

Биотурбация среднеюрских и нижнемеловых терригенных отложений Западной Сибири

Шафронова Д.В., Соколова О.А.

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия
dvshafronova@tnc.rosneft.ru

Аннотация

В работе рассмотрены особенности ископаемых следов жизнедеятельности (виды, морфология и ориентация нор), их значение в лито-фациальном анализе и распространение в различных средах осадконакопления на примере kernового материала среднеюрских и нижнемеловых терригенных отложений Западной Сибири. Обобщены результаты наблюдений, выявлены типичные представители ихнофоссилий для различных обстановок осадконакопления. Отмечается латеральная непрерывность и предсказуемая последовательность смены ихнофаций по седиментологическому профилю от континента к морю. Выполнен анализ петрофизических свойств песчаных пород-коллекторов, содержащих следы жизнедеятельности организмов. Прослежено и установлено отрицательное влияние биотурбации ихнорода *Cylindrichnus* на качество коллектора, а также положительное влияние переработки песчаников ихнофоссилиями *Macaronichnus* на фильтрационно-емкостные свойства пород. Более детальная диагностика ихнофоссилий может помочь в понимании коллектора, что улучшит добычу из биотурбированных отложений.

Материалы и методы

Изучение kernового терригенного материала: детальное послойное литологическое и седиментологическое описание с применением структурно-текстурного и ихнологического анализа; оценка результатов петрофизических исследований.

Ключевые слова

биотурбация, ихнофоссилии, обстановки осадконакопления, проницаемость

Для цитирования

Шафронова Д.В., Соколова О.А. Биотурбация среднеюрских и нижнемеловых терригенных отложений Западной Сибири // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 7. С. 61–69. DOI: 10.24412/2076-6785-2024-7-61-69

Поступила в редакцию: 16.09.2024

LITHOLOGY

UDC 551.8 | Original Paper

Bioturbation of middle jurassic and lower cretaceous terrigenous sediments of Western Siberia

Shafronova D.V., Sokolova O.A.

"Tyumen petroleum research center" LLC, Tyumen, Russia
dvshafronova@tnc.rosneft.ru

Abstract

The article discusses the features of ichnofossils (types, morphology and orientation of burrows), their significance in lithofacies analysis and distribution in various sedimentation environments using the example of core material from Middle Jurassic and Lower Cretaceous terrigenous deposits of Western Siberia. The results of observations are generalized and typical representatives of ichnofossils for various sedimentation environments are identified. There is lateral continuity and a predictable sequence of changes in ichnofacies along the sedimentological profile from the continent to the sea. An analysis of the petrophysical properties of sandy reservoir rocks processed by the burrowing organisms was carried out. The negative impact of bioturbation of the ichnospecies *Cylindrichnus* on the quality of the reservoir, as well as the positive effect of the processing of sandstones by traces of *Macaronichnus* ichnofossils on the filtration-capacitive properties of rocks, was traced and established. More detailed diagnostics of ichnofossil traces may help in understanding the reservoir, which will improve production from bioturbated sediments.

Materials and methods

Study of core terrigenous material: detailed layer-by-layer lithological and sedimentological description using structural-textural and ichnological analysis; evaluation of petrophysical research results.

Keywords

bioturbation, ichnofossils, depositional environments, permeability

For citation

Shafronova D.V., Sokolova O.A. Bioturbation of middle jurassic and lower cretaceous terrigenous sediments of Western Siberia. Exposition Oil Gas, 2024, issue 7, P. 61–69. (In Russ). DOI:10.24412/2076-6785-2024-7-61-69

Received: 16.09.2024

Введение

Одним из эффективных вспомогательных методов восстановления фациальных условий образования осадков является метод анализа следов жизнедеятельности ископаемых организмов, что представляет собой предмет изучения палеоихнологии. Анализ текстурных особенностей осадочной породы совместно с изучением следов жизнедеятельности ископаемых организмов позволяет непосредственно при изучении керна делать выводы о фациальных условиях образования осадка [2].

Термин «биотурбационные текстуры» предложен для текстур, образованных в процессе жизнедеятельности организмов в осадке или на его поверхности. Образование биотурбационных текстур вызывает нарушение или преобразование первичных осадочных текстур, образованных агентами неорганического происхождения [7].

Характер среды (состав и плотность субстрата-грунта, энергетический уровень седиментации, газовый режим, т.е. насыщенность кислородом) влияет на то, какие организмы в данных условиях могут обитать. Ихнофоссилии могут показать жизненную стратегию организма и его адаптацию к обстановкам с различной (высокой или низкой) гидродинамической энергией среды и с разным (волны или течения) доминирующим механизмом воздействия на донные осадки [4].

Диагностика следов биотурбации (ихнофоссилий) решает некоторые вопросы при исследовании керна: ихнофоссилии играют роль индикаторов среды осадконакопления [7], применимы для распознавания ключевых стратиграфических поверхностей несогласия [3], а также различным образом влияют на качество коллектора [14, 16].

Для различия ихнофоссилий существуют различные классификации: этологическая, топонимическая, батиметрическая. Этология следов жизнедеятельности отражает поведенческие реакции, активность бентосных

животных (следы питания — fodinichnia, пастьбы — rascihnia, покоя — cubichnia, ползания — repichnia, бегства — fugichnia, обитания — domicnhia). Топонимическая классификация основана на описании следов жизнедеятельности по способу их сохранения и отношению к слоистости [4], то есть отражает сохранившийся рельеф в осадке. Из наиболее известных топонимических классификаций выделяют: А. Зейлахера, А. Мартинссона, Н.Б. Вассоевича [4]. Согласно батиметрической зональности А. Зейлахер предложил 6 ихнофацций (комплекс/ассоциация следов жизнедеятельности организмов, обитающих в определенных условиях), основные из которых: Scoyenia (преимущественно континентальная), Skolithos (мелководная литораль), Cruziana (сублитораль — от линии отлива до базиса действия волн), Zoophycos (батальная — от базиса действия волн до зоны осадков суспензионных потоков) и Nereites (на больших глубинах в зоне отложения суспензионных потоков) [9]. Позже исследователи-ихнологи уточнили, что распространение следов ископаемых ассоциаций контролируется не столько глубиной, а энергией, гидродинамикой среды. Собственно, и сама батиметрическая привязанность ихнофацций со временем изменилась: так, например, ихнофацция Skolithos в современном понимании охватывает не только литораль, сколько верхнюю сублитораль (практически до базиса волновой переработки осадка) [13].

Количественно степень биотурбации оценивается визуально с использованием биотурбационного индекса (BI от 1 до 6), предложенного С.Дж. Пембертоном [15].

Седиментологическая роль биотурбаторов

Континентальное осадконакопление обладает неустойчивостью — часто накопившиеся осадки сразу же подвергаются размыву [7]. Следы континентальных организмов известны в гораздо меньших случаях из-за плохой сохранности

в высокдинамических системах. Преобладают остатки флоры, особенно в условиях влажного климата — характерно наличие обугленного растительного детрита, фрагментов стеблей и листьев растений, остатков корневых систем, обломки древесины и углистые прослои [9]. Однако все же существует ряд ихнофацций, характерных для континентальной либо субконтинентальной среды осадконакопления. Это Scoyenia, Mermia, Coprinisphaera, Termitichnus [4].

Тюменская свита, относящаяся к среднеюрским отложениям (аален-баюйс-батского возраста), на предмет содержания биотурбации была рассмотрена на основе кернового материала скважин, пробуренных на юге, юго-западе Западной Сибири Уват-Мегионского и Фроловского фациальных районов (рис. 1).

