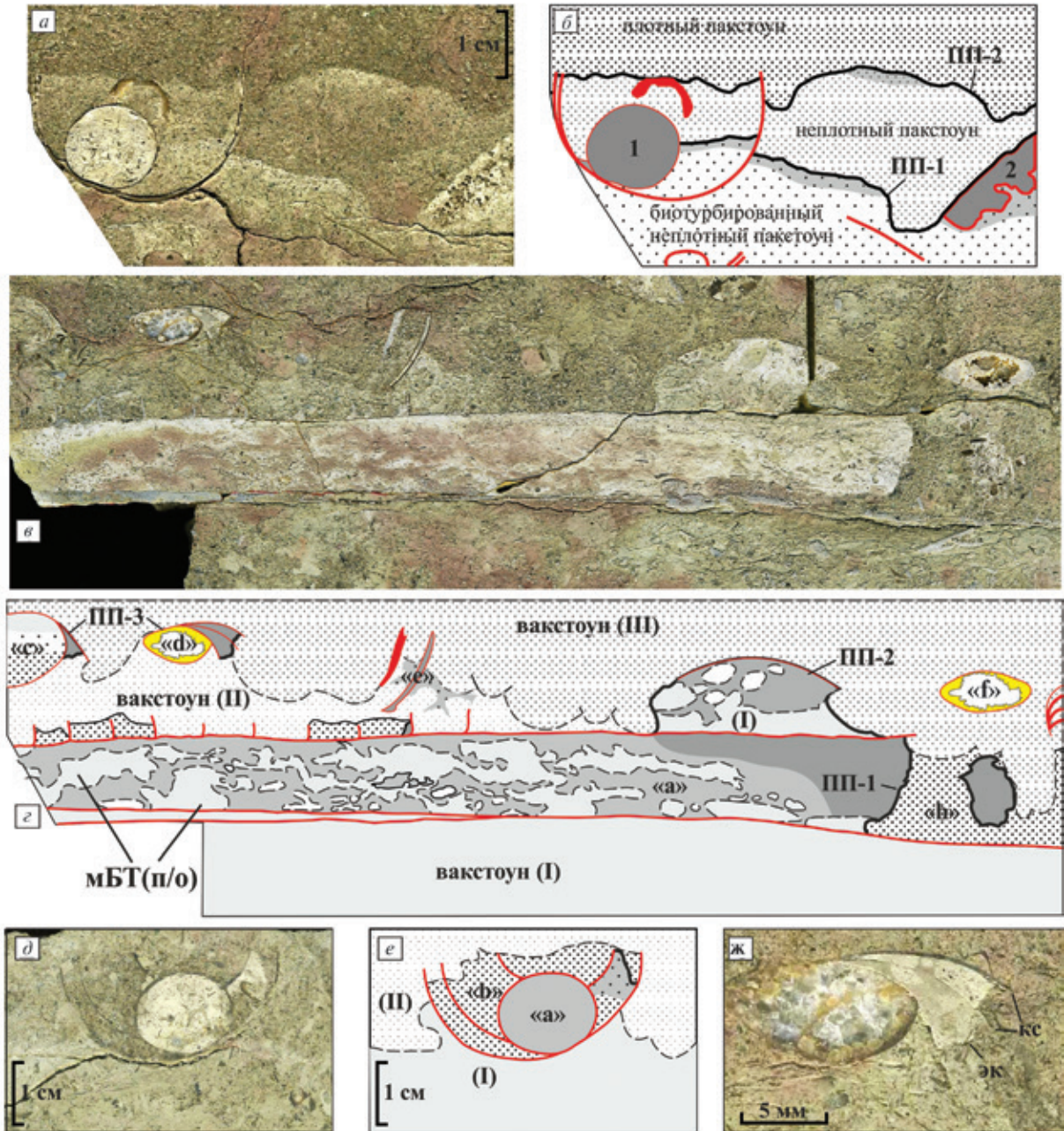


Рис. 8. Поперечные сечения ПП типов 5 и 7 (эрозивные диастемы) и типа 8 (раковины с ФЗ)

Усл. обозн. см. на рис. 4. Образцы на а, в, ж протравлены.

