

УДК 551.735.11(470.5)

DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-6-818-839

Особенности осадконакопления, стратиграфия и изотопно-геохимическая характеристика верхнетурнейских отложений Верхнеусинского опускания (Полярный Урал)

А. Н. Плотницын, Я. А. Вевель, Д. А. Груздев, Д. Б. Соболев

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54,
e-mail: anplotitsyn@rambler.ru

Поступила в редакцию 22.04.2022 г., принята к печати 16.06.2022 г.

Объект исследований. Верхнетурнейские глинисто-кремнисто-карбонатные отложения разреза среднего течения р. Малая Уса (Полярный Урал). **Материал и методы исследования.** Для установления условий и особенностей осадконакопления комплекса глинисто-кремнисто-карбонатных образований в статье рассматриваются состав и строение пород (50 образцов, 51 шлиф); для биостратиграфического анализа (конодонты, остракоды, фораминиферы) проведена химическая дезинтеграция 13 проб в 7–10%-м растворе уксусной кислоты и изучены шлифы; проанализирован изотопный состав углерода и кислорода из карбонатных отложений (49 проб). Проведен трехступенчатый скрининг-тест образцов для изотопно-геохимических исследований. **Результаты.** Разрез Малая Уса представлен преимущественно микритовыми в различной степени окремненными известняками, насыщенными в разной степени органогенными остатками, от вакстоуна, что указывает на седиментацию в низкодинамических условиях, ниже базиса действия волн. Биостратиграфический анализ базируется на данных определения фораминифер, а также немногочисленных конодонтов и остракод. Фораминиферами охарактеризована зона *Eotextularia diversa*–*Dainella chomatica*, которая приблизительно сопоставима с интервалом конодонтовых зон *Upper typicus*–*anchoralis*–*latus* и остракодовой зоной *Entomoprimitia malinovkaensis*–*Marginia tschigovae* самых верхов турнейского яруса. Изотопно-геохимические данные по разрезу демонстрируют общий тренд, направленный на облегчение изотопного состава углерода вверх по разрезу, что в совокупности с данными биостратиграфии позволило сопоставить последовательность разреза Малая Уса с последовательностями изотопного события TISE из ряда географически разобщенных разрезов мира (Бельгия, Южный Китай, США). **Выводы.** Формирование отложений разреза, вероятно, происходило в условиях весьма пологого склона (рампа), где материал аккумуляровался в подножье в качестве толщи заполнения южной части Коротайхинской внутришельфовой палеовпадины. На примере разреза Малая Уса показано, что значительным корреляционным потенциалом обладают не только пиковые положительные отклонения изотопного события TISE (в верхней части зоны *isosticha* и нижней части зоны *typicus*), но и изотопная картина верхнего турне в целом. Применение изотопно-геохимического метода в совокупности с биостратиграфией позволило уточнить стратиграфический объем разреза с интервала конодонтовых зон *Upper typicus*–*anchoralis*–*latus* до зоны *Upper typicus* стандартной конодонтовой зональной последовательности.

Ключевые слова: карбон, турнейский ярус, конодонты, остракоды, фораминиферы, биостратиграфия, $\delta^{13}\text{C}$, Полярный Урал

Источник финансирования

Исследования проводились в рамках государственного задания по темам 1021062311460-9-1.5.3 и 1021051101644-0-1.5.1

Features of the sedimentation, stratigraphy and carbon isotope record of the upper Tournaisian of the Verkhnyaya Usa depression (Polar Urals)

Artem N. Plotitsyn, Yadviga A. Vevel, Dmitriy B. Sobolev, Denis A. Gruzdev

N.P. Yushkin Institute of Geology Komi SC UB RAS, 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar 167982, Russia,
e-mail: anplotitsyn@rambler.ru

Received 24.04.2022, accepted 16.06.2022

Для цитирования: Плотницын А.Н., Вевель Я.А., Груздев Д.А., Соболев Д.Б. (2022) Особенности осадконакопления, стратиграфия и изотопно-геохимическая характеристика верхнетурнейских отложений Верхнеусинского опускания (Полярный Урал). *Литосфера*, 22(6), 818–839. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-6-818-839>

For citation: Plotitsyn A.N., Vevel Ya.A., Sobolev D.B., Gruzdev D.A. (2022) Features of the sedimentation, stratigraphy and carbon isotope record of the upper Tournaisian of the Verkhnyaya Usa depression (Polar Urals). *Lithosphere (Russia)*, 22(6), 818–839. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-6-818-839>

© А.Н. Плотницын, Я.А. Вевель, Д.А. Груздев, Д.Б. Соболев, 2022

Research subject. Upper Tournaisian clayey-siliceous-carbonate deposits of the Malaya Usa section (Polar Urals). **Material and methods.** The composition and structure of the deposits (50 samples, 51 thin sections) of the section were considered to determine the conditions of sedimentation; 13 samples were chemically disintegrated in 7–10% solution of acetic acid, and thin sections were studied for biostratigraphic analysis (conodonts, ostracods, and foraminifers); the carbon and oxygen isotopic composition of carbonate deposits (49 samples) were analyzed. A three-stage screening test of samples for isotopic studies was carried out. **Results.** The Malaya Usa section comprises mainly micritic limestones with fossils silicified to various degree (wackstone to packstone). The features and composition of the sediments indicate sedimentation in low dynamic conditions below the wave base. Biostratigraphic analysis is based on the identification of foraminifers, as well as a few conodonts and ostracods. Foraminifers characterize the Eotextularia diversa–Dainella chomatica Zone, which is approximately comparable to the Upper typicus–anchoralis–latus conodont zonal interval and Entomoprimitia malinovkaensis–Marginia tschigovae ostracode zones of the top of the Tournaisian. The isotope-geochemical data obtained from the section demonstrate a general lightening trend in the isotopic composition of $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ up the section. This trend, along with the biostratigraphic data, makes it possible to compare the $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ sequence of the Malaya Usa section with sequences from a number of geographically separated sections of the world (Belgium, South China, USA), which are considered as the Tournaisian isotope carbon event (TICE). **Conclusions.** The deposits of the studied section were probably formed under the conditions of a very gentle slope (ramp), where the material accumulated at the foot as a filling sequence in the southern part of the Korotaikha intrashelf paleodepression. Using the Malaya Usa section as an example, it is shown that not only the peak positive deviations of the TICE in the upper part of the isosticha Zone and in the lower part of the typicus Zone, but also the isotopic structure of the upper Tournaisian has a significant correlation potential. The use of the isotope-geochemical method as an auxiliary application to biostratigraphy made it possible to improve the age determination of the section from the interval of the Upper typicus–anchoralis–latus conodont zonal interval to the Upper typicus Zone of the standard conodont zonation.