В ходе седиментологического анализа кернового материала скважин установлено, что тюменская свита формировалась в условиях аллювиальной и прибрежной равнин с преобладанием речных процессов. В керне диагностированы такие характерные признаки, как резкая эрозионная подошва песчаников с постепенным утонением гранулометрического состава пород снизу вверх по разрезу, с однонаправленными течениями текстурами, с присутствием глинистых интракластов, обломков углефицированной древесины и нитевидных слоев углистого детрита, в алевролитах и аргиллитах — присутствие линз и прослоев угля, обугленной растительной органики, трещин усыхания. О кратковременном влиянии моря в керне свидетельствуют следы биотурбации различной степени интенсивности, трещины синерезиса, сдвоенные слои (углистые либо глинистые), косая разнонаправленная слоистость, текстуры волновой переработки осадков [8]. Наблюдается обедненное видовое разнообразие и низкая степень биотурбации. Диагностированы единичные следы Scoyenia, Mermia, Planolites, Spongeliomorpha, Skolithos.

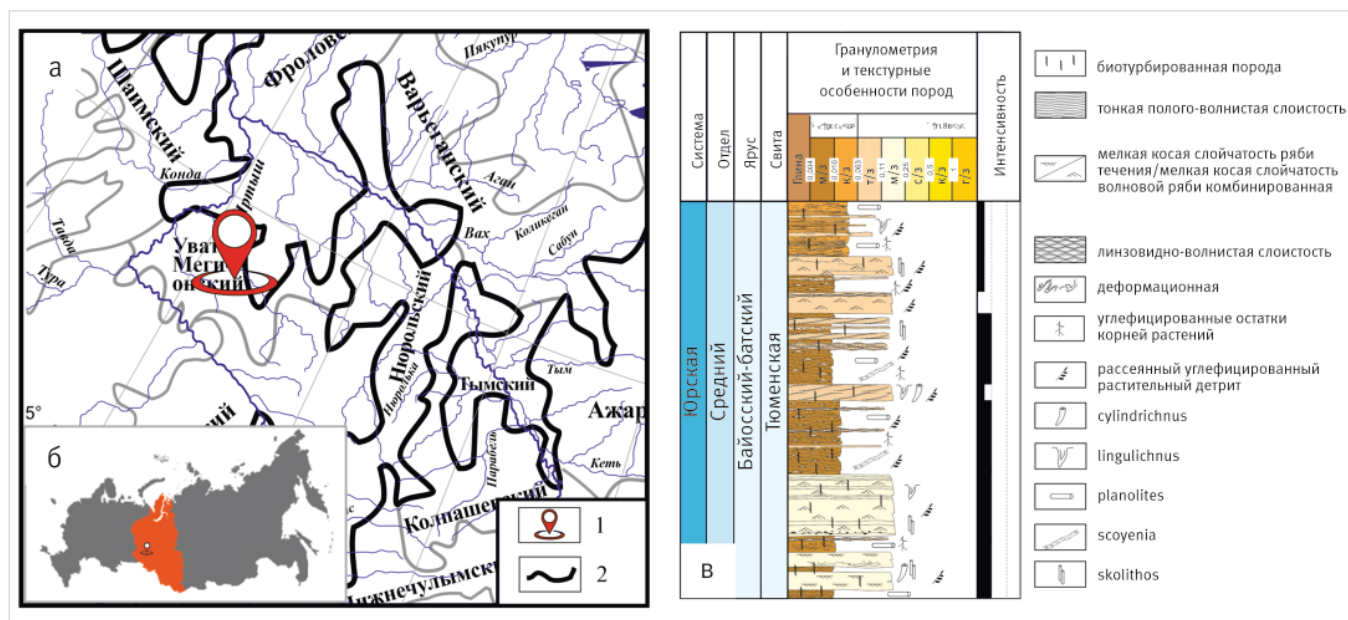


Рис. 1. Объект исследования. а — фрагмент региональной стратиграфической схемы нижней и средней юры Западной Сибири: 1 — район изучения, 2 — границы фациальных районов; б — обзорная карта: Западная Сибирь, Россия; в — фрагмент литологической колонки исследуемого разреза тюменской свиты (ООО «ТННЦ»)

Fig. 1. Object of study. а — fragment of the regional stratigraphic scheme of the Lower and Middle Jurassic of Western Siberia: 1 — study area, 2 — boundaries of facies areas; б — overview map: Western Siberia, Russia; в — fragment of a lithological column of the closing section of the Tyumen Formation ("Tyumen petroleum research center" LLC)

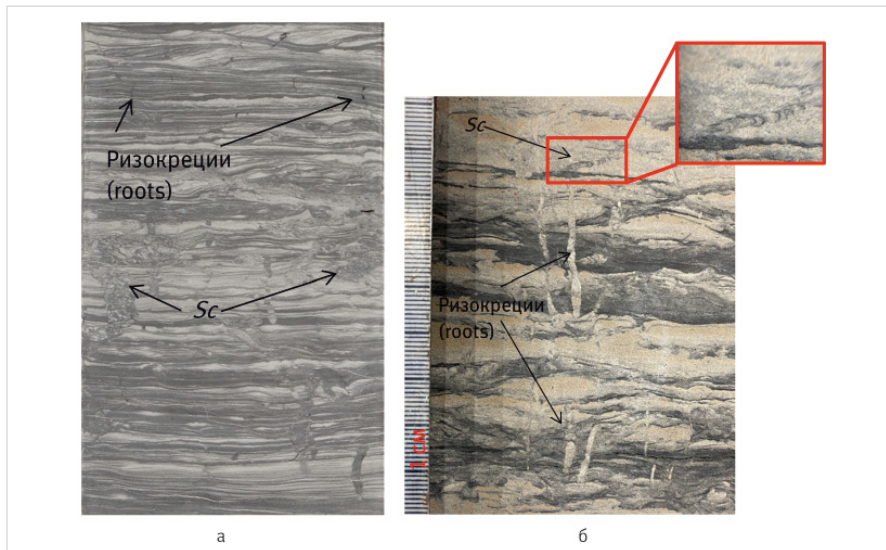


Рис. 2. *Scoyenia* (Sc) в смешанных песчано-илистых приливно-отливных отмелях. Фото керн в дневном свете, представленного переслаиванием песчаников и алевролитов, нарушенным биотурбацией и ризокрециями: а — среднеюрские отложения юга Западной Сибири (пласт Ю4, тюменская свита), б — нижнемеловые отложения северо-востока Западной Сибири (пласт Як4, яковлевская свита)

Fig. 2. *Scoyenia* (Sc) in mixed sand-mud tidal flats. Photo of a core in daylight, represented by interbedded sandstones and siltstones, disturbed by bioturbation and roots: а — Middle Jurassic sediments of the south of Western Siberia (formation Yu4, Tyumen formation), б — Lower Cretaceous sediments of the north-east of Western Siberia (formation Yak4, Yakovlevsky formation)

Ихнофация *Scoyenia* была встречена в керне, представленном преимущественно алевро-глинистыми осадками, образованными в условиях поймы, дистальной части кревассовых разливов. На пойменную фаціальную принадлежность указывает парагенез отложений с русловыми фациями и ряд диагностических признаков: преимущественно тонкозернистый состав осадков, присутствие углистого фитодетрита и остатков корней растений. Ихнофация *Scoyenia* характеризует континентальные (озерные, потоковые и золовые) отложения не в меньшей степени, чем переходные от континента к морю [13]. Для этих следов характерны норы с менисковым заполнением; наслоение заполнения внутри нор представлено алевро-песчаным материалом с глинистыми перемычками [1] (рис. 2). Ихнофация *Scoyenia* связана с периодически подводными субстратами и мягким грунтом, развита в переходной зоне между сушей и мелководьем, временно затопляемой, для которой характерна преимущественно неморская низкоэнергетическая среда с влажными неморскими субстратами, периодически обнажающимися и подвергающимися воздействию воздуха (приливно-отливные отмели) [11]. Отложения приливно-отливных отмелей в керне характеризуются ритмичным бимодальным переслаиванием алевролитов и песчаников, с пологоволнистой и линзовидно-волнистой слоистостью, с трещинами синерезиса, с проявлениями биотурбации (с низким видовым разнообразием бентоса, отражающим неустойчивую соленость среды) [10].