а, б – сочетание диастем и раковин с ФЗ в пакстоуне слоя В-11, скан образца (а) и его обрисовка (б). Раковины с ФЗ включают усеченный ортокон с сильно фосфатизированным мадстоуном в сифоне (1) и мшанку с аналогичным заполнением зоэциев (2). Отметим, что заполнение сифона несогласно с вмещающей породой по глубине и интенсивности фосфатизации; в, г – раковины с ФЗ в вакстоуне слоя В-11, скан образца (в) и его обрисовка (г). Центральную часть образца занимает продольное сечение сифонной трубки крупного эндоцероида «а», над ним видны поперечные сечения апикальных частей трех параллельно лежащих ортоконов «с», «д», «ф». Подробные объяснения в тексте; д, е – поперечное сечение крупного эндоцероида «а», скан образца (д) и его обрисовка (е). Подробные объяснения в тексте; ж – ортокон «д» крупным планом; отметим, что срезаемые края септ (кс) и эрозивный контакт заполнения с вмещающей породой (эк) обращены вниз, т. е. ортокон перевернут

Раковины наутилоидей из биокластовых известняков (пакстоунов, грейнстоунов) сохраняют раковинное вещество и содержат до трех генераций ФЗ с последовательно грубеющей структурой; наиболее древняя генерация представлена мадстоуном, наиболее молодая – пакстоуном [3]. Фоссилии с ФЗ здесь ассоциируются с эрозивными диастемами (рис. 8, а, б).

Раковины наутилоидей из илестых известняков отличаются частичным или полным растворением раковинного вещества и одной генерацией илестого заполнения. В качестве примера приводится образец из нижней части слоя В-11 р. Лава (рис. 8, а–д). В образце намечаются три слоя вакстоуна с бифурбированными контактами (слои I, II, III),

и могут быть обнаружены следы, по меньшей мере, трех фосфатизированных поверхностей (ПП-1, 2, 3). Реликты ПП-1 сохранились на заполнении крупного усеченного ортокона в слое I. Ортокон участками растворен в диагенезе. Сифон заполнен глинистым мад-вакстоуном «а», внешне сходным с вакстоуном I. Вакстоун «а» в устье сифона срезан эрозионной ПП-1 и сильно фосфатизирован. Вглубь сифона фосфатизация осадка ослабевает и ее обильно пронизывают мелкие пост-омиссионные ходы, подчеркнутые розовой окраской. Надо заметить, что ФЗ сифона отделено эрозионным контактом не от самого слоя I, а биокластового пакстоуна «b», который заполняет приустьевую часть ортокона и его воздушные камеры. Вне ортокона пакстоун «b» не встречается.

Реликты импрегнации ПП-2 сохранились в виде эрозионного останца в кровле слоя I, бронированного щитком трилобита. Высота останца 1 см, импрегнация его вершины глубиной 7 мм слабая (белесая) с кружевным рисунком мелкой пост-омиссионной биотурбации.

Реликты импрегнации ПП-3 сохранились в виде ФЗ мелких раковинных фрагментов на контакте слоев II и III, гипсометрически на том же уровне, что и останец поверхности 2. Это апикальные части усеченных ортоконов «с» и «d», а также вертикально стоящий фрагмент трилобита «е». Все они заполнены темно-серым сильно фосфатизированным мад-стоуном в ортоконах, имеющих отчетливый эрозионный контакт с вмещающей породой.

Изучение ортоконов «с» и «d» показывает, что они ориентированы срезанными септами вниз (занимают так называемое второе устойчивое положение), причем вниз также смотрят эрозионные контакты ФЗ, заключенного между этими септами. Это говорит о том, что ортоконы «с» и «d» были не только вымыты из фосфатизированной ПП, но и переотложены в виде интракластов (своего рода раковинного перлювия). В случае ортокона «а» и ортокона на рис. 8, а утрата связи с исходным субстратом неочевидна, так как ортоконы сохранили позицию первоначального захоронения (сифоном вниз). С другой стороны, заполнение их сифонов резко контрастирует с вмещающей породой своей сильной фосфатизацией, так что, по-видимому, эти ортоконы все-таки были вымыты из осадка, но остались на месте.

