

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИХНОФОССИЛИЙ ДЛЯ ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОРОД СРЕДНЕГО ДЕВОНА И НИЖНЕГО КАРБОНА НА ЮГО-ВОСТОКЕ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

© 2018 г. В. Н. Староверов, А. В. Гребенникова
АО "Нижне-Волжский НИИ геологии и геофизики"

Аннотация: приведены новые ихнологические данные, полученные при изучении разрезов палеозоя на юго-востоке Волго-Уральской НПП. Обнаружено свыше 250 ихнофоссилий, среди которых определены представители 19 таксонов, неравномерно распределенных как в разрезах, так и по площади. Описан опыт применения ихнофациального анализа для решения седиментационных задач. Установлено, что изучение биотурбированных текстур способствует выявлению взаимосвязи биотурбаторов с перерывами в осадконакоплении, ритмичность их размещения в разрезах обусловлена изменениями гидродинамической активности водной массы, а также подчеркивает фациальную принадлежность горных пород и помогает выделять этапы быстрой и медленной седиментации.

Ключевые слова: литолого-фациальные исследования, ихнофоссилии, бентосные формы, нижний карбон, перерывы в осадконакоплении, биотурбации.

Староверов Вячеслав Николаевич e-mail: staroverovvn@gmail.com

THE GENETIC MEANING OF ICHNOFOSSILS FOR LITHOFACIES RESEARCH OF THE MIDDLE DEVONIAN AND LOWER CARBONIFEROUS SEDIMENTS IN THE SOUTHEAST OF THE VOLGA-URAL ANTECLISE

V.N. Staroverov

JSC "Lower-Volga Research Institute of Geology and Geophysics"

Abstract: New ichnological data obtained in the study of the Paleozoic sections in the southeast of the Volga-Ural oil-and-gas province are presented. More than 250 ichnofossils are discovered, unevenly distributed in sections and areas representatives of 19 taxons are identified. The experience of applying the ichnofacies analysis for sedimentation problems is described. The studying of bioturbated textures leads to identification of correlation between bioturbators and stratigraphic hiatuses. The rhythmicity of its distribution in the sections is caused by changes of hydrodynamic activity of water masses. This rhythmicity emphasizes the facial belonging of the rocks and assists in assignment of fast and slow sedimentation periods.

Key words: lithofacies research, ichnofossils, benthic forms, Lower Carboniferous, stratigraphic hiatuses, bioturbation.

Стратиграфия и литология

В последние десятилетия в фаціальном анализе и палеогеографических исследованиях, на фоне получения качественного кернового материала, постоянно возрастает значение изучения ихнофоссилий. Если раньше фиксировалось лишь наличие биотурбированных текстур как таковых, то в настоящее время ихнофаціальный анализ включает два основных направления. Первое – таксономическая диагностика биотурбаторов, которая позволяет оценить закономерности распределения ихнофоссилий по площади и в разрезе. Второе – установление особенностей обитания бентосных форм, выявление структуры биотопов с целью уточнения палеогеографических условий седиментации. Широко распространено мнение, что ихнофацции являются ценным материалом для определения палеобатиметрии древних бассейнов. В пределах изученной территории, которая в тектоническом отношении охватывает южные фрагменты Бузулукской впадины и Восточно-Оренбургского валообразного поднятия, а также юго-восточный склон Жигулёвско-Пугачёвского свода, применение ихнофаціального анализа не пользуется популярностью по ряду объективных причин. Нередко в керне наблюдаются следы жизнедеятельности очень плохой сохранности, что не позволяет однозначно определить их таксономическую принадлежность. Кроме того, довольно часто встречаются горизонты «перемешивания», которые переработаны биотурбаторами нескольких генераций до полной утраты первичных текстурных признаков, что также отрицательно сказывается на сохранности биотурбированных текстур. Однако особенности площадного и стратиграфического распространения биотурбаторов, специфика их жизнедеятельности и взаимосвязь с древними фациями должны сугубо индивидуально изучаться в каждом конкретном регионе.

В изученных разрезах палеозоя обнаружено свыше 250 ихнофоссилий относительно хорошей сохранности, среди которых определены представители 19 таксонов (фото 1). Они очень неравномерно распределены как в разрезах, так и по площади. Наиболее часто биотурбаторы встречаются в породах бобриковского и пашийского горизонтов (23 и 20% соответственно), реже фиксируются в отложениях живетского яруса (14% в ардатовском горизонте и 12,2% в воробьёвском), для остальных стратиграфических подразделений палеозоя характерны единичные находки (диаграмма 1). Примечательно, что качественное разнообразие ихнофоссилий коррелируется с их количеством. Если в породах воробьевского и ардатовского горизонта установлено по 9 видов, то в пашийском горизонте их число возрастает до 11 и достигает максимальных значений (13 видов) в отложениях бобриковского горизонта. В остальных подразделениях девона и карбона встречаются единичные представители ихнофоссилий.

Наиболее древние ихнофоссилии обнаружены в породах бийского горизонта, среди них определены представители *Taenidium*. Характерно, что таксономическое разнообразие биотурбаторов не зависит от их стратиграфической принадлежности, а в основном определяется спецификой среды обитания. Максимальное количество следов жизнедеятельности зафиксировано в породах литоральных фаций и авандельтового генезиса, минимальное количество – в осадках относительно глубоководного шельфа. Распределение ихнофоссилий по разрезу характеризуется следующими закономерностями.

В породах воробьёвского горизонта обнаружены довольно богатые ихнокомплексы. Наиболее распространены в разрезах *Asterosoma* (27,6%) и *Teichichnus* (22,2%), промежуточное положение занимают *Thalassinoides* и *Zoophycos* (по 11% каждый),

значительно реже встречаются Ophiomorpha, (диаграмма 2). Ассоциации в породах ар- Skolithos, Lingulichnus, Rosselia и Taenidium датовского горизонта, по сравнению с во-

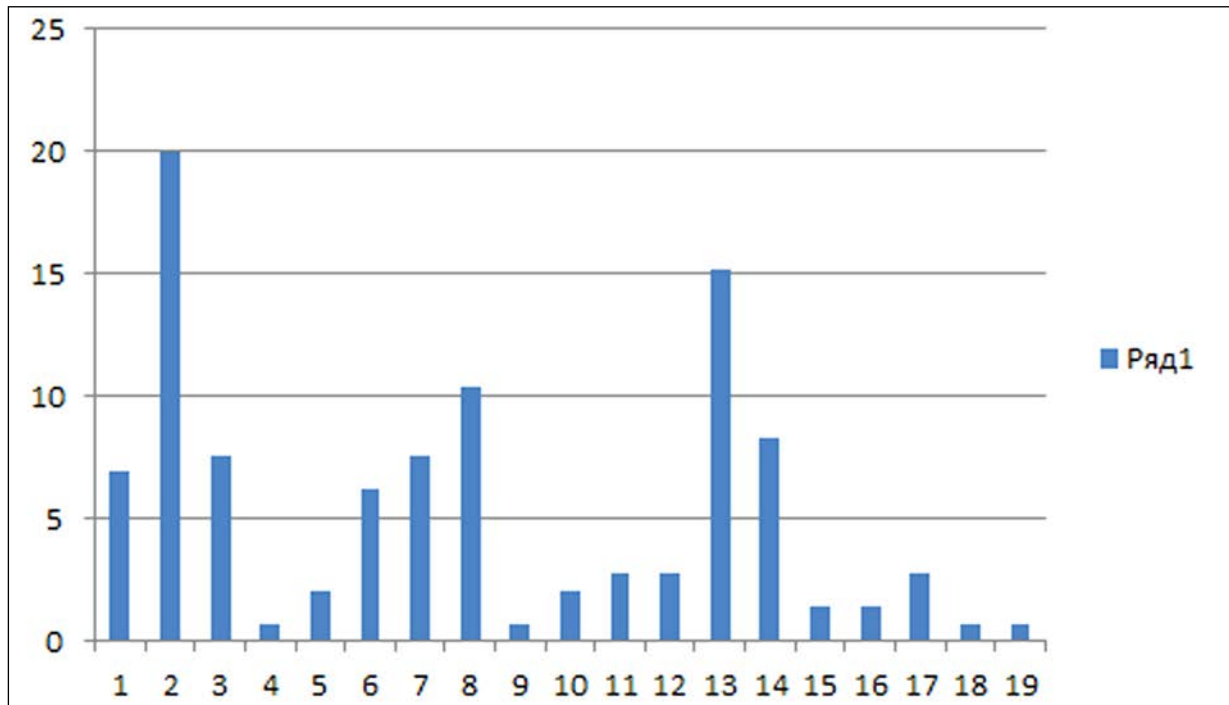


Диаграмма 1. Распределение ихнофоссилий в породах среднего девона и нижнего карбона