Редкие следы *Spongiomorpha* зафиксированы в литофациях приливно-отливных отмелей (в керне отложения сложены чередованием песчаников и алевролитов глинистых). Норы представляют собой Y- и T-образную систему туннелей, диаметром 1–2 см, внутри с песчаным заполнением, на стенках присутствует орнамент — рельеф в виде равномерных продольных параллельных царапин (рис. 3). Предполагаемые производители (продуценты) — ракообразные. Ихнороды *Spongiomorpha*, *Ophiomorpha* и *Thalassinoides* принадлежат одной архитектурной категории со схожим строением системы туннелей, отличающихся орнаментом/скульптурой на внешних стенках нор (у *Ophiomorpha* внешний вид норы с гранулированной поверхностью — для укрепления стенок в рыхлом субстрате, а у *Thalassinoides* — абсолютно гладкая, встречен и в мягком, и в твердом субстрате) [2]. Такое отличие во внешнем облике норок, отражающее разное поведение ракообразных, контролируется видом грунта, в котором они обитают и вынуждены строить жилище.

В озерных обстановках, в керне, представленных тонкослоистыми алевро-аргиллитами, характерны ихнофации *Mermia* (рис. 4).

Mermia представляет собой комплекс неспециализированных горизонтальных мандрирующих следов пастыбы и питания. Ихнофации в основном включают простые пастыбные тропы и неглубокие простые норы организмов, питающиеся отложениями, связанными с постоянно подводными, насыщенными кислородом, низкоэнергетическими пресноводными озерами, представленными тонкослоистыми, иногда гетеролитными тонкозернистыми отложениями [12].

Также в среднеюрских отложениях встречаются ходы *Planolites*, цилиндрические горизонтальные или наклонные гладкостенные



Рис. 3. *Spongiomorpha/Radomorpha* (Sp) в песчаных, а также внедряющихся в глинистые отложения прибрежной равнины (приливно-отливные отмели) среднеюрских отложения юга Западной Сибири (пласт Ю3, тюменская свита)

Fig. 3. *Spongiomorpha/Radomorpha* (Sp) in sandy and also intruding into clayey sediments of the coastal plain (tidal flats) Middle Jurassic sediments of the south of Western Siberia (formation Yu3, Tyumen formation)

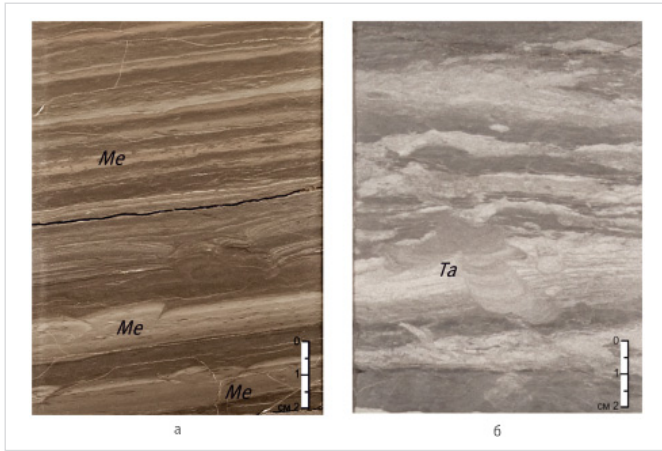


Рис. 4. Континентальные икнофоссилии: а — *Mermia* (Me) в алевролитах тонкослоистых, с песчаными слоями (озерные отложения, пласт Ю4), б — *Taenidium* (Ta) в песчано-глинистых отложениях поймы/клевассовых разливах (пласт Ю3)
 Fig. 4. Continental ichnofossils: а — *Mermia* (Me) in thin-layered siltstones, with sandy layers (lake deposits, formation Yu4), б — *Taenidium* (Ta) in sandy-clayey sediments of the floodplain/crevass spills (formation Yu3)

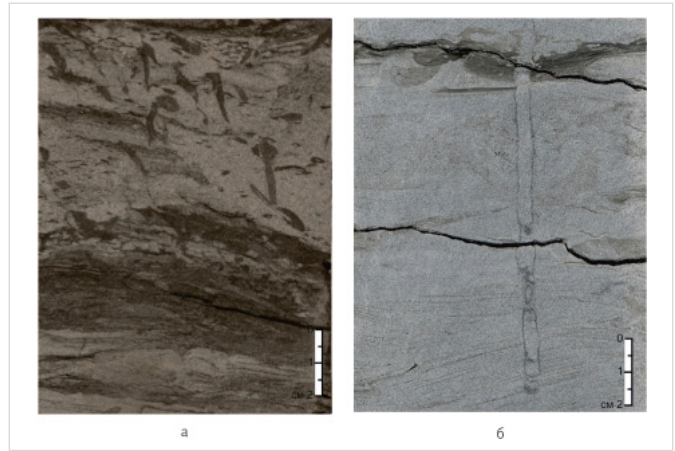


Рис. 5. Соленатоводная биотурбация в керне отложений прибрежной равнины (нижнемеловые отложения яковлевской свиты): а — *Cylindrichnus* — в приливно-отливных отмелях, б — *Skolithos* — в эстуариевом канале
 Fig. 5. Brackish-water bioturbation in sediment cores of the coastal plain (Lower Cretaceous sediments of the Yakovlev Formation): а — *Cylindrichnus* — in tidal flats, б — *Skolithos* — in the estuarine channel

норы с отличающейся от вмещающей породы литологией, обычно песчаной, небольших размеров — диаметром до 0,5 см. При фациальных исследованиях не имеют ценности, т.к. зарегистрированы во всех морских и континентальных средах.

По мере увеличения морского влияния, в среднеюрских отложениях, формировавшихся в прибрежно-морских обстановках седиментации, увеличивается разнообразие ископаемых следов жизнедеятельности [11]. Так, в отложениях головной части залива были диагностированы следы *Skolithos*, *Cylindrichnus*, мелкие норки зарывания двустворок.

При стрессовых условиях для развития бентосных организмов, например, при ненормальной солености (солонатоводные

условия) в эстуариевом типе побережья наблюдается низковидовое разнообразие следов биотурбации [10]. В керне такие обстановки были зарегистрированы по анализу нижнемеловых отложений нижнеяковлевской свиты (апт-альбского возраста) в северо-восточной части Западной Сибири, в пределах Енисей-Тазовского междуречья.

Формирование отложений происходило в пределах прибрежной приливно-отливной равнины с развитой сетью приливно-отливных каналов; происходили периодические колебания относительного уровня моря, которые вызывали затопление речных долин с образованием на их месте широких эстуариев. Приливно-отливные процессы отражены в керне в виде характерной текстуры (сигмоидная и двунаправленная косая

слоистость, широкий диапазон текстур ряби), присутствия сдвоенных слоев, поверхностей реактивации, трещин синерезиса [8, 9]. Эстуариевые русла нижнеяковлевской свиты в керне сложены песчаниками с малоомощными прослоями алевролитов, участками значительно переработанными солонатоводной однотипной биотурбацией (*Skolithos*, *Cylindrichnus*) (рис. 5).