Поверхности перерыва и микрофации. Распределение ПП по фациальному профилю (рис. 9) подчиняется определенным закономерностям. Проксимальные литофации характеризуются, прежде всего, поверхностями типов 5–8 с более (типы 7 и 8) или менее (типы 5 и 6) яркими признаками повторной эрозии. Наиболее мелководные и высокоэнергетические фации среднего рампа

(грейнстоуны и пакстоуны) сформированы за счет перебива биокласто-илового осадка с незрелыми ПП и обогащены продуктами разрушения последних – фосфатизированными биокластами и раковинами с незрелым ФЗ. Однако в этих породах встречаются также раковины с ФЗ, импрегнированным аналогично ПП 1 и 2-го типов, отсутствующим здесь. Возможно, сильная импрегнация – результат наложения нескольких циклов захоронения, импрегнации и переотложения. Крайняя стадия эволюции ортоконов с ФЗ – слабоокатанные фосфоритовые слепки вентральных частей ортоконов и отдельных сифонов, встречаемые редко в эндоцератитовых известняках Ижорского плато и более часто – Западной Эстонии.

Переход от биокластовых литофаций к более глубоководным илистым ознаменован заметным снижением частоты и энергии переотложения осадка, а также резким усилением его биотурбации. Первое создало условия для формирования глубоко импрегнированных ПП; кроме того, количество генераций ФЗ в раковинах уменьшилось до одной. Второе привело к исчезновению слабовыраженных ПП (диазем), уничтожавшихся инфауной на стадии захоронения. В слабоглинистых вакстоунах микрофаций 3 и 4 наблюдается тонкая стратификация из ПП типов 2–4, для которых характерны слабые признаки реактивации (срезание мелких пост-омиссионных следов рытья).

Примерно на границе среднего и нижнего рампа формировались глинистые вакстоуны литофаций 5 и 6, для которых характерны, с одной стороны, быстрый прирост мощности к дистали, а с другой – исчезновение фосфатизированных ПП. Последние представлены здесь незрелыми разновидностями (тип 4), следующими по разрезу через 4–8 см.

Глубина эрозии в литофациях 1–4, судя по амплитуде рельефа, составляла не менее 2–4 см. Исходя из того, что там на 1 м мощности приходится в среднем до 30–40 видимых ПП (без учета раковин с ФЗ), только это должно было привести к сокращению мощности эндоцератитовых известняков кундаского горизонта примерно на 0,3–0,6 м на каждый метр разреза. Учитывая наличие раковин с ФЗ и других скрытых ПП, сокращение мощности должно было быть еще сильнее.

Рельеф: эрозия vs растворение. Формирование рельефа ПП в раннем – среднем ордовике Балтоскандии разными авторами связывалось с действием эрозии (размыва), коррозии и биоэрозии как самих по себе, так и в сочетании [4, 8, 10]. На кундаском материале видно, что рельеф ПП образован в общем случае за счет площадного удаления карбонатного осадка и образования частых мелких выступов из более плотных (слепки ихнофоссилий)