Keywords: Carboniferous, Tournaisian, conodonts, ostracods, foraminifers, biostratigraphy, $\delta^{13}\text{C}$, Polar Urals

Funding information

This work was fulfilled under the state-financed projects 1021062311460-9-1.5.3 and 1021051101644-0-1.5.1

Acknowledgements

The authors are grateful to T.I. Stepanova (IGG UB RAS, Ekaterinburg) and A.V. Zhuravlev (IG FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar) for consultations; and employees IG FRC Komi SC UB RAS of the A.S. Shuisky and E.M. Tropnikov for photographic images of fossils on SEM; V.L. Andreichev, I.V. Smoleva and the group of isotope geochemistry for making it possible to conduct isotope geochemical studies.

ВВЕДЕНИЕ

Интерес стратиграфических исследований фокусируется главным образом на границах крупных подразделений МСШ (ярусы, отделы, системы). Относительно турнейского яруса наиболее актуальными в настоящее время являются работы, связанные с границей девонской и каменноугольной систем и в меньшей степени с нижней границей визейского яруса. При этом “внутренние части” стратиграфических подразделений, не связанные напрямую с границами, рассматриваются поверхностно либо вообще не принимаются во внимание. Эти проблемы актуальны и для разрезов севера Урала и Приуралья, а также Пай-Хоя (северо-восток европейской части России), где фораминиферами, остракодами и конодонтами наиболее детально охарактеризованы терминальный фамен, нижняя и средняя часть турнейского яруса (Черных, 1976; Журавлев, 2003; Соболев, 2005; Деулин, 2006; Плотцын и др., 2018а; и мн. др.). Верхнее турне в силу ряда причин изучено значительно хуже. Одной из главных причин слабого биостратиграфического обоснования этого стратиграфического интервала является таксономическая бедность палеонтологических ассоциаций, которая,

вероятно, носит событийный характер (Журавлев, Вевель, 2018).

Ранний карбон в целом представлял собой время перехода от парникового девонского климата к ледниковому, которое ознаменовало начало одного из самых протяженных холодных периодов в истории Земли – позднеледникового периода (The Late Paleozoic Ice Age или LPIA) (Montare, 2013; Qie et al., 2019). В турнейском веке отмечается ряд биотических событий различного ранга (Lower Alum shale event или Mid-Tournaisian event, Mid-Aikuanian event) (Ji, 1987; Walliser, 1996; Zhuravlev, 1998; Zhuravlev, Plotitsyn, 2022; и др.) и ряд изотопных $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ аномалий или изотопных событий (P1 и P2 экскурсы, MTICE и TICE) (Yao et al., 2015; Qie et al., 2016; Плотцын, Журавлев, 2020), которые, по всей видимости, являются отражением циклических колебаний ледникового-межледникового на фоне глобального похолодания климата на начальном этапе LPIA (Kalvoda, 1989; Qie et al., 2019).

Верхнее турне характеризуется следами биотического события Mid-Aikuanian и изотопного события TICE (Ji, 1987; Yao et al., 2015), которые известны, в частности, в разрезах Тимано-Североуральского региона (Saltzman et al., 2004;

Журавлев, Вевель, 2018; Zhuravlev, Plotitsyn, 2022). В пределах региона на уровне события Mid-Aikuanian (зона isosticha) наблюдается значительное снижение таксономического разнообразия конодонтов (Ziegler, Lane, 1987; Kalvoda, 1994; Журавлев, 2019; Zhuravlev, Plotitsyn, 2022). При этом относительную стабильность таксономического состава и разнообразие на уровне, приблизительно сопоставимом с конодонтовой зоной isosticha, демонстрируют остракоды и фораминиферы. Значительные изменения в комплексах остракод наблюдаются начиная с уровня основания конодонтовой зоны typicus (Соболев, 2005). Приблизительно с этого же уровня (зоны Spinoendothyrа costifera и Eotextularia diversа–Dainella chomatica) происходит планомерный расцвет фораминифер при явном доминировании турнейских эндотирид (Kalvoda, 1991, 1992).

Верхняя часть турнейского яруса, сопоставимая с интервалом конодонтовых зон isosticha–typicus (=isosticha–Lower crenulata–Upper typicus), во многих разрезах мира характеризуется наличием двух высокоамплитудных положительных экскурсов $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ (см. обзор (Saltzman, Thomas, 2012)), которые рассматриваются в качестве позднетурнейского изотопного события (TICE) (Yao et al., 2015). Позднетурнейская изотопная аномалия хорошо проявлена и считается надежным стратиграфическим репером для независимой от биостратиграфии корреляции естественных разрезов и скважин Тимано-Печорской провинции (Журавлев, Вевель, 2018; Zhuravlev, Plotitsyn, 2022). При этом амплитуда изотопной аномалии демонстрирует фациальную зависимость. Присутствует отчетливый тренд снижения значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ от мелководно-шельфовых фаций к глубоководно-шельфовым (Yao et al., 2015; Журавлев, Вевель, 2018).

Настоящая статья представляет собой результат стратиграфического анализа верхней части турнейского разреза среднего течения р. Малая Уса (далее – разрез Малая Уса) (Верхнеусинское опускание) с применением биостратиграфического (конодонты, остракоды, фораминиферы) и изотопно-геохимического ($\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$) методов. На примере разреза оценивается стратиграфическое значение изотопной структуры позднетурнейской изотопной аномалии (событие TICE) при датировке относительно глубоководных (депрессии в пределах шельфовой области) толщ, убедительность определения стратиграфического объема которых вызывает вопросы. Важно отметить, что ранее со стратиграфической точки зрения турнейские отложения Верхнеусинского опускания характеризовались в общих чертах при обобщающих тематических исследованиях (Чернов, 1962, 1972) и геологическом картировании (см., например, (Шишкин и др., 2013)) либо при исследованиях, охватывающих преимущественно нижнюю и среднюю части яруса

(Плотицын и др., 2018б; Zhuravlev et al., 2020). Таким образом, детальные стратиграфические исследования отложений позднетурнейского возраста Верхнеусинского опускания в данной работе описываются впервые.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В основу статьи положены материалы, полученные авторами в процессе полевых работ в составе геологического отряда Института геологии им. академика Н.П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН на Полярном Урале в 2013 г.

Палеонтологический материал (конодонтовые элементы, раковины остракод) выделялся из нерастворимого остатка карбонатных разностей путем дезинтеграции породы в 7–10%-м растворе уксусной кислоты. Скелетные остатки ископаемых организмов выделялись под бинокулярным микроскопом ЛабоСтеми-4. В общей сложности химической дезинтеграции подвергнуто 13 проб массой 1.0–1.5 кг. Фораминиферы изучались в стандартных литологических шлифах (51 шлиф) при помощи тринокулярного микроскопа OPTITECH XSP-128-301 и цифровой камеры LuckyZoom 5MP USB CMOS.

Для детализации литологической характеристики и седиментологического анализа был изготовлен 51 шлиф. Шлифы изучались под микроскопом ПОЛАМ-215 с цифровой камерой MC-20.

Образцы для изотопного анализа отбирались стальным микробуром.