1 – Thalassinoides, 2 – Teichichnus, 3 – Planolites, 4 – Macaronichnus, 5 – Palaeophicus, 6 – Ophiomorpha, 7 – Skolithos, 8 – Asterosoma, 9 – Lingulichnus, 10 – Rosselia, 11 – Cylindrichnus, 12 – Chondrites, 13 – Zoophycos, 14 – Taenidium, 15 – Spirophyton, 16 – Phycosiphon, 17 – Diplocraterion, 18 – Rhizocorallium, 19 – Conichnus

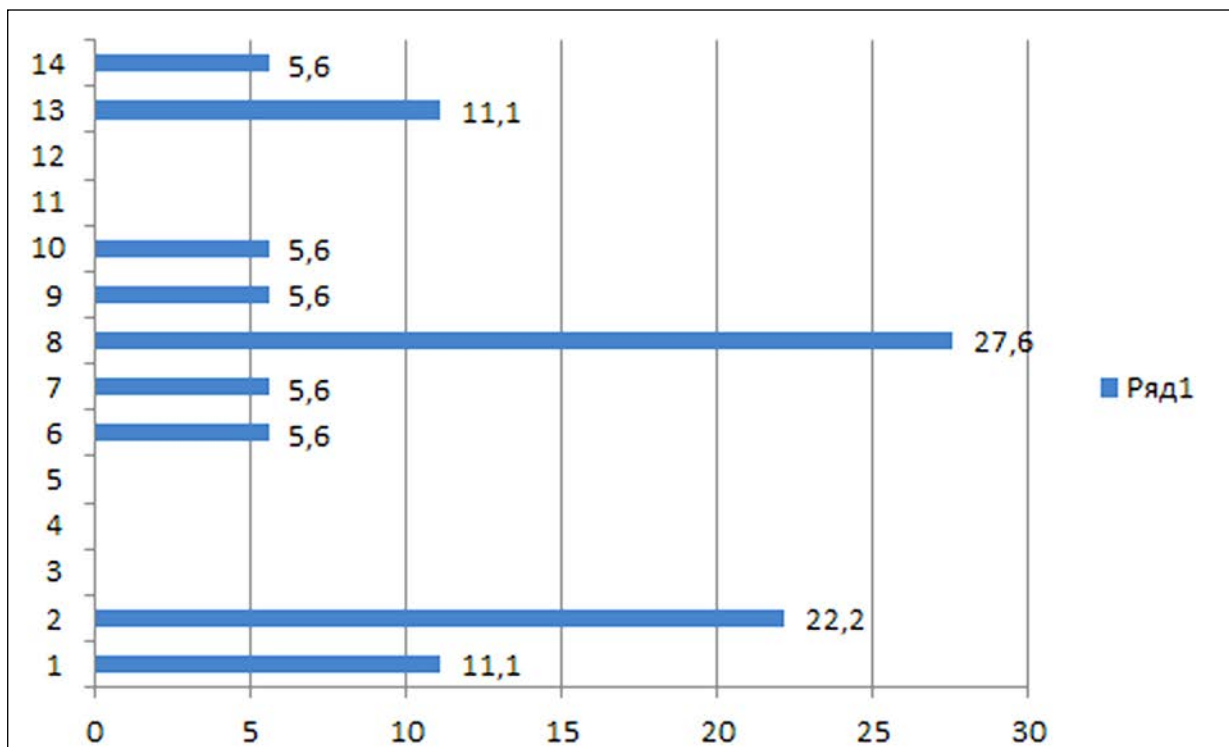
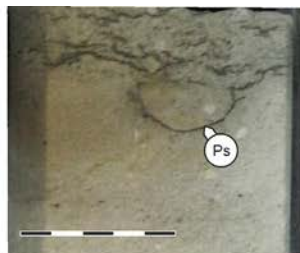


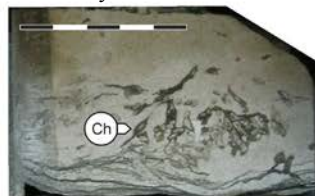
Диаграмма 2. Распределение ихнофоссилий в породах воробьёвского горизонта



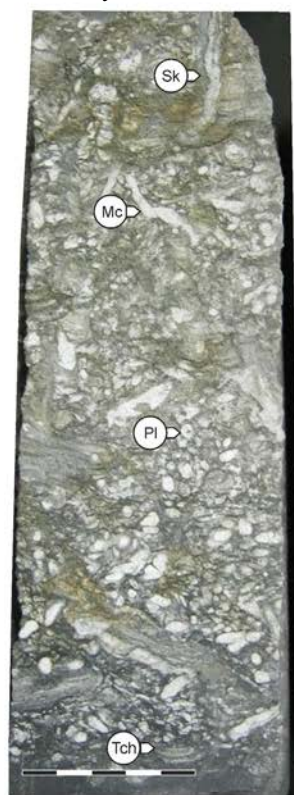
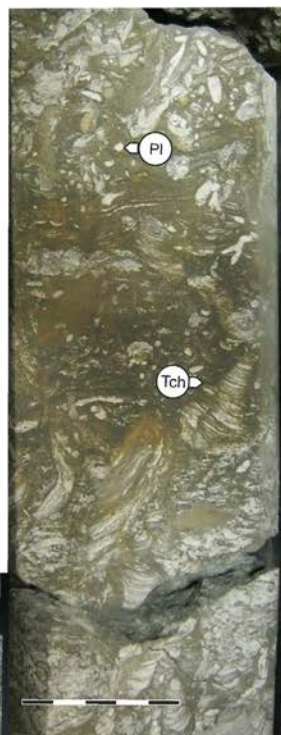
А. Скв.1 Вост.-Березовская, глубина 2410 м



Б. Скв.2 Зап.-Березовская, глубина 2372 м



В. Скв.2 Зап.-Березовская, глубина 2368,7 м



Г. Скв.1 Вост.-Березовская, глубина 2422,8 м



Д. Скв.2 Зап.-Березовская, интервал 2373,5-2374 м



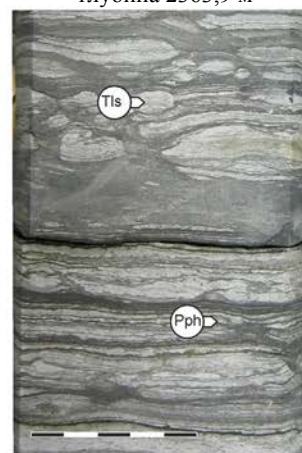
Е. Скв.2 Зап.-Березовская, глубина 2363,9 м



Ж. Скв.2 Зап.-Березовская, глубина 2368,5 м



З. Скв.2 Зап.-Березовская, глубина 2374,4 м



И. Скв.1 Вост.-Березовская, глубина 2421,6 м

Фото 1

Условные обозначения (фото 1)

(Tch) Teichichnus isp.	(Sk) Skolithos isp.	(Ps) Psilonichnus isp.	
(Oph) Ophiomorpha isp.	(Pl) Planolites isp.	(Mc) Macaronichnus isp.	(Gl) Glossifungites isp.
(Pph) Palaeophycus isp.	(Ch) Chondrites isp.	(Ph) Phycosiphon isp.	(Ts) Thalassinoides isp.

робьёвским интервалом, пополнены ранее отсутствующими ихнотаксонами: Phycosiphon, Spirophyton, Chondrites и Cylindrichnus. Примечательно, что доминирующее положение занял Zoophycos (33,3%), также широко были распространены Teichichnus и Asterosoma (по 14,3%). В породах пашийского горизонта вновь происходят изменения в структуре ихнокомплексов. Доминирующая роль переходит к Teichichnus (24,1%) и Thalassinoides (13,8%), весомый вклад принадлежит ихнородам Skolithos и Cylindrichnus (по 10,3%), значительно реже обнаруживаются Diplocraterion, Zoophycos, Rosselia, Asterosoma, Ophiomorpha и Planolites (диаграмма 3).

Среди подразделений нижнего карбона наиболее богатые ихнокомплексы характерны для пород бобриковского горизонта. Из них наиболее распространены Те-

ichichnus (24,1%) и Planolites (14,5%), довольно широко представлены Skolithos и Ophiomorpha (по 11,2%), в меньших количествах фигурируют Chondrites, Zoophycos, Palaeophycus и Thalassinoides (диаграмма 4).