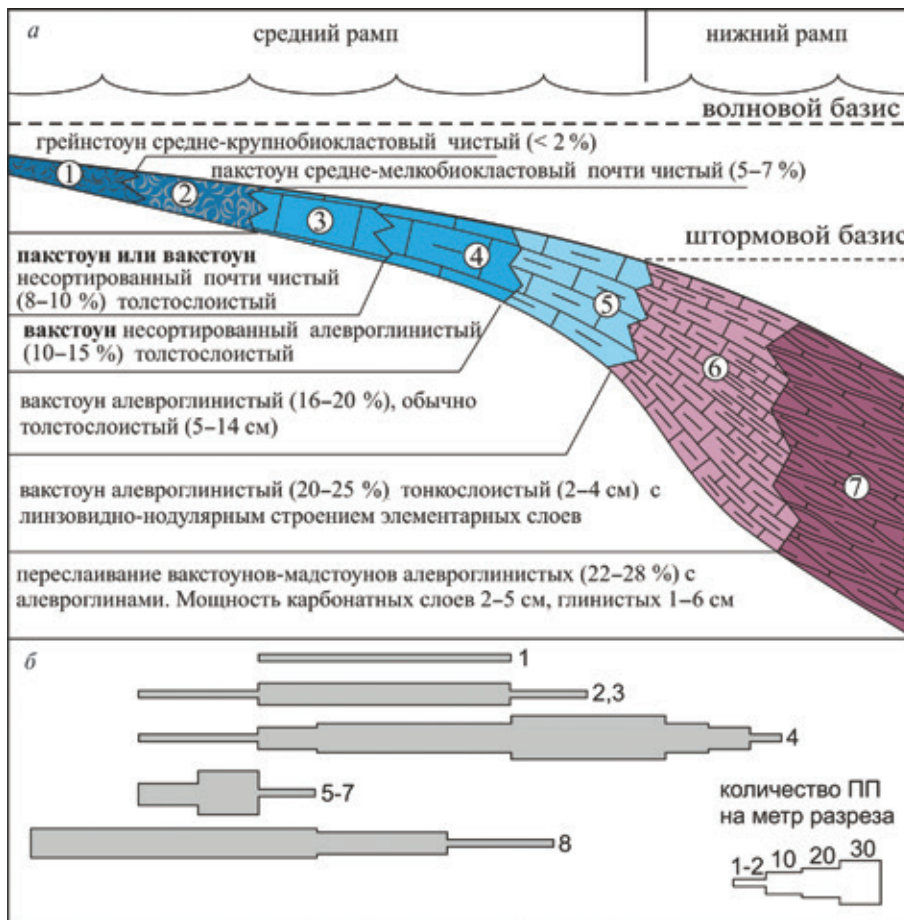


Рис. 9. Реконструированная последовательность литофаций для подгоризонта VIIIβ (а) и распределение типов ПП (б)

и твердых (раковины, интракласты) участков. Совершенно очевидно, что такой тип рельефа может быть результатом размыва неуплотненного осадка с очагами начальной цементации внутри нор инфауны. Вполне возможно, что морское растворение могло привести к сходным результатам. Однако различная растворимость нелигифицированного известкового ила и кальцитовых раковин привела бы не просто к обнажению последних, но препарированию их тонких интерстиций, чего не наблюдается. Так, карбонатный ил, заполняющий мшанковые зоеции (диаметр 0,3–0,4 мм), находится практически вровень с их краями (рис. 4, з, 5, ж). Кроме того, выступающие из осадка фрагменты известковой фауны несут повреждений, которые могли бы быть интерпретированы как следы растворения. Что же касается биоэрозии, то ее следы присутствуют на ПП 1-го и редко 2-го типов, но они имеют точечный, а не площадной характер. Таким образом, можно сделать предварительный вывод в пользу эрозии как основного рельефообразующего агента.

Твердое, плотное и мягкое дно. На основе изучения фанерозойских обстановок седиментации Зейлахером [12] были выделены три

основных типа морского дна (мягкое, плотное и твердое) различающихся комплексами ихнофоссилий и эпибионтов. Эта концепция широко используется при описании и интерпретации поверхностей перерыва. *Мягкое дно* представляет собой полужидкий осадок, который в нормально-морских обстановках перерабатывается мелкими и крупными илоедами, например, *Chondrites*, *Zoophicos* [5], *Macaronichnus* или *Phycodes*. *Плотное дно* уже обладает определенной степенью связности для существования в нем системы тоннелей и шахт сестонофагов, например, *Thalassinoides*. Образование этого субстрата связывается [5] со смывом несвязных верхних слоев осадка и обнажением литостатически уплотненных слоев. Однако в обстановках карбонатной седиментации легко представить превращение обычной поверхности ненакопления в плотное дно просто за счет начальной цементации. *Твердое дно* отвечает хорошо литифицированной поверхности, которая заселена сверлильщиками и инкрустаторами.

Данная концепция в ее классическом варианте оказалась трудно применима к балтоскандийским ПП, так как последние в большинстве лишены омиSSIONНОЙ инфауны и эпи-фауны. В частности, организмы-обрастатели

(мшанки, иглокожие) отсутствуют на поверхностях перерыва, но обычны на раковинах. Поэтому в данной работе сделана попытка использовать для приблизительного субстратного ранжирования ПП из илистых фаций интенсивность пост-омиссионной биотурбации. В качестве палеоихнологической точки отсчета (мягкий субстрат) принимались вакстоуны над ПП, полностью переработанные мелкими следами рытья (индексы биотурбации 5 и 6 по [13]).

Участки слабой фосфатизации (ПП 4-го типа и нижняя часть импрегнации ПП 3-го типа) биотурбированы несколько слабее, чем перекрывающие вакстоуны. Плотность мелкой биотурбации составляет здесь до 5–10 ходов на квадратный сантиметр, а индекс биотурбации – 4. Очевидно, что такой субстрат не представлял серьезного препятствия для мелкой инфауны и может также рассматриваться как мягкое дно, особенно если наблюдается перемешивание фосфатизированного и свежего осадка. Плотность мелкой биотурбации в белесой импрегнации ПП 2-го типа намного ниже, что обусловлено меньшей доступностью этой зоны для мелких биотурбаторов (поверх нее – плотная верхняя зона).