Разложение карбонатов и измерение изотопного состава углерода и кислорода в режиме непрерывного потока производились на аналитическом комплексе, включающем в себя систему подготовки и ввода проб Gas Bench II, соединенную с масс-спектрометром DELTA V Advantage фирмы Thermo Fisher Scientific (Бремен, Германия). Значения $\delta^{13}\text{C}$ даны в промилле относительно стандарта PDB (Pee Dee Belemnite), $\delta^{18}\text{O}$ – стандарта SMOW (Standard Mean Ocean Water). При калибровке были использованы международные стандарты МАГА-ТЭ NBS18 (calcite) и NBS19 (TS-limestone). Ошибка определения составляет $\pm 0.1\%$. Анализы и изготовление шлифов и пришлифовок проводились в ЦКП “Геонаука” Института геологии им. академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

В процессе проведения изотопно-геохимических исследований в рамках настоящей статьи был осуществлен трехступенчатый скрининг-тест образцов. На предварительном этапе пробоподготовки проводился визуальный осмотр образца, исключались поверхности выветривания и явных постдиagenетических изменений, отбор материала происходил со свежего скола. Важным контролирующим фактором была фиксация следов значительной пе-

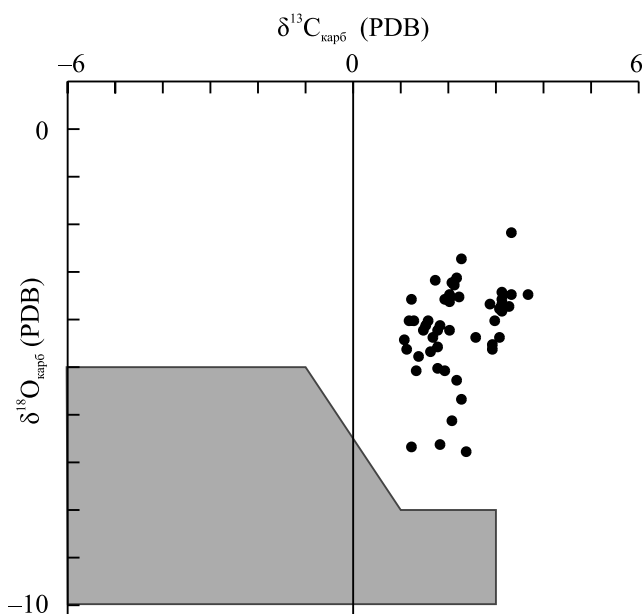


Рис. 1. Диаграмма соотношения изотопного состава $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{карб}}$ в изученных образцах.

На диаграмме серым цветом выделена область значений, характерных для вторичных преобразований карбонатных пород, по (Zhuravlev et al., 2020).

Fig. 1. Bivariate plots of the bulk carbonate $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ in the studied samples.

The field of results of secondary processes in carbonate rocks is gray, by (Zhuravlev et al., 2020).

рекристаллизации и окремнения в шлифах, такие образцы должны попадать в разряд “сомнительных” и, по возможности, исключаться из работы. Далее использовалась составная диаграмма скрининга (Zhuravlev et al., 2020), на которой по соотношению $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{карб}}$ выделяются области, где первичная природа полученного изотопного сигнала маловероятна. Как видно на рис. 1, интерпретируемые данные целиком попадают в область значений с высокой долей вероятности изотопного сигнала как “существенно первичного”. Для составления диаграммы изотопные значения кислорода относительно стандарта SMOW были переведены в стандарт PDB.

ЛИТОЛОГО-ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗА

Рассматриваемый разрез (обн. mu13) расположен в 40 км ВСВ от г. Воркута на левом берегу р. Малая Уса, приблизительно в 300 м ниже по течению от устья руч. Ильяшор (координаты обнажения mu13: 67°34'53.7" N 64°59'58.8" E) (рис. 2). В структурном плане разрез приурочен к западному крылу Илейшорской антиклинали в пределах

Западной структурной зоны Верхнеусинского опускания (Юдин, 1994) или Малоусинской взброс-антиклинали в составе Приоченырдского паравотона (Шишкин и др., 2013).

Разрез турнейского яруса в среднем течении р. Малая Уса представляет собой часть крупного верхнедевонско-нижнекаменноугольного разреза в бассейне р. Малая Уса (север западного склона Полярного Урала). Какое место исследуемый в настоящей статье разрез занимает в общем разрезе в бассейне р. Малая Уса, сказать сложно. Во-первых, отсутствуют опубликованные данные с соответствующей детальностью и набором аналитических методов. Во-вторых, исследуемый в статье разрез расположен в пределах довольно сложной тектонической зоны (Шишкин и др., 2013), что значительно затрудняет составление сводного разреза без использования высокоточных стратиграфических методов.

Далее приводится детальная литолого-палеонтологическая характеристика обн. mu13. Описание ведется снизу вверх по течению реки, вверх по разрезу в нормальной стратиграфической последовательности.

Пачка 1 (обр. mu13-1–mu13-12) (рис. 3). Пере-слаивание известняков биокластовых массивных серого цвета с известняками глинистыми темно-серыми массивными, неотчетливо горизонтально-слоистыми, реже пятнистыми (за счет распределения органического вещества (ОВ) и глинистого материала) (вакстоуны и пакстоуны). Биокластостика представлена обломками и створками раковин остракод, брахиопод, фрагментами известковых водорослей и другим недиагностируемым органическим детритом. Прочие органические остатки характеризуются фораминиферами, кальцисферами, редкими радиоляриями, криноидеями и единичными конодонтовыми элементами. В некоторых литологических разностях отмечено присутствие единичной мелкой литокластике (обр. mu13-2 и mu13-9). Редко литокластостика формирует участки лито-биокластовых известняков в составе биокластовых известняков (обр. mu13-5). Наиболее массивные разности биокластовых известняков содержат от темно-серых до черных конкреции кремней, вплоть до пластовых. Менее массивные разности биокластовых известняков и глинистые известняки обильно насыщены как рассеянным, так отжатым по трещинам и приуроченным к биокластостике ОВ (1.59% $\text{C}_{\text{орг}}$ в известняках (обр. mu13-10)). Среди органических остатков диагностированы единичные конодонтовые S-элементы, предположительно входящие в состав ротового аппарата рода *Hindeodus* Rexroad et Furnish (см.: Rexroad, Varker, 1992); остракоды *Cavellina* spp., *Gliptopleura* sp., *Knoxella* cf. *kummerowi* Zanina; фораминиферы *Parathuramminites obnatus* (Chuvashov), *Ivanovella obruchevica* Stepanova, *Archaeosphaera minima* Suley-