Приведенные статистические данные показывают, что тафономический состав ихнокомплексов оставался довольно стабильным от среднего девона до раннего карбона и не зависит от стратиграфического фактора. Изменения, происходящие в количественных соотношениях ихнофоссилий, имеют отчетливую ярусность и контролируются, преимущественно, эволюционными изменениями в седиментогенезе конечных водоемов стока. Поэтому более похожей структурой ихнокомплексов характеризуются базальные горизонты трансгрессивных циклов (воробьёвский, пашийский и бобриковский), а в периоды достижения мак-

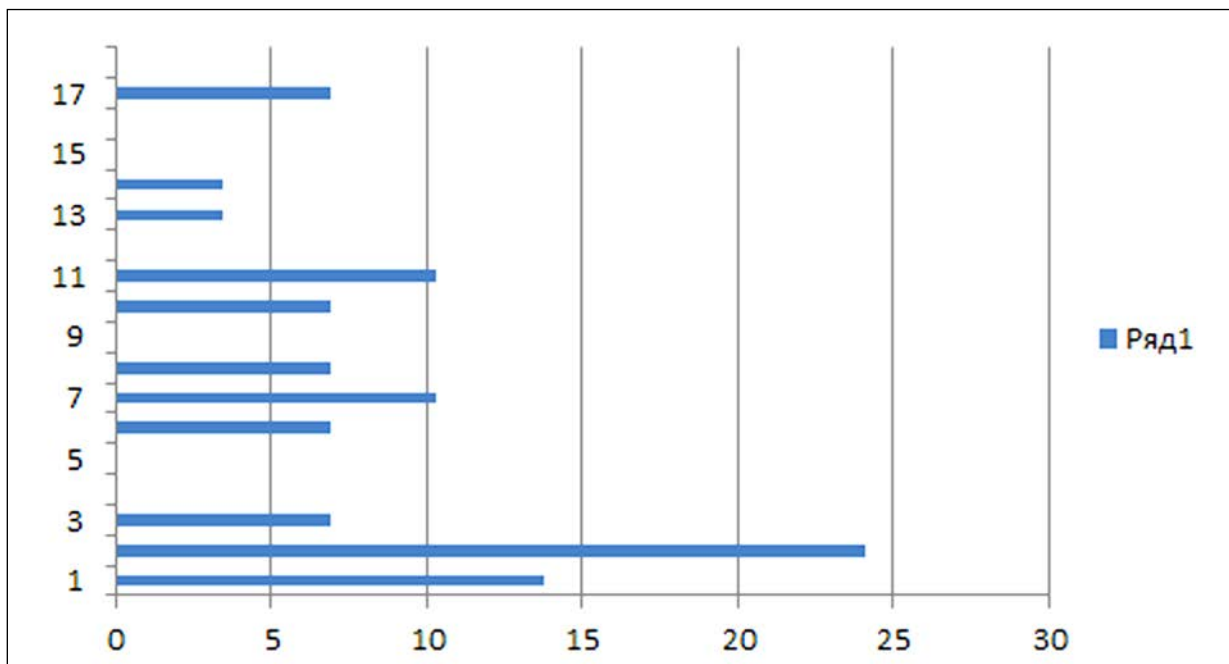


Диаграмма 3. Распределение ихнофоссилий в породах пашийского горизонта

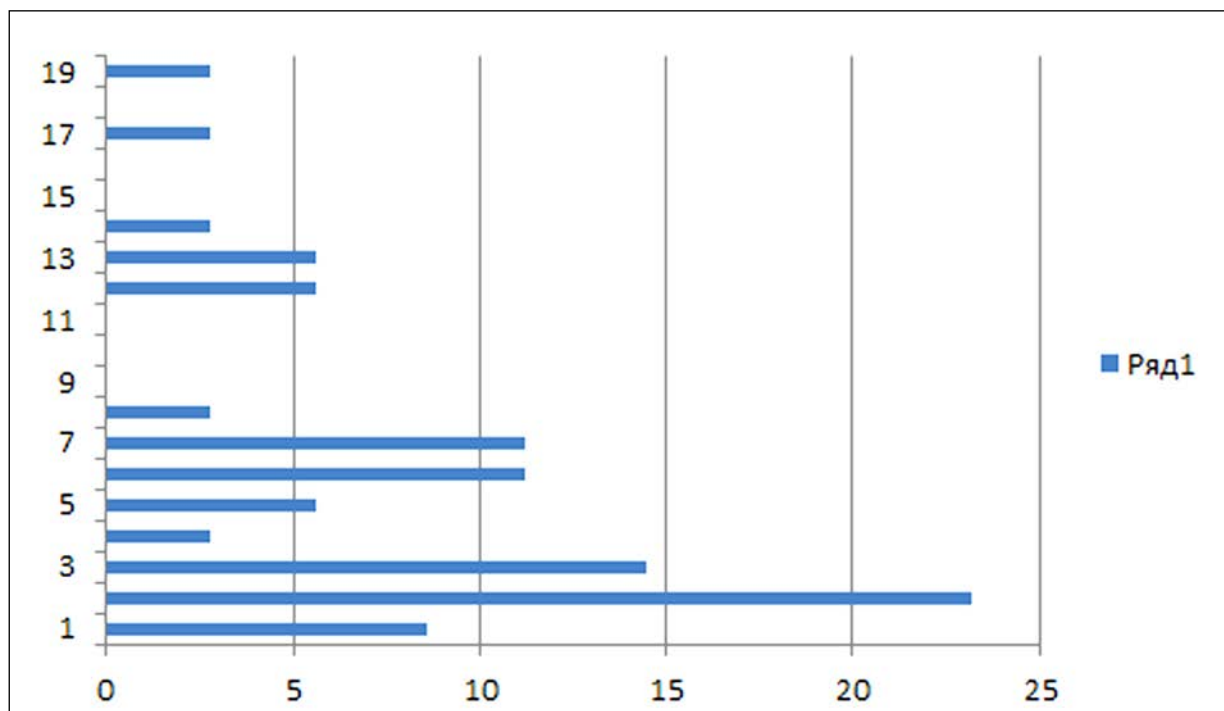


Диаграмма 4. Распределение икнофоссилий в породах бобриковского горизонта

симального уровня стояния морского бассейна (ардатовский век) их состав заметно менялся.

I. Степень биотурбированности пород.

В работе Микулаша и Дронова [2] предложен вариант количественной оценки рассматриваемого показателя в зависимости от площади распространения биотурбаторов.

Установлено, что в изученных породах палеозоя степень биотурбированности мо-

жет изменяться в широких пределах, как по разрезу, так и по латерали того или иного слоя. При этом максимальной переработкой отличаются горизонты («слои перемешивания»), подвергавшиеся многократному перемешиванию почти до однородной массы. Примеры подобных слоев наиболее типичны для бобриковских разрезов, сформированных в условиях межбороздинных пространств в пределах авандельта (фото 2). В литологическом отношении такие про-

Таблица

Определение степени биотурбированности горных пород

Коэффициент биотурбированности (BI)	Процентное содержание биотурбированных участков (%)	Группа пород в зависимости от степени биотурбированности
1	1–5	очень слабо
2	5–30	слабо
3	30–60	средне
4	60–90	сильно
5	90–99	интенсивно, но различимы некоторые физические объекты
6	100	полностью

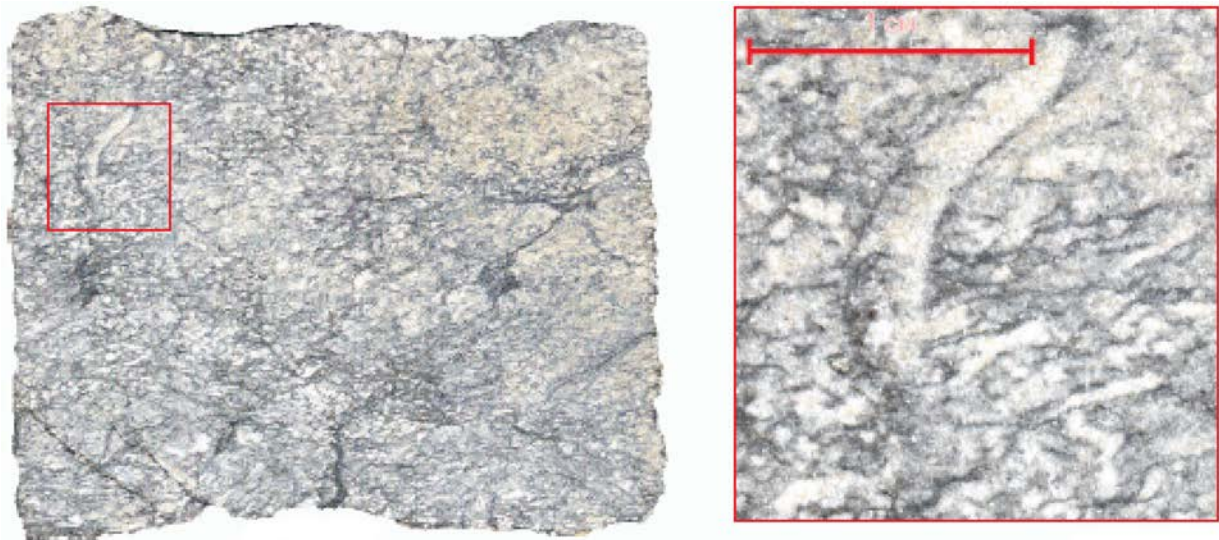


Фото 2

слои представлены глинисто-алевролитовыми породами, а главными биотурбаторами являются Planolites при участии Teichichnus и Skolithos. Минимальным воздействиям биотурбаций подвержены песчаные породы, не содержащие алевро-глинистой примеси (фото 3), а также карбонаты, особенно сформированные на относительно глубоководном шельфе. В результате массового развития следов илороящих организмов ($BI = 4-5$) порода обычно приобретает пятнистую текстуру, обусловленную неравномерностью окраски переработанных и неизмененных пород (фото 4). Чаще всего это следствие переработки осадков несколькими генерациями донных организмов. Также существенно различаются мощности интерва-



Фото 3

лов, переработанных ихнофоссилиями. В основном горизонты биотурбации характеризуются толщинами от нескольких сантиметров до 1 метра, однако в породах ардатовского и бобриковского (возможно и пашийского) горизонтов биотурбации могут насыщать интервалы мощностью до 30 м.