Следы организмов, зафиксированные в прибрежно-морском комплексе осадконакопления, изучены в керне скважин, пробуренных в северной, северо-восточной частях Западной Сибири, в отложениях, стратиграфически приуроченных к нижнемеловым. Согласно палеогеографическим исследованиям на территории Западной Сибири в берриасский век началась регрессия моря, в позднем

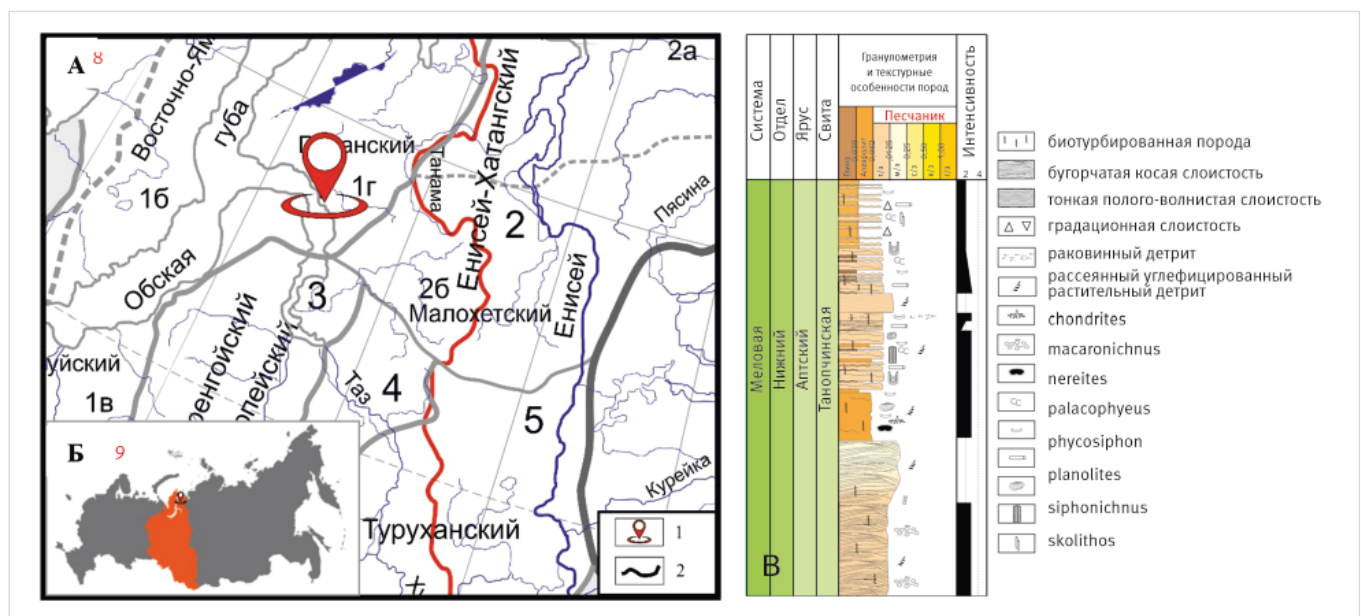


Рис. 6. Объект исследования. а — фрагмент региональной стратиграфической схемы меловых отложений Западной Сибири: 1 — район изучения, 2 — границы фациальных районов; б — обзорная карта: Западная Сибирь, Россия; в — фрагмент литологической колонки исследуемого разреза танопчинской свиты (ООО «ТННЦ»)

Fig. 6. Object of study. а — fragment of the regional stratigraphic scheme of the Cretaceous deposits of Western Siberia: 1 — study area, 2 — boundaries of facies areas; б — overview map: Western Siberia, Russia; в — fragment of a lithological column of the closing section of the Tanopchinskaya formation ("Tyumen petroleum research center" LLC)

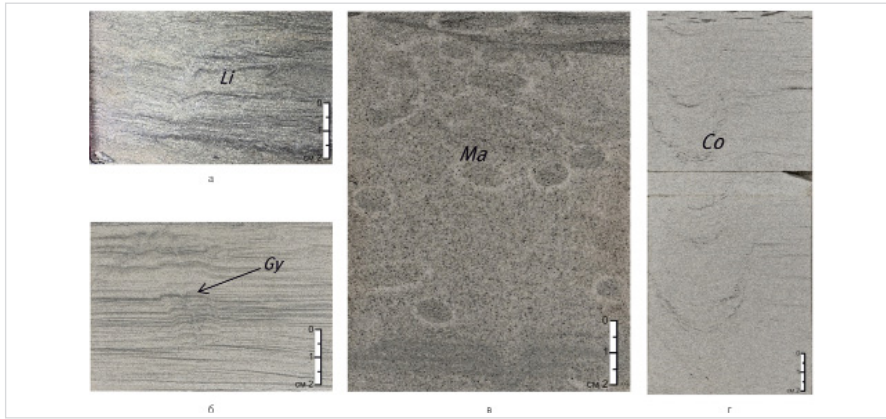


Рис. 7. Ассоциация следов биотурбации проксимальной части фронта дельты в нижнемеловых отложениях севера Западной Сибири: а — *Lingulichnus* (Li), б — *Gyrochorte* (Gy), в — *Macaronichnus* (Ma), г — *Conichnus* (Co)
 Fig. 7. Association of traces of bioturbation of the proximal part of the delta front in the Lower Cretaceous deposits of the north of Western Siberia: а — *Lingulichnus* (Li), б — *Gyrochorte* (Gy), в — *Macaronichnus* (Ma), г — *Conichnus* (Co)

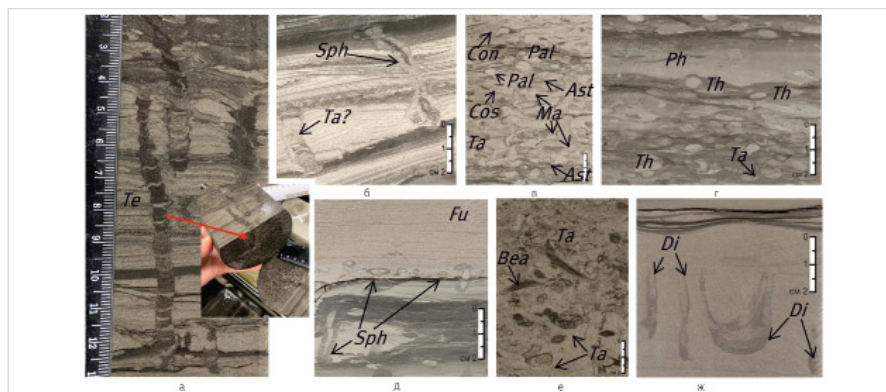


Рис. 8. Ассоциация икнофоссилий дистальной части фронта дельты: а — *Teichichnus* (Te), б — *Siphonichnus* (Sph), *Taenidium* (Ta), в — скопление *Palaeophycus* (Pal) и *Macaronichnus* (Ma), присутствуют *Asterosoma* (Ast), *Taenidium* (Ta), *Conichnus* (Con), *Cosmorhapha* (Cos), г — *Thalassinoides* (Th), *Phycosiphon* (Ph), д — *Siphonichnus* (Sph), *Fugichnia* (Fu), е — скопление *Taenidium* (Ta), встречены *Beaconites* (Be), ж — *Diplocraterion* (Di)
 Fig. 8. Association of ichnofossils of the distal delta front: а — *Teichichnus* (Te), б — *Siphonichnus* (Sph), *Taenidium* (Ta), в — cluster of *Palaeophycus* (Pal) and *Macaronichnus* (Ma), присутствуют *Asterosoma* (Ast), *Taenidium* (Ta), *Conichnus* (Con), *Cosmorhapha* (Cos), г — *Thalassinoides* (Th), *Phycosiphon* (Ph), д — *Siphonichnus* (Sph), *Fugichnia* (Fu), е — cluster of *Taenidium* (Ta), met by *Beaconites* (Be), ж — *Diplocraterion* (Di)