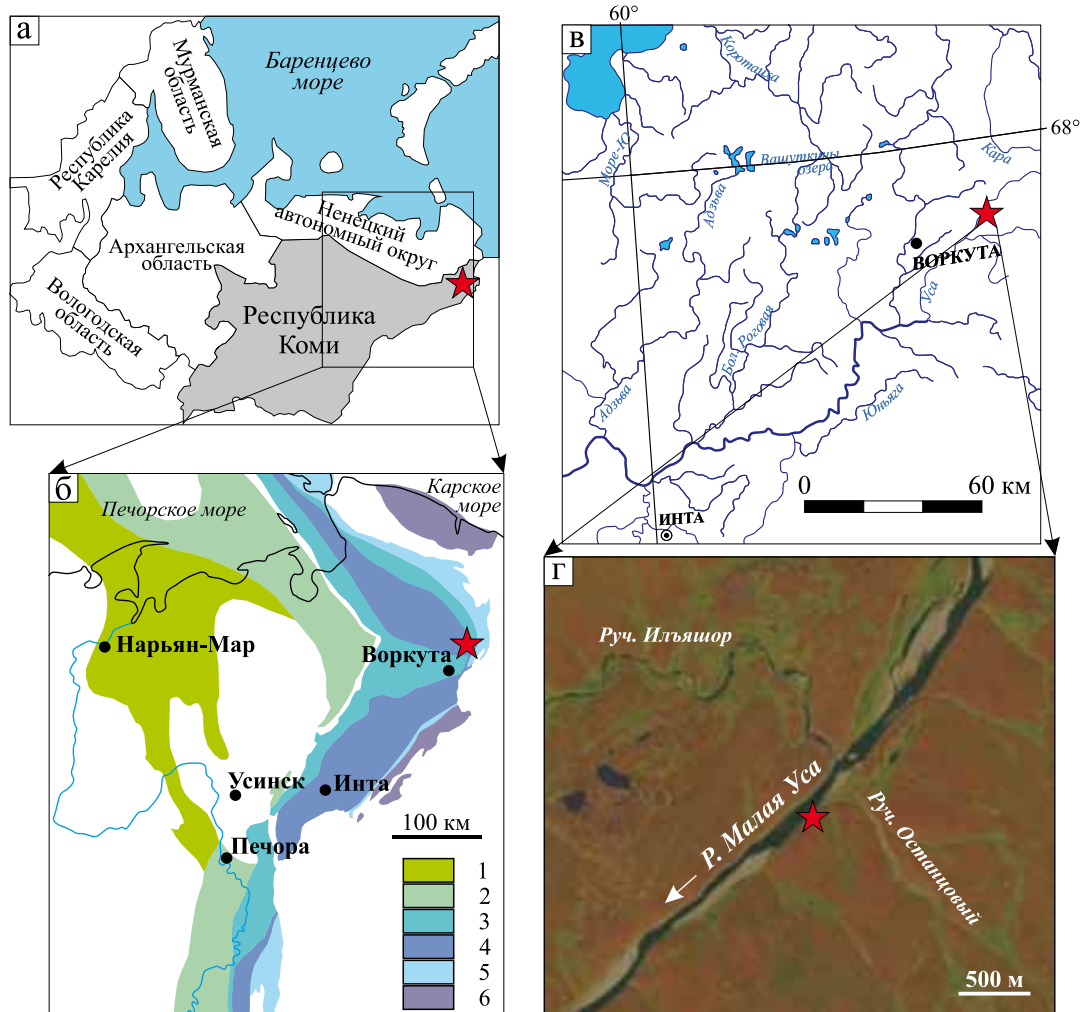


Рис. 2. Схема расположения разреза турнейского яруса в среднем течении р. Малая Уса (Полярный Урал).

а – схема административного районирования севера европейской части России; б – палеогеографическая схема северо-востока Лавруссии для турнейского века, по (Zhuravlev et al., 2020). 1 – низменная суша, 2 – внутренняя часть карбонатной платформы, 3 – внешняя часть карбонатной платформы, 4 – глубоководно-шельфовая впадина, 5 – изолированная карбонатная платформа, 6 – батталь; в – схема расположения района работ; г – схема расположения обн. mul3 в среднем течении р. Малая Уса.

Fig. 2. The location scheme of the upper Tournaisian Malaya Usa section (Polar Urals).

а – scheme of administrative zoning of the north of the European part of Russia; б – paleogeographic map of the northeast of Laurussia for the Tournaisian Age, according to (Zhuravlev et al., 2020). 1 – lowland, 2 – inner part of the carbonate platform, 3 – outer part of the carbonate platform, 4 – deep-water shelf basin, 5 – isolated carbonate platform, 6 – bathyal; в – the location of the study area; г – location map of the mul3 outcrop in the middle reaches of the Malaya Usa River.

manov, *Serginella* sp., *Diplosphaerina* sp., *Tubeporella* sp., *Vicinesphaera squalida* Antropov, *Brunsia spirillinoides* (Grozdilova et Glebovskaia), *Pseudoglomospira* aff. *serenae* (Malakhova), *Tournayella discoidea angusta* Lipina, *Eoforschia gigantea minoris* (Lipina), *Eoforschia moelleri* (Malakhova), *Septabrunsiina* sp., *Brunsiina uralica* Lipina, *Glomospiranella latispiralis* Lipina, *Neobrunsiina finitima* (Grozdilova et Lebedeva), *Pseudoplandoendothyra rotayi* (Dain in Brazhnikova), *Septaglomospiranella karakubensis minima* Brazhnikova et Vdovenko, *S. primaeva kazakh-*

stanica Reitlinger, *Eotextularia*? sp., *Tuberendothyra paraukrainica* (Lipina), *Dainella micula* Postoyalko, *D. chomatica* (Dain in Brazhnikova), *Paradainella* cf. *ovata* Brazhnikova, *Spinoendothyra costifera* (Lipina), *S. kalmiussi* Vdovenko, *S. kosvensis* (Lipina), *S. cf. paracostifera* (Lipina), *Inflatoendothyra* aff. *cuneata* (Malakhova); зеленые водоросли *Kamaena delicata* Antropov и *Kamaena magna* R. Ivanova. Неполная мощность пачки – 3.1 м.

Пачка 2 (обр. mul3-13–mul3-17). Переслаивание пелитоморфных массивных известняков серо-