Степень биотурбированности нередко контролируется интенсивностью гидродинамической активности водной массы. Осадки, накопившиеся в условиях высокой гидродинамической энергии (песчаники авандельтовых бороздин или фронтальной части прибрежных обстановок), обычно переработаны ихнофоссилиями менее интенсивно по сравнению с продуктами низкой энергии. Нередко наблюдается сочетание единичных ихнофоссилий с примесью средних фракций песчаного размера, знаками ряби и косоволнистыми текстурами. На участках дна с низкой энергией (забаровые лагуны, межбороздинные авандельтовые пространства) плотность заселения бентосными организмами значительно выше. Степень биотурбированности также часто влияет на сохранность ихнофоссилий. В интенсивно переработанных породах значительно реже сохраняются уверенно диагностируемые



Фото 4

ходы илороющих организмов. Если же породы принадлежат к группам слабо или очень слабо переработанных, то

следы жизнедеятельности бентоса более четкие.

Высокая степень биотурбированности также достигается при условии относительно невысоких скоростей седиментации, но при длительной переработке осадков несколькими группами донных организмов, сменяющих друг друга во времени. Так, в породах пашийского горизонта может наблюдаться до трех генераций активности бентосных форм. Биотурбациям подвергались неравномерно песчаные серые алевролиты, линзовидно-слоистые с текстурами внедрения и неравномерного уплотнения. Сначала были прорыты короткие толстые норки (*Thalassinoides*), преимущественно бесструктурные с нечетко выраженным возвратным заполнением светло-коричневым алевролитом. В дальнейшем сформирован толстый субвертикальный ход с боковым ответвлением, заполненный темно-коричневым мелкозернистым песчаником. В завершающую фазу биотурбации осадки были проработаны вертикальными и субвертикальными норками с возвратным заполнением, которые, вероятно, принадлежат роду *Teichichnus* (фото 5). Кроме того, биотурбации двух и более генераций могут формироваться на фоне принципиальных изменений в структуре кормовой базы. Такие примеры могут наблюдаться в воробьевских отложениях, относящихся к фации бороздинных руковов в авандельтах. Среди биотурбаций первой генерации преобладают норки в виде лопастных и дугообразных, субгоризонтальных или слабо наклонных ходов *Zoophycos*. В песчаном субстрате в начальный этап седиментации содержалось достаточное количество глинистого материала, используемого для питания этими организмами. По мере исчерпания пищевого ресурса произошло расселение других представителей икнофауны, в дальнейшем осадок оказался нарушен изолированными субвертикальными

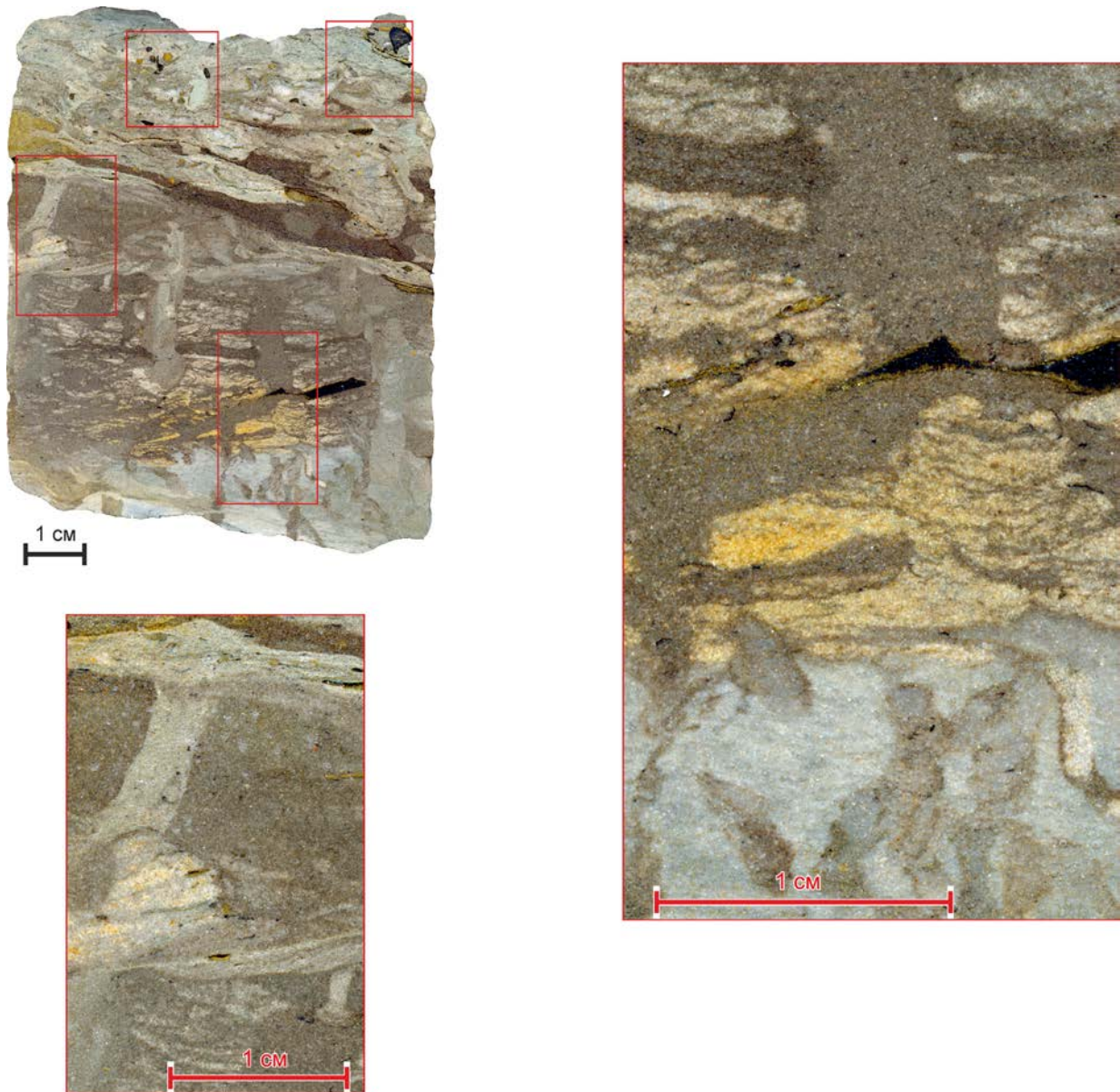


Фото 5

ми норками – жилищами (но не питания) Skolithos.

Следующая причина образования горизонтов с очень высокой степенью биотурбированности связана с возможностью длительного сохранения стабильных условий седиментации. Сочетание относительно невысоких темпов седиментации, обогащенности донных илов глинистым материалом и углефицированными растительными остатками со слабой гидродинамической активностью водной массы мог-

ло способствовать массовой колонизации участков дна разнообразными представителями ихнофауны. В таких случаях в ископаемое состояние переходили политаксонные сообщества биотурбаторов (фото 6), которые практически одновременно перерабатывали исходный осадок на 60–70%. Основной литотип, к которому приурочены подобные примеры, представлен алевролитами темно-серыми, углисто-глинистыми с многочисленными структурированными ходами Taenidium и Teichichnus,



Фото 6

а также бесструктурными, недиагностируемыми норами.