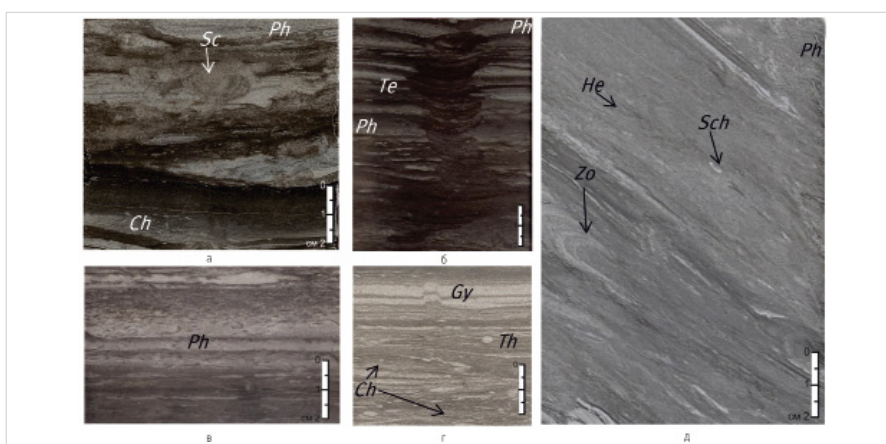


Рис. 9. Ассоциация следов биотурбации продельтового склона: а — *Scolicia* (Sc), *Chondrites* (Ch), *Phycosiphon* (Ph), б — *Teichichnus* (Te), *Phycosiphon* (Ph), в — *Phycosiphon* (Ph), г — *Gyrochorte* (Gy), *Thalassinoides* (Th), *Chondrites* (Ch), д — *Zoophycos* (Zo), *Phycosiphon* (Ph), *Helminthopsis* (He), *Schaubcylindrichnus* (Sch)
 Fig. 9. Association of bioturbation traces of the prodelta slope: а — *Scolicia* (Sc), *Chondrites* (Ch), *Phycosiphon* (Ph), б — *Teichichnus* (Te), *Phycosiphon* (Ph), в — *Phycosiphon* (Ph), г — *Gyrochorte* (Gy), *Thalassinoides* (Th), *Chondrites* (Ch), д — *Zoophycos* (Zo), *Phycosiphon* (Ph), *Helminthopsis* (He), *Schaubcylindrichnus* (Sch)

валанжине произошло значительное увеличение площади прибрежной равнины, временно заливавшейся морем, в юго-восточной части бассейна. Это увеличение произошло за счет смещения северо-западной границы области до 400 км в глубь палеобассейна. Регрессия осложнялась кратковременными трансгрессиями [5].

Разнообразные икнокомплексы присутствуют в отложениях дельтового комплекса, в песчаных и глинистых осадках танопчинской, а также нижнехетской свиты (верхней и средней ее частях) на территории севера Западной Сибири (рис. 6). Здесь характерна биотурбация икнофацций *Skolithos* — *Cruziana*.

Проксимальная часть фронта дельты волнового типа характеризуется песчаным составом отложений с укрупнением зернистости вверх по разрезу. Наблюдается бугорчатая слоистость, свидетельствующая о штормовых волнах. В связи с очень активной гидродинамикой среды седиментации практически отсутствуют следы биотурбации, типичны спорадические проявления следов бегства (*fugichnia*), *Gyrochorte*, *Macaronichnus*, *Lingulichnus*, *Conichnus* (рис. 7), а также встречаются *Phycosiphon* (рис. 8).

Дистальная часть фронта дельты, представленная преимущественно песчаным материалом с маломощными глинистыми прослоями, характеризуется более спокойными условиями седиментации, что обуславливает благоприятные условия для развития бентосных животных, особенно в дельте волнового типа. Встречены *Asterosoma*, *Beaconites*, *Diplocraterion*, *Monocraterion*, *Gyrochorte*, *Thalassinoides*, *Palaeophycus*, *Taenidium*, *Siphonichnus*, *Conichnus*, *Teichichnus* (рис. 8).

В рассматриваемых отложениях продельтового склона (в пределах нижнехетской свиты на территории северо-востока Западной Сибири) доминируют морские процессы, преобладает илистое осадконакопление, типична биотурбация икнофацции дистальной *Cruziana*, *Zoophycos* и *Nereites* (*Phycosiphon*, *Cosmorhapha*) (рис. 9).

Также среди диагностированных обстановок осадконакопления нижнехетской свиты выделены обстановки нижней предфронтальной зоны пляжа. Отложения пляжей представлены линейно-вытянутыми телами, длиной десятки км. Общими особенностями для них являются: песчаный разнотельный состав с преобладанием мелко- и среднеспаммитовых отложений с примесью хорошо окатанного гравия, мелкой гальки и остатков морской и наземной фауны, присутствие чешуек слюды, концентрация тяжелых минералов (магнетита, ильменита, циркона, рутила, турмалина, граната и др.) в основном в штормовом валу, верхней и подводной части. [9]. Типичны такие следы биотурбации, как *Orphiomorpha*, *Palaeophycus*, *Rosselia* и другие. В дистальной части нижней зоны предфронтальной зоны пляжа песчаники значительно обогащены глинистым веществом, виды биотурбации сменяются преимущественно горизонтальными (*Phycosiphon*, *Cosmorhapha*, *Chondrites*, *Schaubcylindrichnus*, *Scolicia*) (рис. 10).

Среди глубоководных отложений (более 200 м), формирующихся в двух фациальных зонах — батимальной и абиссальной, икнофоссилии встречаются очень редко, отмечаются лишь единичные простые мелкие горизонтальные норки, типа *Planolites*. Но в случае если турбидитовый поток имеет источник питания дельтовый [6], то в отложениях, как, например, в ачимовской толще нижней подсвиты ахской свиты на севере

Табл. 1. Частота встречаемости икнофоссилий в различных обстановках осадконакопления
 Tab. 1. Frequency of occurrence of traces of ichnofossils in different depositional environments

Обстановка	Индекс фацис	Planolites	Mermia	Termitichnus	Scoyeniya	Skolithos	Cylindrichnus	Lingulichnus	Lockeia	Conichnus	Diplocraterion	Asterosoma	Siphonichnus	Taenidium	Fugichnia	Gyrochorte	Arenicolites	Palaeophycos	Macaronichnus	Thalassinoides	Ophiomorpha	Rhizocorallium	Rosselia	Scollia	Teichichnus	Schaubeyindrichnus	Chondrites	Cosmorhapha	Phycosiphon	Helminthopsis	Zooplycos							
Континентальные обстановки																																						
речное русло	FC																																					
прирусловый вал	NL																																					
пойма	FP																																					
отложения канала и конуса выноса промоины	CC,CS																																					
озерные отложения	LK																																					
Переходные (прибрежно-континентальные) обстановки																																						
смешанная песчано-глинистая приливо-отливная отмель	MSTF																																					
глинистая приливо-отливная отмель	MTF																																					
песчаная приливо-отливная отмель	STF																																					
марши	M																																					
марши солоноватоводные	Mb																																					
отложения приморских озер	P																																					
субаквальный прирусловый вал	SL																																					
приливо-отливная протока	TCR																																					
речное русло с влиянием приливо-отливных процессов	FCt																																					
Переходные (прибрежно-морские) и мелководно-морские обстановки																																						
речное русло со смешанным влиянием флювиальных и приливо-отливных процессов внутренней зоны эстуария	TFC																																					
дельта головной части залива	BHD																																					
залив	CB																																					
дистрибутивный канал	DC																																					
проксимальная часть фронта дельты	PDF																																					
устьевой бар	MB																																					
дистальная часть фронта	DDF																																					
проксимальная часть продельтового склона	PPD																																					
дистальная часть продельтового склона	DPD																																					
средняя предфронтальная зона пляжа	MSF																																					
нижняя предфронтальная зона пляжа	LSF																																					
дистальная часть нижней зоны подводного берегового склона	DLSF																																					
трансгрессивный слой	TL																																					
проксимальная часть дальней зоны подводного берегового склона	UOF																																					
дистальная часть дальней зоны подводного берегового склона	LOF																																					
шельф	Shlf																																					
Морские (относительно) глубоководные обстановки																																						
турбидитовый канал	DTC																																					
окраинная часть турбидитового канала	Tcm																																					
турбидитовый прирусловый вал	TrL																																					
турбидитовые лопасти	DL																																					
подводная равнина	BF																																					