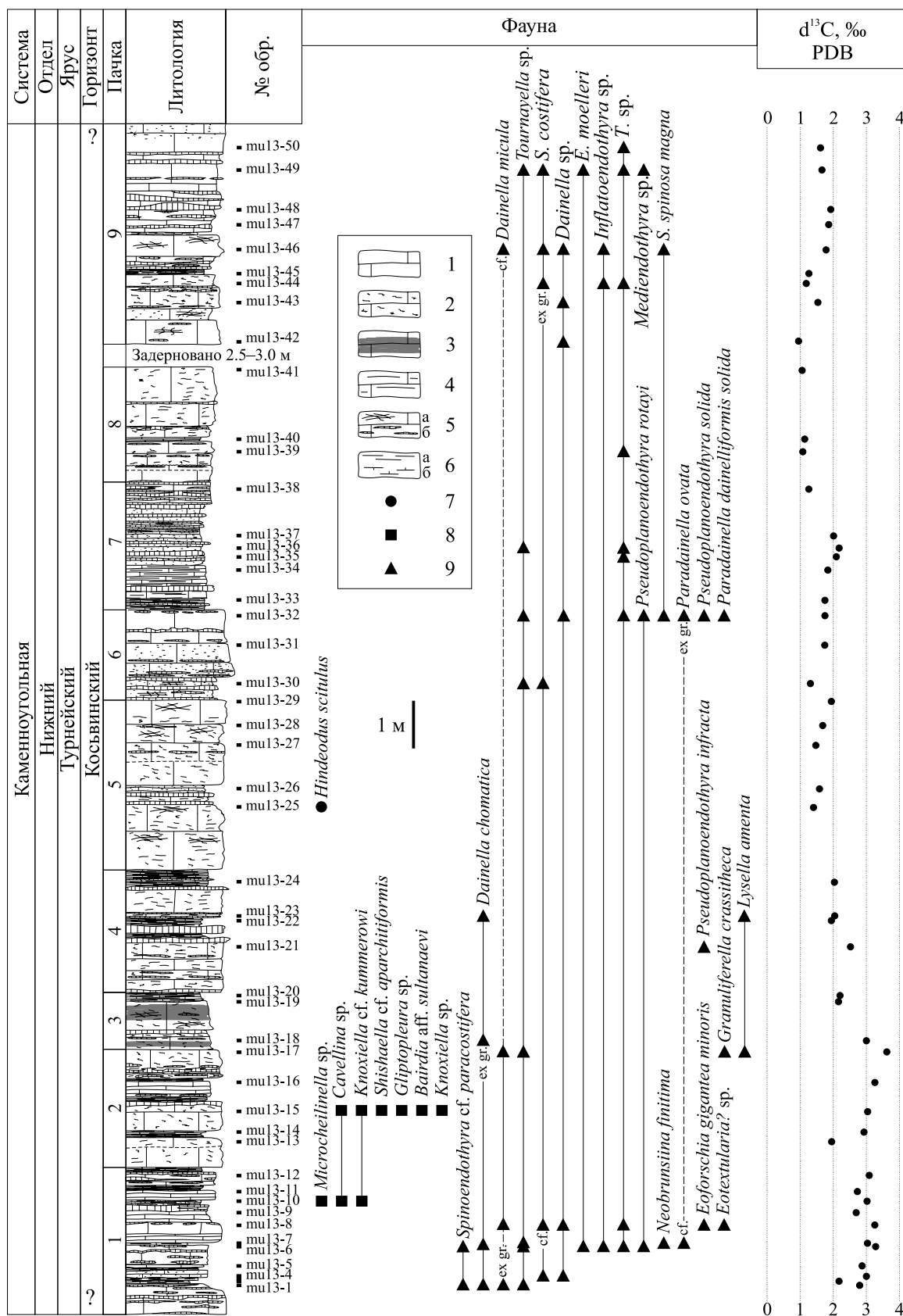


Рис. 3. Литологическая колонка обн. mul3 с распространением основных групп фауны (конодентов, остракод, наиболее стратиграфически важных фораминифер) и распределением изотопных соотношений углерода.

1 – известняк, 2 – известняк с текстурами прохождения газов, 3 – известняк с тонкогоризонтально-слоистой текстурой, 4 – глинистый известняк, 5а – прожилки кальцита, 5б – конкреции и стяжения кремня, 6а – аргиллит, 6б – известковистый аргиллит, 7 – конодонты, 8 – остракоды, 9 – фораминиферы. Сокращения: S. – *Spinoendothyra*, E. – *Eoforshia*, T. – *Tuberendothyra*.

Fig. 3. Log of the mu13 outcrop with the distribution of the main groups of fossils (conodonts, ostracods, the most stratigraphically important foraminifers) and the distribution of carbon isotope ratios.

1 – limestone, 2 – limestone with structures of gas transmission, 3 – thin laminated limestone, 4 – clayey limestone, 5a – calcite streaks, 5b – cherts, cherty concretions, 6a – argillite, 6b – calcareous argillite, 7 – conodonts, 8 – ostracods, 9 – foraminifers. Abbreviations: S. – *Spinoendothyra*, E. – *Eoforshia*, T. – *Tuberendothyra*.

го цвета с темноцветными обильно насыщенными ОВ тонкоплитчатыми биокластовыми известняками (вакстоуны и пакстоуны, с преобладанием последних). Некоторые пелитоморфные известняки содержат большое количество спикул, предположительно, губок (например, обр. mu13-13), вплоть до спикулятов (обр. mu13-16). Пелитоморфные известняки часто характеризуются наличием мелких, нередко извилистых полостей, выполненных кальцитом и вытянутых преимущественно перпендикулярно слоистости, которые интерпретируются в качестве текстур прохождения газов (рис. 4). Аналогичные ходы и каверны, образованные путем сбора и миграции газов, известны из девонских (живетских) черных известняков разреза Meuse Valley в Бельгии (Cloud, 1960). Кальцитовые полости либо равномерно распространены в породе, либо приурочены к кровельным или подошвенным частям слоев. В прикровельных и приподошвенных частях пелитоморфных известняков встречаются конкреции черного кремня. Органические остатки представлены раковинами фораминифер, створками и фрагментами раковин остракод и брахиопод, членами криноидей, кальцисферами, фрагментами водорослей, спикулами губок, редкими скелетными остатками радиолярий. Диагностировать удалось остракод *Bairdia* aff. *sultanaevi* Tkacheva, *Cavellina* sp., *Gliptopleura* sp., *Knoxiella* cf. *kummerowi* Zanina и *Shishaella* cf. *aparchitiformis* Zanina. Фораминиферы характеризуются следующим таксономическим составом: *Ivanovella angulosa* Pronina, *Neoivanovella* sp., *Brunsia* sp., *Pseudoglomospira quadrata* (Malakhova), *Tournayella* sp., *Glomospiranella latispiralis* Lipina, *Septaglomospiranella endothyroides quadriloba* (Dain), *Chernyshinella* ex gr. *glomiformis* (Lipina), *Nodochernyshinella tumulosa* (Lipina), *Granuliferella crassitheca* (Lipina), *Dainella micula* Postoyalko, *Lysella amenta* (Ganelina), *Spinoendothyra* sp. Мощность пачки – 2.5 м.

Пачка 3 (обр. mu13-18–mu13-20). Пелитоморфные массивные или тонкогоризонтально-слоистые известняки серого цвета, часто с текстурами прохождения газов (вакстоуны). Более темноцветные тонкоплитчатые разности характеризуются присутствием биокластики и насыщены ОВ. Известняки трещиноватые. Трещины залечены кальцитом, нередко по ним отжато ОВ. Темно-серые кремнистые

конкреции в виде линз. Доломитизация развита по сутурам или в виде одиночных мелких линз. Органические остатки в тонкослоистых известняках представлены редкими кальцисферами и единичными створками раковин остракод. В остальных литологических разностях пачки наряду с кальцисферами и остракодами отмечаются водоросли, фораминиферы, криноидеи. Определены фораминиферы *Dainella* ex gr. *chomatica* (Dain in Brazhnikova) и *Spinoendothyra* sp. Мощность пачки – 1.2 м.