Безусловный интерес представляют примеры изменчивой степени биотурбации в пределах одного слоя. В изученных разрезах отмечены два типа изменчивости: постепенное увеличение интенсивности в пределах одного слоя и ритмичное чередование прослоев с различной степенью переработки. Первый вариант наиболее распространен в бобриковских алевролитах, в различной степени углисто-глинистых. Для них характерно синхронное возраста-

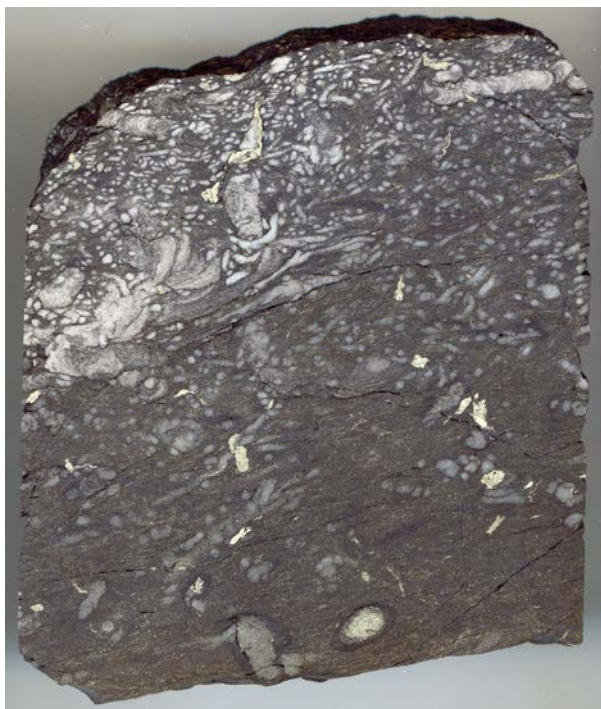


Фото 7

ние пелитовой примеси и интенсивности биотурбации от подошвы слоя к его кровле. В нижней части более чистые алевролиты отличаются наличием реликтов мелкой ко-сой слоистости и редкими биотурбациями *Asterosoma*. Вверх по разрезу постепенно добавляются мелкие ходы *Planolites* и более крупные следы *Zoophycos* и *Taenidium*, а степень биотурбированности возрастает от В1 до В4 (фото 7). Этот пример иллюстрирует непрерывный процесс осадконакопления, протекающий на фоне постепенного снижения гидродинамической активности и обогащения илов глинистыми компонентами. Второй вариант обусловлен цикличностью литолого-генетических процессов, особенно характерных для бобриковских разрезов. Несколько десятков седиментационных колонок, построенных для скважин, вскрывших породы рассматриваемого горизонта, позволили установить циклические вариации двух видов.

Мезомасштабные вариации, которые имеют длительность от нескольких до первых сотен тысяч лет, обычно присущи породам авандельтовых равнин и связаны, главным образом, с такими циклическими процессами, как колебание уровня моря или прерывистое погружение (поднятие) дна морского бассейна. Элементарные циклиты мощностью от 2 до 5 см состоят обычно из двух литотипов (алевролиты и алевро-глинистые породы), многократно чередующихся в разрезах и отличающихся степенью биотурбированности. Максимальные значения В1 (4–5) наблюдаются в алевро-глинистых породах и сопряжены с незначительным поступлением терригенных компонентов, а минимальные величины (В1 = 1) характерны для песчано-алевролитовых слоев. В пределах последних чаще отмечаются лишь единичные корневые биотурбции. Формирование циклитов прерывалось такими дисциклическими событиями, как времен-

ное осушение течения и подводное оползание.

Микромасштабные вариации, представляющие собой многократное чередование тонких слоев (обычно мощностью не более нескольких мм) алевритового и углисто-глинистого состава, связаны главным образом с флуктуациями аллохтонного поступления органического материала. Циклические процессы такого порядка (годовые «варвы») носят сезонный характер и не оказывают существенного влияния на количество илороющих организмов. В осадках, сформированных в пределах межбороздинных пространств, и в фациях отмирающих дельт всегда сохраняется тонкая горизонтальная слоистость ленточного типа (фото 8).

II. Ихнофоссилии и перерывы в осадконакоплении. Практически общепризнано, что контрастные перерывы в стратиграфической последовательности разрезов являются признаком существенных изменений в обстановках седиментации. Также хорошо известно, что резкие геологические несогласия разделяют фрагменты разрезов с близкой, а порой и одинаковой фациальной принадлежностью. В изученных нами породах наличие ихнофоссилий фиксировалось непосредственно под поверхностями несогласий в перекрывающих отложениях, а также в отложениях непрерывного осадконакопления. Такой подход, основанный на тщательном анализе вертикальных ихнологических последовательностей, способствовал их корреляции с аналогичной последовательностью фациальных рядов. В генетическом отношении устанавливались предэрозионные, эрозионные и постэрозионные комплексы ихнофоссилий. Наряду с внутри- и межслоевыми диастемами, разделяющими биотурбированные горизонты, в них обычно фиксируются различные биогенные и текстурные признаки, которые также указывают на осадконако-

пление в условиях переменной гидродинамики. Это могут быть ризокреции из углестого вещества, различные варианты косой слоистости, текстуры внедрения и подводного оползания, а также поверхности «твердого» дна. Такие поверхности возникали в периоды наиболее продолжительных подводных перерывов, в течение которых или карбонатного, реже песчаного, состава уплотнялись и частично литифицировались. Впоследствии подобные участки дна

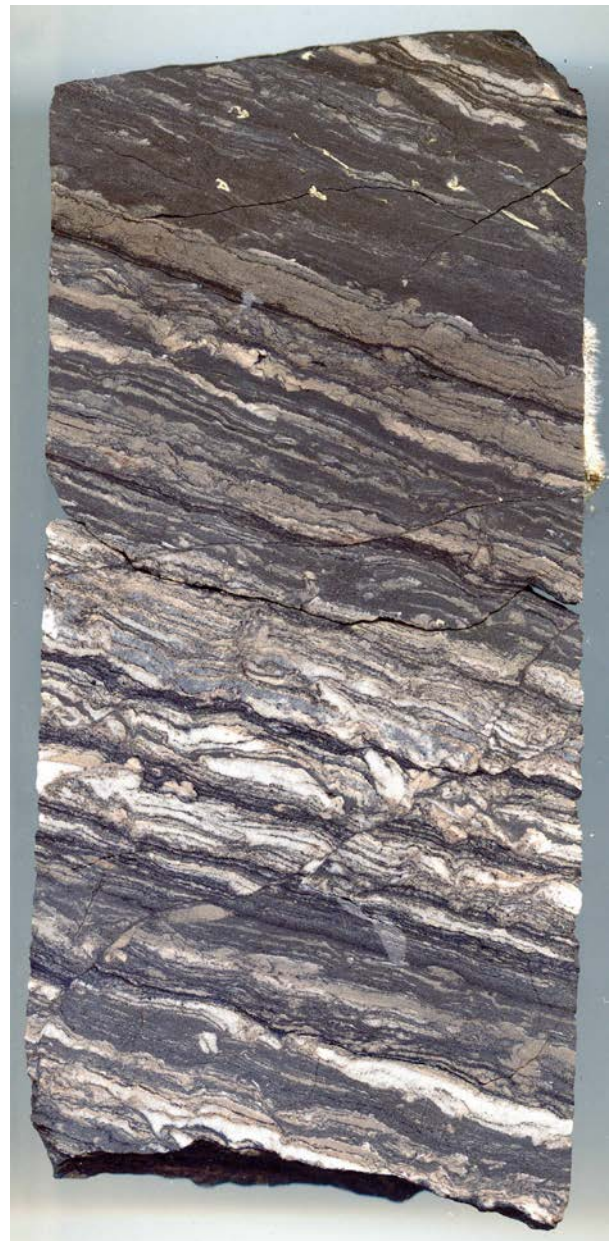


Фото 8

Стратиграфия и литология

заселялись бентосными организмами, норки которых почти всегда характеризуются хорошей сохранностью и всегда заполнены осадками, перекрывающими поверхности «твердого» дна (эрозионный комплекс). Эти поверхности чаще формировались в пелитоморфных известняках со структурой мадстоун-вакстоун, в различной степени доломитизированных или окремнелых, которые перекрыты более глинистыми и менее прочными разностями или известковистыми аргиллитами. Линии контактов между ними неровные, карманообразные, осложненные следами жизнедеятельности донных организмов. Норки сверлильщиков представляют собой вертикальные или слабо извилистые шахты с очень четкими границами, осложненные боковыми ответвлениями и горизонтальными более короткими галереями, глубина проникновения колеблется от 5 до 10 см (фото 9). Среди ихнофоссилий преобладают *Thalassinoides*, реже встречаются представители *Taenidium*. Такие норы заполнялись осадками уже после возобновления седиментации. Поэтому во всех случаях следы обитания пассивно заполнены более глинистыми и темными породами перекрывающих литотипов, в которых следы ихнофоссилий не наблюдаются. Вероятно, что возобновление седиментации после перерыва происходило на фоне уменьшения аэрации донных илов, и геохимическая обстановка была неблагоприятна для расселения ихнофауны.