■ встречается часто
 ■ встречается редко

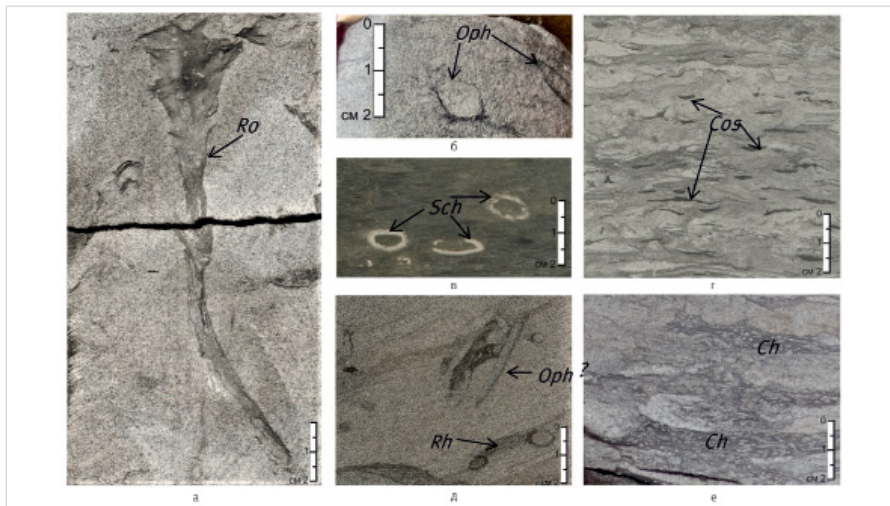


Рис. 10. Ассоциация следов биотурбации нижней зоны предфронтальной зоны пляжа: а – *Rosselia* (Ro), б – *Ophiomorpha* (Oph), в – *Schaubcylindrichnus* (Sch), г – *Cosmorhapha* (Cos), д – *Rhizocorallium* (Rh), е – *Chondrites* (Ch)
 Fig. 10. Association of traces of bioturbation in the lower zone of the prefrontal zone of the beach: а – *Rosselia* (Ro), б – *Ophiomorpha* (Oph), в – *Schaubcylindrichnus* (Sch), г – *Cosmorhapha* (Cos), д – *Rhizocorallium* (Rh), е – *Chondrites* (Ch)

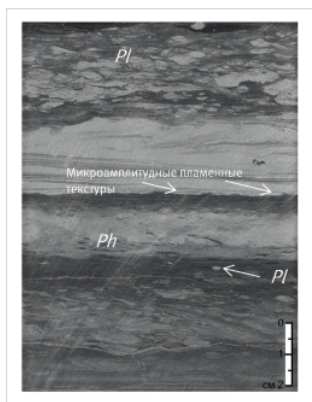


Рис. 11. Биотурбация (*Phycosiphon*/Ph, *Planolites*/Pl и другая неясная биотурбация) в глубоководных турбидитах нижнемеловых отложений севера Западной Сибири
 Fig. 11. Bioturbation (*Phycosiphon*/Ph, *Planolites*/Pl and other unclear bioturbation) in deep-sea turbidites of Lower Cretaceous sediments of northern Western Siberia

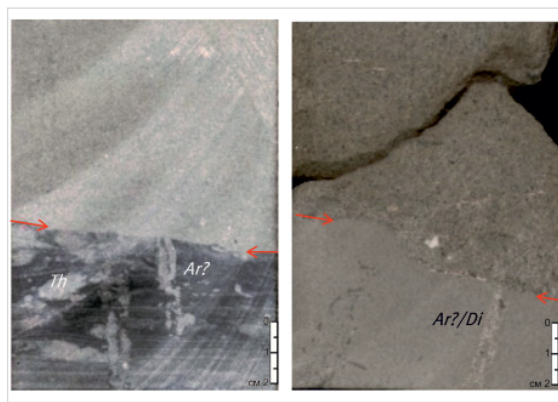


Рис. 12. Поверхности *Glossifungites* (границы показаны стрелками) со следами *Thalassinoides* (Th), *Arenicolites* (Ar)/*Diplocraterion* (Di) в керне отложений нижнехетской свиты северо-востока Западной Сибири
 Fig. 12. *Glossifungites* surfaces (boundaries are shown by arrows) with ichnofossils *Thalassinoides* (Th), *Arenicolites* (Ar)/*Diplocraterion* (Di) in the sediment core of the Nizhnehetskaya formation in the northeast of Western Siberia

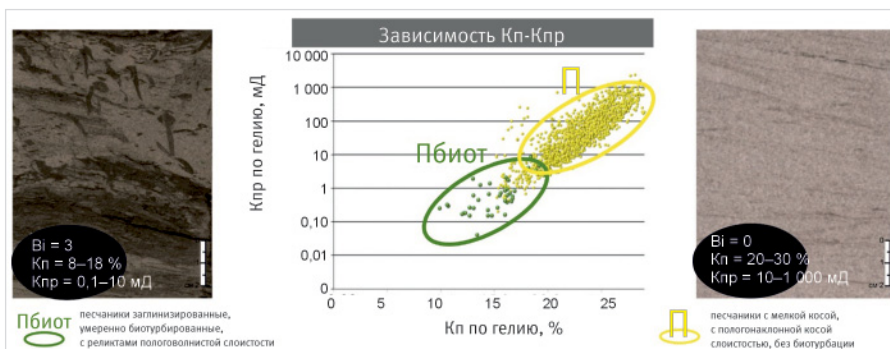


Рис. 13. Влияние степени биотурбации на коллекторские свойства пород
 Fig. 13. Influence of the degree of bioturbation on the reservoir properties of rocks

Западной Сибири, проявления биотурбации аналогичны ассоциации следов дельтового комплекса (рис. 11).

В таблице 1 отображена наиболее типичная частота встречаемости следов биотурбации в различных обстановках среднеюрских, нижнемеловых отложений Западной Сибири.

Ихнокорреляция. В решении вопросов региональной корреляции большую роль играет такая ихнофация, как *Glossifungites*, так как она связана с ключевыми поверхностями несогласия. Пласты, ограниченные несогласием, обычно содержат ихнофагии, контролируемые средой: *Trypanites* (для твердого скального субстрата), *Teredolites* (для древесного), *Glossifungites* (для уплотненного). Наличие следов ихнофагии *Glossifungites* указывает на колонизацию почти твердого грунта (обезвоженного и уплотненного, но не литифицированного) в прибрежно-морских и морских условиях [15].

В мелководно-морских отложениях нижнехетской свиты северо-восточной части Западной Сибири нередко можно встретить в керне поверхности, охарактеризованные ихнофагией *Glossifungites*, на границе эрозионного размыва – горизонта трансгрессии – на разделе двух литофаций – снизу алевролиты глинистые биотурбированные, сверху перекрытые значительно зернистым песчаником. Такие эрозионные поверхности позволяют уточнить границы секвенций [4].

Среди ихнофоссилий, относящихся к ихнофагии *Glossifungites*, встречаются *Arenicolites*, *Skolithos*, *Diplocraterion*, *Rhizocorallium*, *Thalassinoides* [3] и другие следы (рис. 12). Более полно и подробно описано значение ихнофоссилий в работе Р. Микулаш, А. Дронов «Палеоихнология», 2006.