Пачка 4 (обр. mu13-21–mu13-24). Переслаивание массивных пелитоморфных известняков с примесью биокластики серого цвета, с текстурами прохождения газов и известняков биокластовых, тонкоплитчатых, темно-серых (вак- и пакстоуны), в значительной степени насыщенных ОВ (от 1.07 до 1.68% в обр. mu13-24 и mu13-22 соответственно). Темно-серые до черных кремнистые конкреции в виде линз или крупных пластов мощностью до 20 см. Органические остатки представлены многочисленными обломками и створками раковин брахиопод и остракод. Отмечается присутствие раковин фораминифер, фрагментов водорослей, спикул губок, кальцисфер. Определены фораминиферы *Septabrunsiina elegantula* Vdovenko, *Brunsiina uralica* Lipina, *Pseudoplanoendothyra infracta* Postoyalko, *Septaglomospiranella penduliformis* Vdovenko, *S. (?) subsymmetrica* Vdovenko, *Nodochernyshinella tumulosa* (Lipina), *Dainella chomatica* (Dain in Brazhnikova), *Lysella amenta* (Ganelina), *Spinoendothyra* sp. Мощность пачки – 2.6 м.

Пачка 5 (обр. mu13-25–mu13-29). Мощные (1.4–1.8 м) массивные прослои пелитоморфных известняков серого цвета с текстурами прохождения газов с примесью тонкой и мелкой биокластики разделены относительно маломощными (0.3 м) темно-серыми насыщенными ОВ биокластовыми известняками (вакстоуны и пакстоуны). ОВ пропитывает биокластовые известняки равномерно (например, слой с обр. mu13-26), либо приурочено к органическим остаткам, либо отжато по трещинам и сутурам (слой с обр. mu13-25). Известняки с текстурами прохождения газов часто содержат ксеноморфные конкреции кремней. Для биокластовых разностей характерны пластовые конкреции. Отмечается присутствие единичных разрозненных мелких кристаллов доломита (обр. mu13-25) либо до-

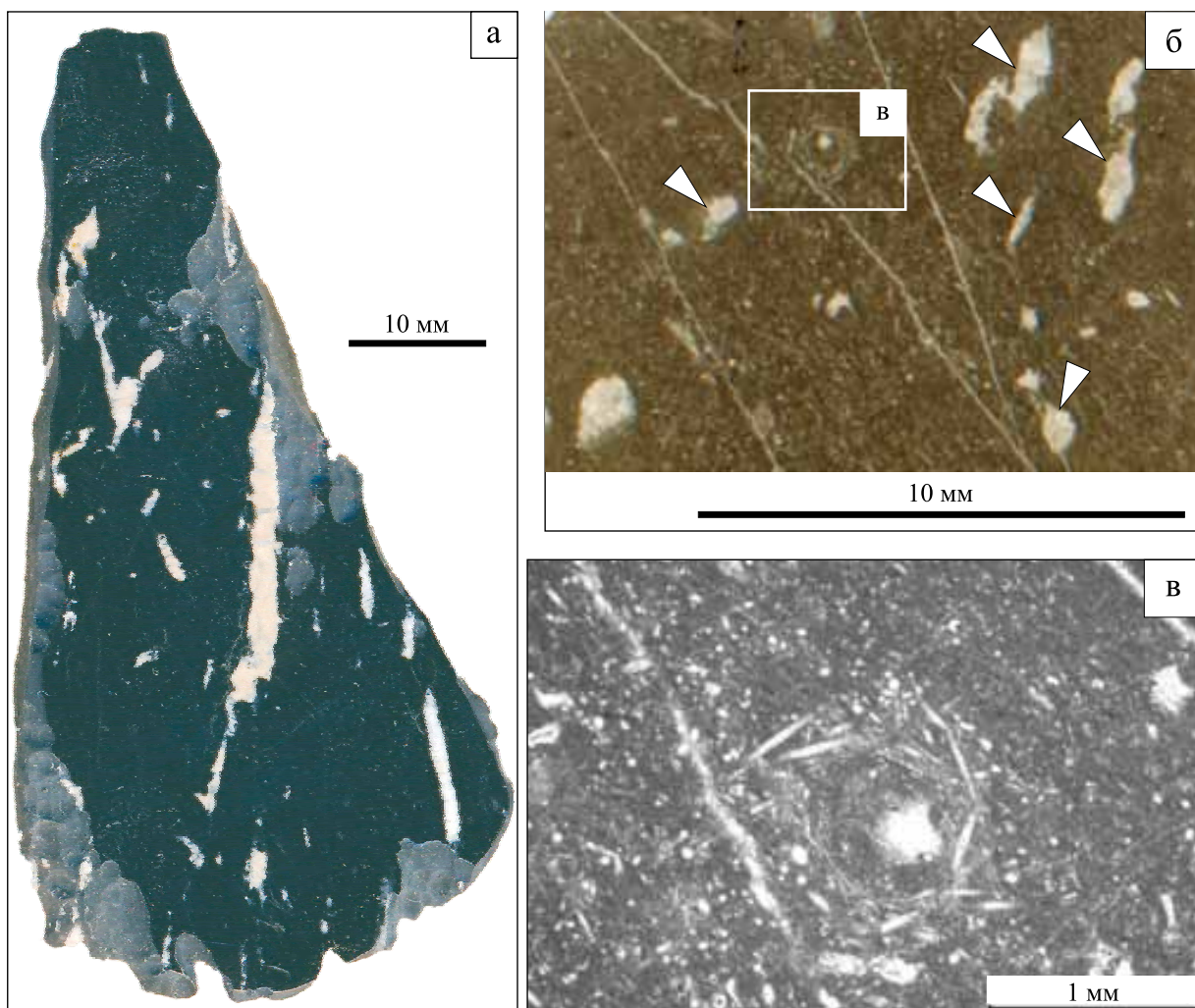


Рис. 4. Пелитоморфные известняки.

а – вакстоун со следами прохождения газов (пришлифовка, обр. mu13-41); б – вакстоун спикуловый, стрелочками отмечены полости, залеченные кристаллическим кальцитом, вероятно, следы прохождения газов (обр. mu13-13); в – следы биотурбации, которые подчеркнуты остатками спикул, образующих скрученные текстуры (обр. mu13-13).

Fig. 4. Pelitomorphic limestones.

а – wackestone with traces of gas transmission (sample mu13-41); б – spicular wackestone, arrows mark cavities filled by crystalline calcite, probably traces of gas transmission (sample mu13-13); в – traces of bioturbation, which are underlined by the spicules forming twisted structures (sample mu13-13).