В некоторых случаях наблюдаются более сложные варианты влияния седиментационных событий или явлений на особенности распределения следов биотурбации. Так, в карбонатных породах франского яруса в отдельных случаях фиксируется парагенетическая ассоциация поверхности «твердого дна» с горизонтами конденсации. Непосредственно над линией перерыва среди известняков флаутстоунов наблюдаются интракласты мадстоуна, интенсивная био-

турбация отмечена только во фрагментах, расположенных ниже поверхности «твердого дна». Такое строение анализируемая порода приобрела в результате следующих седиментационных событий. Вслед за нако-



Фото 9

плением карбонатных илов нижнего интервала произошла пауза в осадконакоплении и литификация поверхностных участков в осадке. Относительно плотная поверхность морского дна была удобна для тех бентосных форм, которые могли проникать через тонкий литологический панцирь в подстилающий осадок. Затем седиментация возобновилась и сформировались известняки верхнего интервала. Новый перерыв в осадконакоплении способствовал выносу вещества без размыва и конденсации накопившихся образований. Довольно редкой разновидностью «твердого дна» являются поверхности с ярко выраженными останцовыми формами. Они образуются тогда, когда литификации карбонатных илов предшествовал их существенный размыв, и только после этого образовывался полутвердый «панцирь». Бiotурбированные интервалы (Chondrites) располагаются ниже поверхности «твердого дна» (фото 10) и, видимо, генетически не связаны с перерывом в осадконакоплении (предэрозионный комплекс). Выше залегает пласт глинистого вакстоуна с прослоями известковистых аргиллитов и двумя внутрислоевыми диастемами. К каждой из них приурочены единичные мелкие норки в виде вертикальных, слабо ветвящихся ходов с пассивным типом заполнения. Очевидно, расселение донных организмов происходило только во время пауз в седиментации (эрозионный комплекс).

Наиболее тесная связь прослоев с многочисленными ихнофоссилиями прослеживается при наличии поверхностей «soft-ground», формировавшихся в зонах развития песчано-алевритовых осадков. Для контрастного проявления подобных поверхностных текстур было необходимо сочетание двух основных седиментационных условий. Во-первых, обязательным является прерывание процессов поступления обломочных компонентов из ближайших

источников сноса либо ослабление гидродинамической активности, что прекращало осаждение частиц алевро-песчаной размерности. В качестве факторов, прерывавших или ограничивающих осадочный процесс, можно отметить завершение штормовых процессов (фото 11) или донных



Фото 10



Фото 11

течений (фото 12), а также возникновение субаэральных условий. Во-вторых, для частичной цементации осадков была необходима интенсивная циркуляция иловых растворов. В результате полуконсолидированный субстрат совместно с высокой степенью прозрачности воды были весьма



Фото 12

благоприятными условиями для жизнедеятельности роющих организмов, чаще всего таких как *Asterosoma*, *Skolithos*, *Teichichnus* и *Thalassinoides*, то есть представителей сколитовой ихнофации.

В других случаях ритмичное строение терригенных разрезов и степень интенсивности биотурбации могут быть обусловлены периодическими изменениями в поступлении обломочных компонентов или чередованиями периодов быстрого и медленного осадконакопления, разделенных кратковременными перерывами.

В зависимости от особенностей седиментационного процесса могут складываться (возникать) различные варианты соотношений между глубиной эрозии, скоростью биотурбации и мощностью элементарных осадочных единиц (скоростью осадконакопления). В результате чередования периодов быстрого и медленного осадконакопления, разделенных кратковременными перерывами, образуются ритмически построенные разрезы с фрагментами, отличающимися интенсивностью биотурбации. В разрезе бобриковского горизонта нижний ритм (фото 12 а) характеризуется относительно замедленными темпами седиментации, которые постепенно нарастали и завершились перерывом в конце интервала. Интенсивность переработки биотурбациями относительно невелика, на это указывает частичное сохранение исходной горизонтальной слоистости. В течение накопления второго ритма произошло резкое замедление скорости осадконакопления. Синхронно с накоплением алевропелитовых осадков произошла интенсивная оккупация морского дна бентосными организмами, проявившаяся в его тотальной переработке ($BI = 5$). Процесс был остановлен новым перерывом в осадконакоплении. Формирование верхнего ритма в начальный период осуществлялось на фоне очень высокой скорости седиментации. Такие условия с быстрым засыпанием песчаного материалом морского дна были неприемлемы для роющих организмов. Строение данного ритма осложнено лишь единичными вертикальными шахтами, разработанными ихнофоссилия-

ми. К концу формирования верхнего ритма гидродинамическая активность постепенно затухала, что способствовало накоплению алевро-глинистых осадков и постепенной колонизации роющих и илоядных форм.

Из изложенного следует, что ярусность расположения ихноценозов может быть обусловлена различными типами перерывов в осадконакоплении.

III. Особенности литотурбации. Формирование биотурбированных горизонтов редко происходит в результате одного короткого акта седиментации и значительно чаще представляет собой циклический процесс, состоящий из чередующихся эпизодов

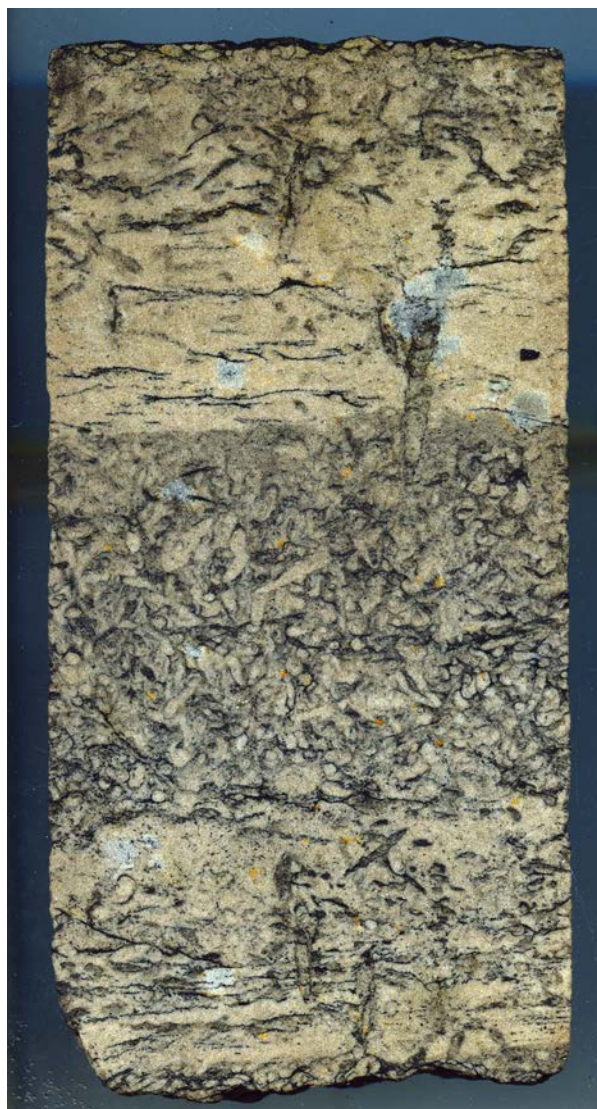


Фото 12 а

осадконакопления, перерывов, литификации и частичной цементации, биотурбации и следующего накопления осадка. Такое циклическое формирование может быть одноразовым или повторяться несколько раз в течение относительно короткого периода. В зависимости от особенностей седиментационного процесса могут складываться различные варианты соотношений между глубиной эрозии, скоростью биотурбации и мощностью элементарных осадочных единиц, являющихся функцией скорости осадконакопления. Довольно часто скорость накопления осадочного материала вполне сопоставима с закономерно развивающейся сукцессией бентосных организмов. Тогда характер вертикальной ярусности, особенно в интервалах непрерывного осадконакопления, может способствовать реконструкции различных седиментационных событий. В качестве примера приведем алевролиты ардатовского горизонта, в которых наблюдается следующее распределение ихнофоссилий в вертикальном сечении (фото 13). В кровельной части алевролит коричневатого-бурого цвета содержит единственный четкий конусообразный ход (*Rosselia*?). В средней части интервала алевролиты становятся менее глинистыми, в них наблюдаются горизонтальные туннели, оставленные *Taeinidium*. И наконец, вблизи подошвы голубовато-серые алевролиты содержат норы *Zoophicos*.