Петрофизическое значение биотурбации. Биотурбация является важным фактором оценки качества коллекторов в нефтегазовой отрасли. Биогенная деятельность может влиять на пористость и проницаемость коллектора. Это влияние может быть как положительным, так и отрицательным. Петрофизические характеристики коллектора при наличии биотурбационной переработки осадка во многом зависят от морфологии следов ископаемых, наличия или отсутствия выстилки нор, размера и характера заполнения нор, интенсивности биотурбации в различных средах отложения. Низкая степень биотурбации оказывает лишь незначительное влияние на поток флюидов, при более высокой интенсивности биотурбационной переработки осадков происходит большая взаимосвязанность нор, что приводит к увеличению вертикальной и горизонтальной проницаемости в породе [14, 16].

В нижнеяковлевской свите Енисей-Хатангского фациального района, как уже было написано выше, наблюдается солоноватоводная биотурбация ихнофагии *Skolithos* (*Skolithos*, *Cylindrichnus*) в песчаных отложениях эстуариевых русел. Норки *Skolithos* представлены вертикальными цилиндрическими трубками (диаметром до 0,7–0,8 см) с той же песчаной литологией внутри норы, что и вмещающая порода, с гладкими стенками, укрепленными глинистым материалом. Норки *Cylindrichnus* – небольшие вертикальные воронкообразные цилиндрические норки, полностью выполненные глинистым материалом. Таким образом, в данном случае биотурбация привнесла в русловые песчаники значительное содержание глинистого материала и усложнила конфигурацию

поровых каналов в породе вплоть до полного перекрытия. При сравнении коллекторских свойств из построенных зависимостей пористости и проницаемости наблюдается значительное различие коллекторских свойств литотипа «чистых» (без биотурбации) песчаников от песчаников, переработанных ихнофоссилиями, а именно ухудшение коллекторских свойств с увеличением степени биотурбации (рис. 13).

В дельтовых песчаных отложениях нижнехетской свиты Енисей-Хатангского района отмечается противоположная ситуация. Здесь участки песчаника проксимальной части фронта дельты переработаны следами *Masaronichnus*.

Следы *Masaronichnus* — горизонтальные цилиндрические неразветвленные, слабо извилистые норы, диаметром от нескольких мм до 1,5 см. Выстилка нор отсутствует. Литология внутри нор аналогичная вмещающей породе либо выполнена более чистым песчаным материалом (рис. 14).

При сравнительном анализе петрофизических свойств песчаников без следов ихнофоссилий и биотурбированных песчаников организмами *Masaronichnus* при плотном скоплении нор было обнаружено положительное влияние биотурбации на коллектор. Стоит отметить, что во фронте дельты снизу вверх зернистость песчаников увеличивается (в данном случае от мелкозернистых до средне-мелкозернистых), что должно отразиться на проницаемости в положительную сторону. Однако, наоборот, в нижележащих, менее зернистых песчаниках, но переработанных *Masaronichnus*, наблюдается более высокое значение проницаемости (89 мД), в то время как в песчаниках средне-мелкозернистых без биотурбации, залегающих выше по разрезу, проницаемость составила 45 мД (рис. 15).

Итоги

Интеграция седиментологических и ихнологических данных позволяет более детально охарактеризовать и реконструировать условия и динамику осадконакопления. Следы *Mermia* — типичные представители континентального осадконакопления, *Scoyenia* встречается и в континентальных обстановках, и в переходных от морских к континентальным, а *Rosselia*, *Orhiomorpha* — представители пляжевых обстановок, *Phycosiphon*, *Zoophycos* — норы в морских условиях. [6].

Выводы

Многие параметры нор, в первую очередь морфология и связанность нор, определяют коллекторский потенциал породы. Биотурбация влияет на проницаемость неоднозначно [14, 16]: некоторые ихнороды выполняют выстилку нор глинистым материалом, строят тупиковые не сообщающиеся туннели, а также перемешивают глинисто-песчаный осадок, что приводит к снижению гранулометрического состава пород и в целом приводит к уменьшению проницаемости и ухудшению коллекторских свойств, однако некоторые ихнороды (например, *Masaronichnus*) строят превосходные сообщающиеся туннели, по их ходам наблюдается разуплотнение осадка и пониженное содержание глинистого материала, что благоприятно сказывается на проницаемости. Вероятно, дальнейшие наблюдения позволят разделить ихнороды на положительно-влияющие и отрицательно-влияющие на проницаемость коллектора и внедрить их в компьютерные модели исследуемых объектов.

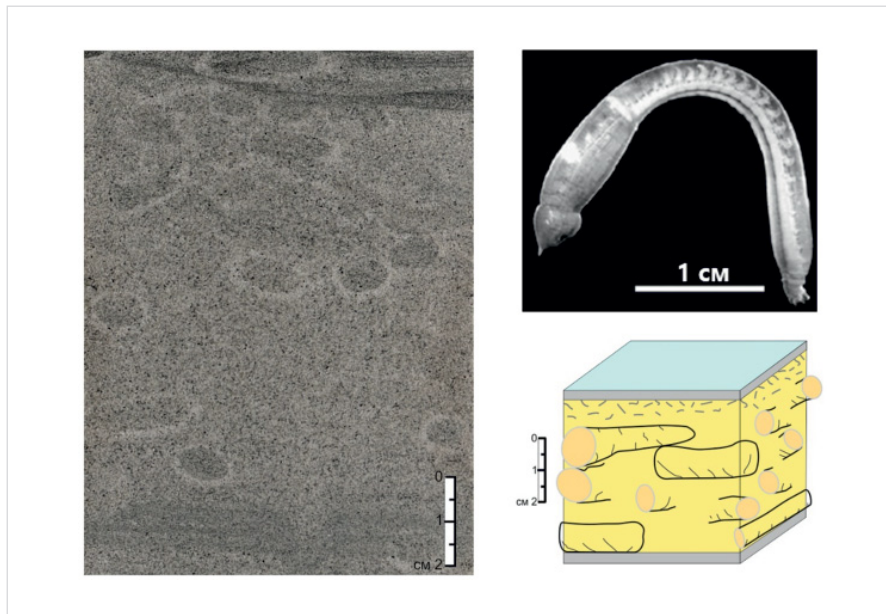


Рис. 14. Песчаник биотурбированный *Masaronichnus* (нижнемеловые отложения севера Западной Сибири): а — фото ядра в дневном свете; б — предполагаемый продуцент-морской червь [14]; в — морфология ходов в трехмерном пространстве
Fig. 14. Bioturbated sandstone *Masaronichnus* (Lower Cretaceous deposits of the north of Western Siberia): a — photo of the core in daylight; б — supposed producer-worm [14]; в — morphology of passages in three-dimensional space



Рис. 15. Песчаники проксимальной части фронта дельты, участки с неявно выраженной биотурбацией (*Masaronichnus*). Сравнение коллекторских свойств при наличии и без биотурбации
Fig. 15. Sandstones of the proximal part of the delta front, areas with unclear bioturbation (*Masaronichnus*). Comparison of reservoir properties with and without bioturbation

Литература

1. Барабоскин Е.Ю. Ихнофауна *Scoyenia* в мезозойских отложениях Западной Сибири // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. 2013. Т. 1. С. 66–69.
2. Вялов О.С. Следы жизнедеятельности организмов и их палеонтологическое значение. Киев: Наукова думка, 1966. 220 с.
3. Лебедев М.В., Астафьев Е.В., Храмова А.В. Развитие клиноформной модели нижнего мела севера Западной Сибири на основе принципов секвенс-стратиграфии: новые возможности стратификации // Георесурсы. 2023. Т. 25. № 4. С. 163–175.
4. Микулаш Р., Дронов А. Палеоихнология — введение в изучение ископаемых следов жизнедеятельности. Прага: Геологический институт Академии наук Чешской Республики, 2006. 122 с.
5. Которович А.Э., Ершов С.В., Казаненков В.А., Каргодин Ю.Н. и др. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 5–6. С. 745–776.
6. Рединг Х.Г., Колинсон Дж.Д., Аллен Ф.А. и др. Обстановки осадконакопления и фации: в 2-х т. Т. 1: М.: Мир, 1990. 352 с.
7. Рейнек Г.-Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенного осадконакопления (с рассмотрением кластических осадков).