Участки с умеренной серой фосфатизацией (верхняя часть импрегнации ПП 2-го типа) ограниченно пронизаны пост-омиссионными ходами, причем главным образом крупными (индекс биотурбации 2–3). Такой субстрат уже представлял определенное препятствие для мелкой инфауны (т. е. уже не был мягким дном), но еще допускал ее проникновение (т. е. еще не был твердым дном) и рассматривается как плотное дно.

В качестве твердого дна мы выделяем сильно фосфатизированные поверхности 1-го типа, которые полностью лишены пост-омиссионных следов рытья. Комплекс омиссионных ихноструктур (норы сестонофагов и единичные сверления *Trypanites*) сформировался на предшествующей стадии плотного дна до его импрегнации.

Биокластовые литофации характеризуются намного более низкими уровнями биотурбации, что может быть обусловлено частым переотложением осадка. Поэтому участки со слабой фосфатизацией (ПП типов 5–7) при отсутствии или редкости мелких следов рытья могут быть отнесены к мягкому дну лишь условно. Напротив, участки с умеренной фосфатизацией более обосновано могут быть отнесены к плотному дну, так как аналогично пронизываются крупными ихноструктурами.

Заключение. В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Фосфатизированные поверхности перерыва являются характерной особенностью

наиболее карбонатных и конденсированных интервалов разреза кундаского горизонта, где они ассоциируют с зернами глауконита и многочисленными остатками наутилоидей (так называемые эндоцератитовые известняки). Это сложные образования, являющиеся результатом сочетания трех типов седиментологических событий – эрозии, накопления/фосфатизации и седиментации.

2. Основные диагностические признаки ПП – эрозионный рельеф и минерализация с двумя ограничениями: рельеф незрелых разновидностей обычно разрушался биотурбацией, а полоса импрегнации могла быть эродирована.

3. Фосфатизированные ПП подразделены на восемь вещественно-морфологических типов, различающихся масштабом фосфатизации, интенсивностью пост-омиссионной биотурбации и характером рельефа.

4. На основе интенсивности пост-омиссионной биотурбации ПП могут быть разделены на типы Зейлахера [12] следующим образом. К твердому дну отнесены ПП без пост-омиссионных следов рытья, обладающие при этом наиболее интенсивной фосфатизацией (тип 1). К плотному дну отнесены ПП, расчлененные только относительно крупными следами рытья, обладающие импрегнацией средней интенсивности (тип 2). К мягкому дну отнесены ПП с полосой слабой импрегнации, переработанной в основном мелкими следами рытья (тип 4).

5. Типы ПП закономерно распределены на фаціальном профиле, что позволяет использовать их как полевые фаціальные индикаторы. В целом в сторону бассейна наблюдается ослабление фосфатизации и литификации ПП; комплексные поверхности сменяются одиночными.

1. Дронов А. В., Савицкий Ю. В., Цыганова Е. А. Карбонатный ордовик окрестностей С.-Петербурга: стратиграфия дикарей // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология, география. – 1993. – Вып. 3, № 21. – С. 23–30.

2. Зайцев А. В., Барабошкин Е. Ю. Стратиграфические перерывы в ниже-среднеордовикских отложениях северо-запада Русской плиты // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2006. – № 3. – С. 16–24.

3. Искюль Г. С. Следы штормовой седиментации в известняках кундаского горизонта (средний ордовик) Ленинградской области // Регион. геология и металлогения. – 2013. – № 56. – С. 12–20.

4. Орвику К. К. О литостратиграфии волховского и кундаского горизонтов в Эстонии // Труды Института геологии АН ЭССР. – 1960. – Т. 5. – С. 45–78.

5. Bromley R. G. Trace fossils at omission surfaces // The study of trace fossils. A synthesis of principles, problems, and procedures in ichnology / Ed. by R. W. Frey. – N. Y.: Springer-Verlag, 1975. – 562 p.

6. Dunham R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture // Classification of carbonate rocks: Symposium Amer. Assoc. of Petroleum

Geol. Memoir / Ed. by W. E. Ham. – 1962. – Vol. 1. – P. 108–121.