IV. Смена гидродинамической активности. Характерно, что ритмичность в распространении ихнофоссилий может быть обусловлена и другими седиментационными причинами, в частности зависит от периодических изменений в гидродинамической активности водной массы. Так, в алевролитах ардатовского горизонта зафиксированы доказательства резких изменений водной энергии, проявившиеся как в структурно-текстурных признаках пород, так и в особенностях вертикального рас-

пространения ихнофоссилий. В нижнем слое, сложенном однородными, хорошо отсортированными разностями, которые сформировались на мелководном шельфе ниже базиса действия штормовых волн, наблюдаются лишь единичные, великолепно сохранившиеся биотурбации *Zoophycos* со сложной веерообразной формой. Выше алевролиты ритмично-слоистые за счет чередования слоев с нечеткой градационной слоистостью, которые разделены 5–10 см интервалами, обогащенными волосовидными углистыми слойками. Формирование рассматриваемых отложений происходило во время слабых штормовых явлений, а в периоды, разделявшие их, накапливались фоновые углистые илы. Условия с очень низкой гидродинамической активностью характеризовались массовой оккупацией дна формами *Zoophycos* и *Planolites*, что подтверждается многочисленными вертикальными ходами конусообразной и столбообразной формы (фото 14). Аналогичные черты строения зафиксированы в терригенных темпеститах верхнего франа (колганская толща?). В отдельные периоды седиментации изменения в скорости осадконакопления могли приводить к изменению в составе некоторых ихнокомплексов. Примером могут служить алевролиты ардатовского горизонта, которые формировались в условиях средней степени подвижности водной массы, весьма благоприятных для жизнедеятельности многочисленных бентосных форм (*Diplocraterion*, *Skolithos*, *Cylindrichnus*). Относительная интенсивность гидродинамической активности доказывается структурами бегства *fugichnia*, которые зафиксированы в алевролитах. На фоне уменьшения подвижности водной среды происходили изменения в особенностях осадконакопления. Осадок постепенно обогащался материалом пелитовой размерности, и основным ихнородом обитавшим в нем стали представители *Teichichnus* (фото 15).

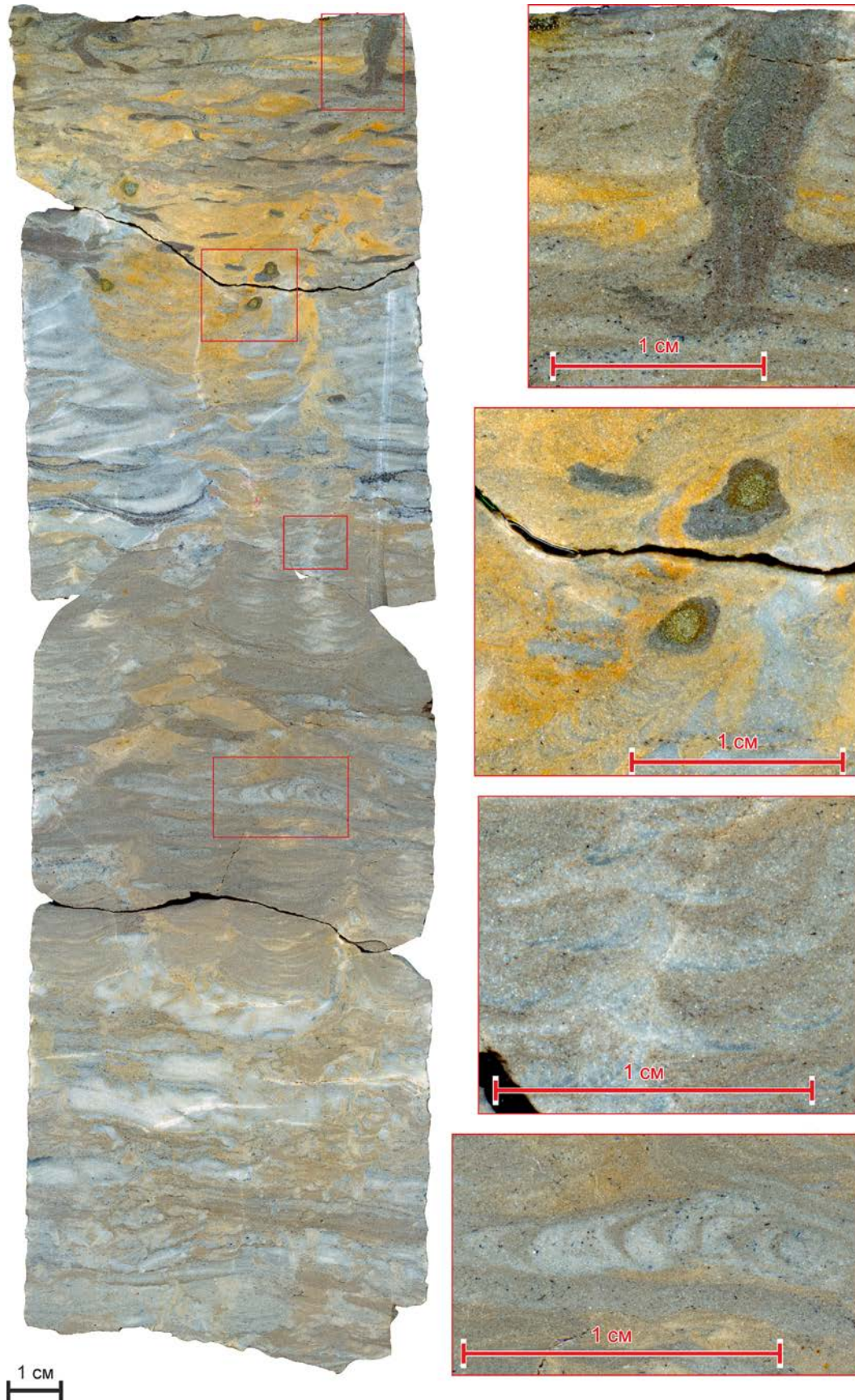


Фото 13



Фото 14



Фото 15

В некоторых случаях изменения в гидродинамике были сопряжены с подводно-оползновыми процессами. В разрезе

ардатовского горизонта выделяются алевроитовые прослои с интенсивными подводно-оползновыми текстурами и без каких-либо следов биотурбаций. Они перекрываются коричневато-серыми алевролитами с ихнофоссилиями двух генераций: сначала осадки оказались переработаны представителями *Zoophycos* и *Teichichnus*, а в дальнейшем подверглись биотурбации многочисленными *Skolithos* (вертикальные короткие норки на фото 16).

Степень гидродинамической активности в ряде случаев влияет на скорость осадконакопления. Изменения скорости, в свою очередь, влияют на закономерности распространения по вертикали ассоциаций ихнофоссилий. Подобные примеры зафиксированы в породах бобриковского горизонта Пойменной площади (фото 17). В песчаниках с различной примесью черного углисто-глинистого материала сформировалась вертикальная ярусность в распределении ихнотекстур, в значительной степени зависящая от соотношения скоростей седиментации и биотурбации. Нижняя часть образца сложена песчаником серым с примесью черного углисто-глинистого материала с пятнистой текстурой, обусловленной интенсивной биотурбированностью ($BI = 5$). Ходы недиагностируемые с округлыми, овальными, реже – более сложной формы, поперечными сечениями. Вероятно, скорость биотурбации превосходила скорость накопления осадка, поэтому весь терригенный ил оказался переработанным донными организмами.

В средней части песчаников количество углисто-глинистой примеси сокращается, наряду с многочисленными поперечными срезами фиксируются вертикальные и слабо наклонные ходы с бесструктурным заполнением. Предполагается, что скорость биотурбации несколько снижалась на фоне возрастающих темпов седиментации (BI до 4). В верхней части рассматриваемого



Фото 16

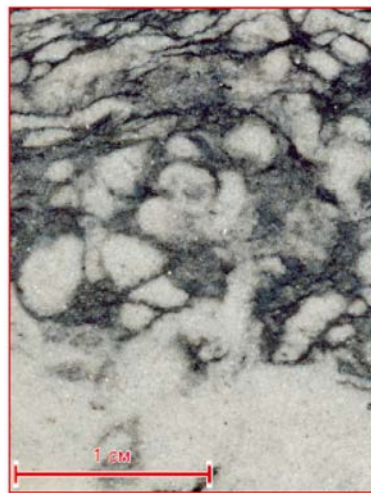


Фото 17

образца песчаники становятся более чистыми за счет лучшей сортировки, сохраняются редкие прослойки углисто-глинистого состава. Фиксируются единичные ихнофоссилии в виде наклонных ходов плохой сохранности с возвратным заполнением ($BI = 1$), а также корневыми биотурбациями. Скорость осадконакопления была значительно выше темпов переработки осадков.