- М.: Недра, 1981. 439 с.
8. Уолкер Р.Дж., Джеймс Н. Фациальные модели. М.: Ижевск, Институт компьютерных исследований, 2017. 910 с.
 9. Чернова О.С. Литолого-фациальный и формационный анализ нефтегазоносных толщ: Учебное пособие по короткому курсу. Томск: Изд-во ЦППС НД, 2015. 250 с.
 10. Щепеткина А.В., Джинграс М.К., Пембертон С.Д. Распознавание солоновато-водных обстановок осадконакопления с использованием ихнологических данных // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 1. С. 66–88.
 11. Bin Hu, Yuan-Yuan Wang, Hui-Bo Soug, Min Liu. The ichnofacies and ichnoassemblages in terrestrial deposits of China. *Journal of Palaeogeography*, 2014, Vol. 3, issue 1, P. 61–73. (In Eng).
 12. Buatois L.A., Mangano M.G. The paleoenvironmental and paleoecological significance of the lacustrine Mermia ichnofacies: An archetypal subaqueous nonmarine trace fossil assemblage. *Ichnos – an International Journal for Plant and Animal Traces*, 1995, Vol. 4, issue 2, P. 151–161. (In Eng).
 13. Buatois L.A., Mangano M.G. *Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time*. Cambridge University Press, 2011, 370 p. (In Eng).
 14. Knaust D. *Atlas of Trace Fossils in Well Core: Appearance, Taxonomy and Interpretation*. Cham, Switzerland: Springer, 2017, 209 p. (In Eng).
 15. Pemberton S.G., Spila M., Pulham A.J. et al. *Ichnology & sedimentology of shallow marginal marine systems: Ben Nevis & Avalon reservoirs, Jeanne D’Arc Basin*. Geological Association of Canada, 2001, 343 p. (In Eng).
 16. Pemberton S.G., Gingras M.K. Classification and characterizations of biogenically enhanced permeability. *AAPG Bulletin*, 2005, Vol. 89, issue 11, P. 1493–1517. (In Eng).

ENGLISH

Results

Integration of sedimentological and ichnological data allows us to characterize and reconstruct in more detail the conditions and dynamics of sedimentation. Traces Scoyenia, Mermia – typical representatives of continental sedimentation, and Rosselia, Ophiomorpha – representatives of beach coasts, Phycosiphon, Zoophycos – sea creatures.

Conclusions

Many burrow parameters, primarily morphogenesis and burrow connectivity, determine the reservoir potential of the rock. Bioturbation has an ambiguous effect on permeability – some ichnospecies line their

burrows with clay material, they build dead-end, non-communicating tunnels, and also mix clay-sand sediment, which leads to a decrease in the granulometric composition of the rocks and generally leads to a decrease in permeability and deterioration of reservoir properties, however, some sand-vesting ichnospecies build excellent interconnected tunnels; along their passages, decompaction of sediment and a reduced content of clayey material are observed, which has a beneficial effect on permeability. Probably, further observations will make it possible to divide ichnospecies into those that have a positive effect and those that have a negative effect on the permeability of the reservoir and introduce them into computer models of the studied objects.

References

1. Baraboshkin E.Yu. Ichnofacies Scoyenia in Mesozoic deposits of Western Siberia. *Sedimentary basins, sedimentation and postsedimentation processes in geological history*, 2013, Vol. 1, P. 66–69. (In Russ).
2. Vyalov O.S. Traces fossils and their paleontological significance. Kiev: Naukova dumka, 1966, 220 p. (In Russ).
3. Lebedev M.V., Astafiev E.V., Khramtsova A.V. Further development of the lower Cretaceous clinof orm model of the North of West Siberia based on the sequence stratigraphy principles: new possibilities of stratification. *Georesursy*, 2023, Vol. 25, issue 4, P. 163–175. (In Russ).
4. Mikuláš R., Dronov A. *Palaeoichnology – Introduction to the study of trace fossils*. Prague: Institute of geology, Academy of Sciences of Czech Republic, 2006, P. 122. (In Russ).
5. Kontorovich A.E., Ershov S.V., Kazanenkov V.A., Karagodin Yu.N. et al. Cretaceous paleogeography of the West Siberian sedimentary basin. *Geology and geophysics*, 2023, Vol. 55, issue 5–6, P. 745–776. (In Russ).
6. Reading H.G., Collinson J.D., Allen F.A. et al. *Sedimentation settings and facies: in 2 volumes*. Vol. 1. Moscow: Mir, 1990, 352 p. (In Russ).
7. Reineck G.-E., Singh I.B. *Environments of terrigenous sedimentation (with consideration of clastic sediments)*. Moscow: Nedra, 1981, 439 p. (In Russ).
8. Walker R.G., James N.P. *Facies models*. Moscow-Izhevsk: 2017, 910 p. (In Russ).
9. Chernova O.S. *Lithologic-facies and formational analysis of oil and gas bearing strata: A short course tutorial*. Tomsk: CPPS ND, 2015, 250 p. (In Russ).
10. Shchepetkina A.V., Gingras M.K., Pemberton S.G. Reconstruction of brackish-water systems using an ichnological framework. *Geology and geophysics*, 2018, Vol. 59, issue 1, P. 66–88. (In Russ).
11. Bin Hu, Yuan-Yuan Wang, Hui-Bo Soug, Min Liu. The ichnofacies and ichnoassemblages in terrestrial deposits of China. *Journal of Palaeogeography*, 2014, Vol. 3, issue 1, P. 61–73. (In Eng).
12. Buatois L.A., Mangano M.G. The paleoenvironmental and paleoecological significance of the lacustrine Mermia ichnofacies: An archetypal subaqueous nonmarine trace fossil assemblage. *Ichnos – an International Journal for Plant and Animal Traces*, 1995, Vol. 4, issue 2, P. 151–161. (In Eng).
13. Buatois L.A., Mangano M.G. *Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time*. Cambridge University Press, 2011, 370 p. (In Eng).
14. Knaust D. *Atlas of Trace Fossils in Well Core: Appearance, Taxonomy and Interpretation*. Cham, Switzerland: Springer, 2017, 209 p. (In Eng).
15. Pemberton S.G., Spila M., Pulham A.J. et al. *Ichnology & sedimentology of shallow marginal marine systems: Ben Nevis & Avalon reservoirs, Jeanne D’Arc Basin*. Geological Association of Canada, 2001, 343 p. (In Eng).
16. Pemberton S.G., Gingras M.K. Classification and characterizations of biogenically enhanced permeability. *AAPG Bulletin*, 2005, Vol. 89, issue 11, P. 1493–1517. (In Eng).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шафронова Дина Валерьевна, главный специалист,
ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия
Для контактов: dvshafronova@tncn.rosneft.ru

Соколова Ольга Александровна, специалист,
ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

Shafronova Dina Valerievna, chief specialist,
“Tyumen petroleum research center” LLC, Tyumen, Russia
Corresponding author: dvshafronova@tncn.rosneft.ru

Sokolova Olga Alexandrovna, specialist,
“Tyumen petroleum research center” LLC, Tyumen, Russia