7. Ivantsov A. The trilobites of subfamily Asaphinae of Baltic-Ladoga clint // *Paleontological Journal*. – 2003. – Vol. 37, Suppl. 3. – P. 231–336.

8. Jaanusson V. Discontinuity surfaces in limestones // *Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala*. – 1961. – Vol. 35. – P. 221–241.

9. Jaanusson V. Aspects of carbonate sedimentation in the Ordovician of Baltoscandia // *Lethaia*. – 1973. – Vol. 6. – P. 11–34.

10. Lindström M. Diagenesis of Lower Ordovician hardgrounds in Sweden // *Geologica et Palaeontologica*. – 1979. – N 13. – P. 9–30.

11. Schmidt F. Revision der ostbaltischen silurischen Trilobiten nebst geognostischen Übersicht des ostbaltischen Silurgebiets. Abt. 1: Phacopiden, Cheiruriden und Encrinuriden // *Memoires de l'Academie Imperiale des Sciences de St. Petersburg*. VII Serie. – 1881. – T. 30. – 238 s.

12. Seilacher A. Towards an Evolutionary Stratigraphy // *Acta Geologica Hispanica: Concepts and methods in Paleontology*. – 1981. – Vol. 16. – P. 39–44.

13. Taylor A. M., Goldring R. Description and analysis of bioturbation and ichnofabric // *Journal of the Geological Society*. – 1993. – Vol. 150, N 1. – P. 141–148.

3. Iskyul G. S. The storm sedimentation features in bioclastic packstone-greinstone beds of Kunda Regional Stage (Middle Ordovician), St. Petersburg region. *Region. geologiya i metallogeniya*. 2013. No. 56, pp. 12–20. (In Russian).

4. Orviku K. K. Litostratigraphy of the Volkhov and Kunda Regional Stages in Estonia. *Proceedings of the Institute of Geology of the Estonian Academy of Sciences*. 1960. Vol. 5. Pp. 45–78. (In Russian).

5. Bromley, R. G. 1975: Trace fossils at omission surfaces. In Frey, R. W. (ed.): *The study of trace fossils. A synthesis of principles, problems, and procedures in ichnology*. Springer-Verlag. 562.

6. Dunham, R. J. 1962: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, W. E. (ed.): *Classification of carbonate rocks*. Amer. Assoc. of Petroleum Geologists Memoir. 1. 108–121.

7. Ivantsov, A. 2003: The trilobites of subfamily Asaphinae of Baltic-Ladoga clint. *Paleontological Journal*. 37. 3. 231–336.

8. Jaanusson, V. 1961: Discontinuity surfaces in limestones. *Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala*. 35. 221–241.

9. Jaanusson, V. 1973: Aspects of carbonate sedimentation in the Ordovician of Baltoscandia. *Lethaia*. 6. 11–34.

10. Lindström, M. 1979: Diagenesis of Lower Ordovician hardgrounds in Sweden. *Geologica et Palaeontologica*. 13. 9–30.

11. Schmidt, F. 1881: Revision der ostbaltischen silurischen Trilobiten nebst geognostischen Übersicht des ostbaltischen Silurgebiets. Abt. I: Phacopiden, Cheiruriden und Encrinuriden. *Memoires de l'Academie Imperiale des Sciences de St. Petersburg*. VII. 30. 238.

12. Seilacher, A. 1981: Towards an evolutionary stratigraphy. *Acta Geologica Hispanica: Concepts and methods in Paleontology*. 16. 39–44.

13. Taylor, A. M., Goldring, R. 1993: Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society*. 150. 1. 141–148.

1. Dronov A. V., Savitskiy Yu. V., Tsyganova E. A. The carbonate Ordovician of St. Petersburg: the savages stratigraphy. *Vestnik SPbGU. Ser. 7. Geologiya, geografiya*. 1993. Iss. 3. No. 21, pp. 23–30. (In Russian).

2. Zaytsev A. V., Baraboshkin E. Yu. Stratigraphic breaks in the Lower Middle Ordovician sediments of the north-west of the Russian Plate. *Vestnik MGU. Ser. 4. Geologiya*. 2006. No. 3, pp. 16–24. (In Russian).

Искюль Георгий Сергеевич – канд. геол.-минерал. наук, науч. сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия. <geo-iskyul@yandex.ru>

Iskyul Georgy Sergeevitch – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Researcher, A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia. <geo-iskyul@yandex.ru>