ломит в виде немногочисленных гнезд, возможно, по кавернам (обр. mu13-29). Органические остатки представлены биокластикой тонкого и шламового размера. Среди более крупных остатков идентифицированы остракоды, брахиоподы, фораминиферы, губки, водоросли, кальцисферы. Определен единственный P1 конодонтовый элемент *Hindeodus scitulus* (Hinde). Диагностированы фораминиферы *Parathuramminites* sp., *Archaeosphaera crassa* Lipina, *Vicinesphaera* sp., *Eotuberitina* sp., *Elenella* sp., *Septaglomospiranella* sp., *Calcisphaera* sp. и зеленые водоросли *Issinella* sp., *Kamaena* sp. Мощность пачки – 3.6 м.

Пачка 6 (обр. mu13-30-mu13-32). Пачка биокластовых массивных известняков серого цвета, в различной степени насыщенных ОВ (наиболее насыщенные ОВ разности известняков содержат около 1% $C_{орг}$). Кремнистые конкреции неправильной формы приурочены преимущественно к прикровельным или приподожвенным частям слоев. Органические остатки характеризуются многочисленными фрагментами или створками раковин брахиопод и остракод, раковинами фораминифер, кальцисферами, фрагментами водорослей. Диагностированы фораминиферы *Brunsia pulchra* Mikhailov, *Tournayella discoidea* Dain, *Eoforshia* sp., *Septa-*

tournayella aff. *questita* (Malakhova), *Septabrunsiina* sp., *Glomospiranella latisspiralis* Lipina, *Pseudoplanoendothyra rotayi* (Dain in Brazhnikova), *P. solida* (Vdovenko), *Septaglomospiranella penduliformis* Vdovenko, *S. cf. postkazakhstanica* Brazhnikova, *Tuberendothyra* ex gr. *tuberculata* (Lipina), *Granuliferella angusta* (Lipina), *Dainella* sp., *Paradainella dainelliformis solida* Brazhnikova et Vdovenko, *P. ex gr. ovata* Brazhnikova, *Spinoendothyra costifera* (Lipina), *S. spinosa magna* (Lipina) и зеленые водоросли *Kamaena minuta* R. Ivanova. В основании пачки известняки сильнотрещиноватые. Трещины залечены кальцитом, или по ним отжато ОБ. Мощность пачки – 1.9 м.

Пачка 7 (обр. му13-33–му13-38). Относительно тонкое (мощность отдельных прослоев от 3 до 15 см, в среднем 10 см) переслаивание пелитоморфных массивных известняков серого цвета с примесью раковинного детрита остракод и брахиопод и биокластовых известняков темно-серого цвета (пакстоуны), насыщенных ОБ. В некоторых биокластовых известняках отмечается присутствие немногочисленной литокластички мелкого размера (обр. му13-33). В прикровельной части пачки – спиккулиты (слой с обр. му13-38). Кремни преимущественно в виде относительно маломощных (от 2–3 до 10 см) пластовых конкреций темно-серого до черного цвета. Органические остатки представлены фрагментами и створками раковин остракод и брахиопод, члениками морских лилий, кальцисферами, раковинами фораминифер и фрагментами водорослей. Фораминиферы характеризуются следующим таксономическим составом: *Tournayella* sp., *Septatournayella* aff. *questita* (Malakhova), *Glomospiranella latisspiralis* Lipina, *Septaglomospiranella* sp., *Laxoendothyra* sp., *Tuberendothyra* sp., *Dainella* cf. *magna* (Vdovenko), *Spinoendothyra* sp. Мощность пачки – 2.7 м.

Пачка 8 (обр. му13-39–му13-41). Переслаивание относительно мощных (от 25 до 75 см) прослоев микритовых известняков с массивной текстурой или текстурами прохождения газов с рассеянным органометным детритом и биокластовых известняков со спиккулами. Единичные литокласты тонкой и мелкой размерности (слой с обр. му13-41). Межслоевая отдельность либо подчеркивается конкрециями черного кремня, либо маркируется сутурами или стиллолитами. Органические остатки представлены фораминиферами, кальцисферами, спиккулами губок и остракодами. Среди фораминифер определены однокамерные *Ivanovella* sp., *Archaeosphaera* sp. и единичные многокамерные *Septaglomospiranella* cf. *plana* Brazhnikova, *Tuberendothyra* sp. Некоторые прослои сильнотрещиноватые. По трещинам, часто сутуровидным, отжато ОБ. Каверны и полости известняков с текстурами прохождения газов выполнены кальцитом или доломитом. Неполная мощность пачки – 2.4 м.

Необнаженный интервал мощностью 2.5–3.0 м.

Пачка 9 (обр. му13-42–му13-50). Пачка массивных биокластовых известняков, в некоторых случаях с текстурами прохождения газов, серого цвета. В отдельных прослоях отмечаются единичные находки оолитов, вероятно перемещенных из более мелководных участков бассейна (слой с обр. му13-44). ОБ отжато по трещинам и/или заполняет пространство между структурными компонентами породы. Нижняя часть пачки более насыщена ОБ (до 1.58% в обр. му13-44). Среди фоссилий отмечены фораминиферы, криноидеи, кальцисферы, водоросли, брахиоподы, остракоды, единичные гастроподы. Ближе к кровельной части пачки в значительной степени увеличивается количество фораминифер. Среди них диагностированы *Parathuramminites cushmani* (Suleymanov), *P. suleimanovi* (Lipina), *Ivanovella* sp., *Brunsia spirillinoides* (Grozilova et Glebovskaia), *Tournayella discoidea* Dain, *Eoforschia moelleri* (Malakhova), *Rectoseptaglomospiranella* cf. *angusta* (Lipina), *Septaglomospiranella* ex gr. *karakubensis* Brazhnikova et Vdovenko, *S. cf. plana* Brazhnikova, *S. cf. postkazakhstanica* Brazhnikova, *Endothyra* ex gr. *superba* Malakhova, *Mediendothyra* sp., *Tuberendothyra* sp., *Globoendothyra* (*Eoglobendothyra*)? sp., *Dainella elegantula* Brazhnikova, *D. cf. magna* (Vdovenko), *D. cf. micula* Postoyalko, *Lysella* sp., *Spinoendothyra costifera* (Lipina), *S. spinosa magna* (Lipina), *Inflatoendothyra parainflata* (Bogush et Yuferev). Неполная мощность пачки – 4.6 м.

Общая мощность разреза в обн. му13 с учетом необнаженного интервала составляет 27.6 м.

Фотоизображения конодонтов, остракод, водорослей и стратиграфически важных фораминифер, диагностированных в разрезе Малая Уса, приведены на рис. 5 и 6.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Условия осадконакопления

Накопление турнейских осадков севера западного склона Урала и Приуралья происходило преимущественно в шельфовых областях С-СВ палеоконтинента Лавруссия в условиях пассивной континентальной окраины (Scotese, 2017). Рельеф морского дна в этой части Лавруссии в позднем девоне–раннем карбоне был довольно изрезанным, о чем свидетельствуют опубликованные ранее палеогеографические схемы и палеоландшафтные профили (Атлас..., 1972; Никонов и др., 2000; Соболев, 2005; Журавлев, 2012; Плотицын и др., 2018а; Груздев, 2021; и др.). Детализация существующих представлений о рельефе морского дна в турнейское время становится возможной только при установлении фациальной приуроченности частных разрезов.