IV. Смена фаций. Приведенные примеры зависимости распространения ихнофоссилий от некоторых параметров осадконакопления с определенной степенью условности рассматривались в каждом конкретном случае для относительно стабильных фациальных обстановок. Между тем очень часто скорость седиментации в частности и гидродинамическая активность водной среды в целом напрямую зависят от обстановок осадконакопления. Наряду с этим установлен ряд фактов, при которых качественные или количественные изменения в составе ихнородов были обусловлены относительно резкими изменениями условий осадконакопления. Наиболее часто смена ихнотаксонов сопровождается переходом от прибрежных фаций к ближнему шельфу (или наоборот), а также наблюдается при фациальных замещениях в пределах авандельт. В разрезе ардатовского горизонта Кичкасской площади (фото 18) нижний фрагмент образца представлен алевролитом крупнозернистым, неравномерно-глинистым, слабо известковистым и интенсивно биотурбированным (*Skolithos*, *Thalassinoides* и другие не диагностируемые) с реликтовой линзовидно-петельчатой текстурой ($BI = 4$). Средняя часть, отделенная диастемой, сложена алевролитом голубовато-серым ($BI = 3$). Вблизи кровли тот же самый алевролит биотурбирован единичными вертикальными ходами *Skolithos* ($BI = 2$). В генетическом плане рассматриваемые отношения образуют трансгрес-

сивный ряд и характеризуют смену фаций от прибрежных к мелководно-морским.

Насыщенность ихнофоссилиями особенно контрастно отличается в тех случаях, когда вертикальный фациальный ряд, согласно закону Вальтера-Головкинского, не соответствует латеральной последовательности фаций. Примеры подобных явлений обнаружены в пашийских отложениях Кичкасской площади (фото 19). Образец сложен алевролитом неравномерно песчаным с включениями среднезернистых фракций и без следов биотурбаций. В кровле алевролитов наблюдается межслоевая диастема, которая перекрывается алевролитом серым и темно-серым, обогащенным углисто-глинистыми включениями, интенсивно переработанным представителями *Planolites*, *Theichichnus* и другими неопределимыми формами. Среда осадконакопления на данном участке в пашийское время характеризовалась широким распространением подводно-оползневых дислокаций. Поэтому рассматриваемые породы в генетическом отношении принадлежат аллохтону, о чем свидетельствуют текстуры внедрения и подводного оползания, оказавшегося в результате перемещения в иных, более глубоководных обстановках осадконакопления.

В отложениях бобриковского горизонта наиболее часто компонентный состав ихнофоссилий изменяется в зависимости от фациальной принадлежности вмещающих пород в обстановках авандельт. Алевропесчаные разновидности, которые формировались в условиях подводных бороздин, обычно характеризуются низкой степенью биотурбированности. В них встречаются единичные ходы *Ophiomorpha* и (или) *Teichichnus*, в некоторых случаях наблюдаются ризоиды и ризокреции. Для алевроглинистых пород, сформировавшихся в пределах межбороздинных равнин или во фронтальной части авандельт, характерно наличие углистых прослоев и обогащение

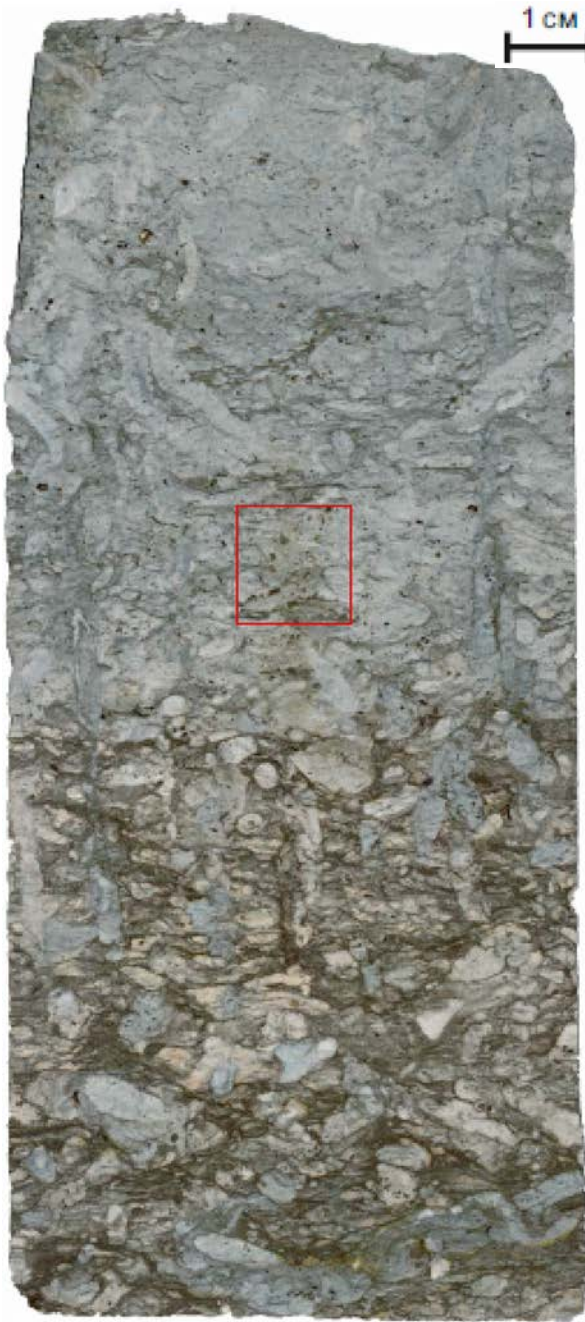


Фото 18

глинистым материалом. В таких породах почти всегда отмечается очень высокая степень переработки донными организмами, достигающая 90% и более. Как правило, может быть выделено несколько генераций биотурбации, наиболее распространенными ихнофоссилиями являются *Planolites*, *Skolithos*, *Asterosoma* и *Teichichnus*, в качестве «аксессуариев» могут присутствовать *Lingolichnus*, *Palaeophicos* и *Rosselia*



Фото 19

Стратиграфия и литология

(стандартная ихнофауна Skolithos). Для глинистых пород продельты более типичная ассоциация крузиановой ихнофауны: Teichichnus, Zoophycos, Chondrites, реже Thalassinoides.

В результате проведенных исследований установлено, что ихнофоссилии распространены в породах широкого стратиграфического диапазона от бийского горизонта эйфельского яруса до верейского горизонта московского яруса. Качественное разнообразие достигается на фоне максимального количества обнаруженных особей. Количество ихнофоссилий постепенно возрастает от подошвы к кровле пород терригенного девона, достигает максимума в отложениях пашийского горизонта и резко снижается в карбонатах франского, фаменского и турнейского ярусов. Новый всплеск их массового расселения приходится на бобриковский интервал визейского века. Закономерности вертикального распространения ихнофоссилий в изученном районе мало зависят от стратиграфического фактора, а в большей степени определяются условиями среды осадконакопления. Организмы, обитающие в толще мягкого грунта (ихнофауна), более обильны и разнообразны в водах с пониженной соленостью в пределах переходных обста-

новок, таких как лагуны и авандельты. В случаях ярусного распределения ихнофоссилий в разрезах сохранность профиля определяется тремя основными факторами: глубина эрозии, сочетание биотурбаций нескольких генераций, скорость возобновленного осадконакопления. Максимальная сохранность переработанных горизонтов достигается в тех случаях, когда они перекрываются без длительных перерывов продуктами быстрых седиментационных событий. В разрезах воровьевского и пашийского горизонтов подобные ситуации отмечены на площадях, где горизонты с массовым распространением ихнофоссилий перекрыты отложениями темпеститов или подводно-оползневых процессов.

Изучение ихнофоссилий может способствовать выявлению (характеристике) некоторых седиментационных параметров, в частности дает возможность дешифрировать историю эпизодов аккумуляции, эрозии и ненакопления осадков. Позволяет оценивать степень гидродинамической активности водной массы, давать дополнительную информацию о перерывах в осадконакоплении, подчеркивать фаціальную изменчивость горных пород, выделять этапы быстрой и медленной седиментации.

Л и т е р а т у р а

1. Исаев Г. Д. Основы биоседиментологии и региональный фаціальный анализ. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2006. – 133 с.
2. Микулаш Р., Дронов А. Палеоихнология – введение в изучение ископаемых следов жизнедеятельности. – Прага: Геологический институт АН Чешской Республики, 2006. – 122 с.
3. Ichnology ATLAS, version 1.2 (May 1999).
4. Ichnological and Sedimentological Criteria for Differentiating Brackish-Water Bay-Head Deltas and Fully Marine Open-Coast Deltas* / By Cameron R. Thompson¹, James A. MacEachern¹ and Aaron J. DesRoches¹ Search and Discovery Article #50109 (2008). – Posted August 10, 2008.
5. DolfSeilacher. Fossil Art/An exhibition institute Tubingen University Germany. – March, 2008.