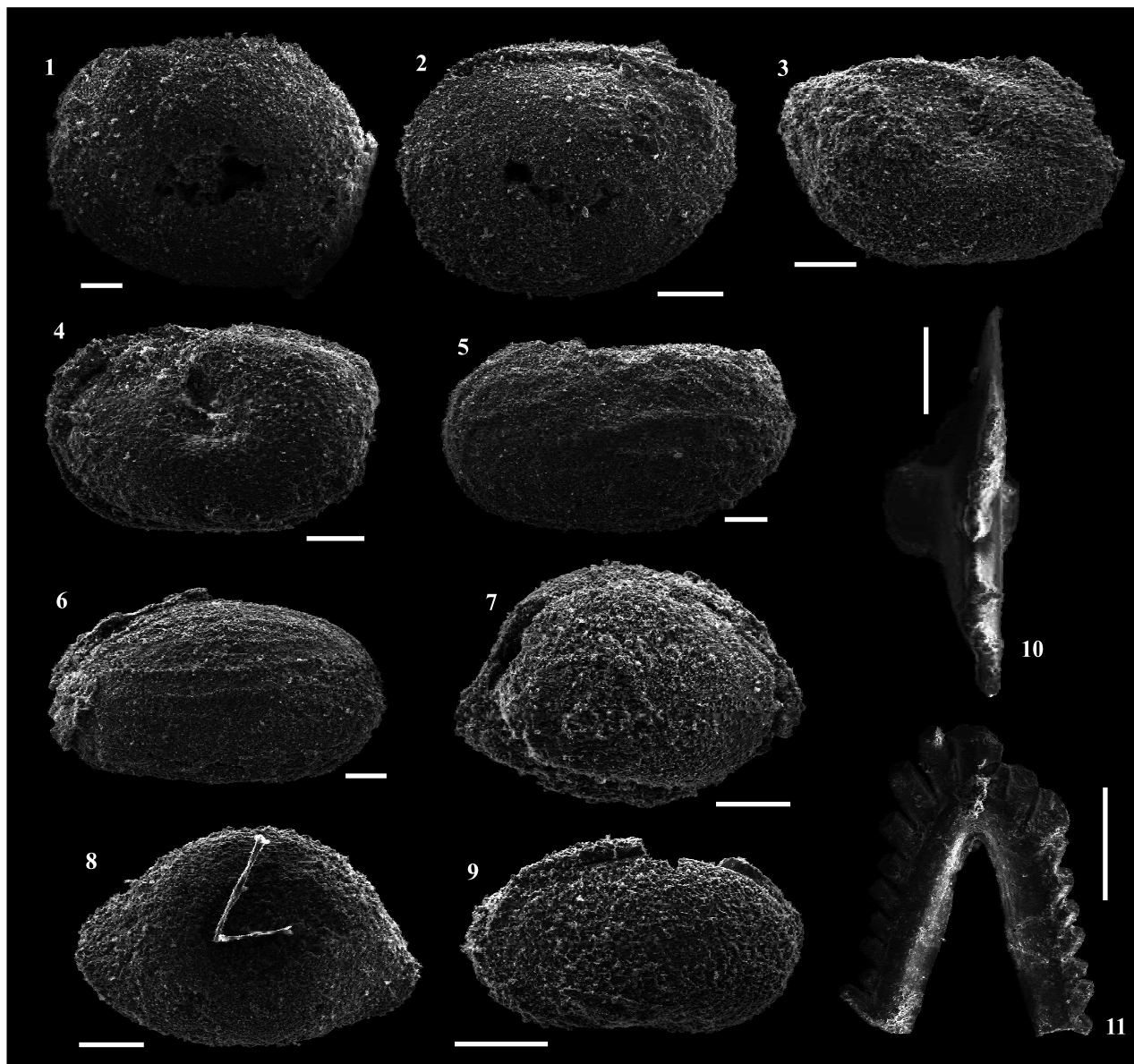


Рис. 5. Остракоды и конодонты из разреза верхнего турне среднего течения р. Малая Уса.

1, 2 – *Shishaella* cf. *aparchitiformis* Zanina, 1971, целая раковина, обр. mu13-15: 1 – колл. № 333/56-15, со стороны правой створки, 2 – колл. № 333/56-9, со стороны левой створки; 3, 4 – *Knoxiella* cf. *kummerowi* Zanina, 1971, целая раковина: 3 – колл. № 333/56-8, со стороны правой створки, обр. mu13-10, 4 – колл. № 333/56-18, со стороны левой створки, обр. mu13-15; 5, 6 – *Gliptopleura* sp., обр. mu13-15: 5 – колл. № 333/56-13, левая створка с внешней стороны, 6 – колл. № 333/56-14, целая раковина со стороны левой створки; 7, 8 – *Bairdia* aff. *sultanaevi* Tkacheva, целая раковина, обр. mu13-15: 7 – колл. № 333/56-10, со стороны правой створки, 8 – колл. № 333/56-12, со стороны левой створки; 9 – *Cavellina* sp., колл. № 333/56-4, целая раковина со стороны левой створки, обр. mu13-10; 10 – *Hindeodus scitulus* (Hinde), обр. mu13-25, колл. № 512/20-9; 11 – S-элемент, предположительно входящий в состав ротового аппарата рода *Hindeodus* Rexroad et Furnish, обр. mu13-4, колл. № 512/20-10. Длина масштабной линейки – 0.2 мм.

Fig. 5. Ostracods and conodonts from the upper Tournaisian of the Malaya Usa middle reaches section.

1, 2 – *Shishaella* cf. *aparchitiformis* Zanina, 1971, articulated shell, sample mu13-15: 1 – coll. No. 333/56-15, from the side of the right valve, 2 – coll. No. 333/56-9, from the side of the left valve; 3, 4 – *Knoxiella* cf. *kummerowi* Zanina, 1971, articulated shell: 3 – coll. No. 333/56-8, from the side of the right valve, sample mu13-10, 4 – coll. No. 333/56-18, from the side of the left valve, sample mu13-15; 5, 6 – *Gliptopleura* sp., sample mu13-15: 5 – coll. No. 333/56-13, left valve from the outer side, 6 – coll. No. 333/56-14, articulated shell from the left valve; 7, 8 – *Bairdia* aff. *sultanaevi* Tkacheva, articulated shell, sample mu13-15: 7 – coll. No. 333/56-10, from the side of the right valve, 8 – coll. No. 333/56-12, from the side of the left valve; 9 – *Cavellina* sp., coll. No. 333/56-4, articulated shell from the left valve, sample mu13-10; 10 – *Hindeodus scitulus* (Hinde), sample mu13-25, coll. No. 512/20-9; 11 – S-element, presumably part of the apparatus of *Hindeodus* Rexroad et Furnish, sample mu13-4, coll. No. 512/20-10. Length of scale bar – 0.2 mm.

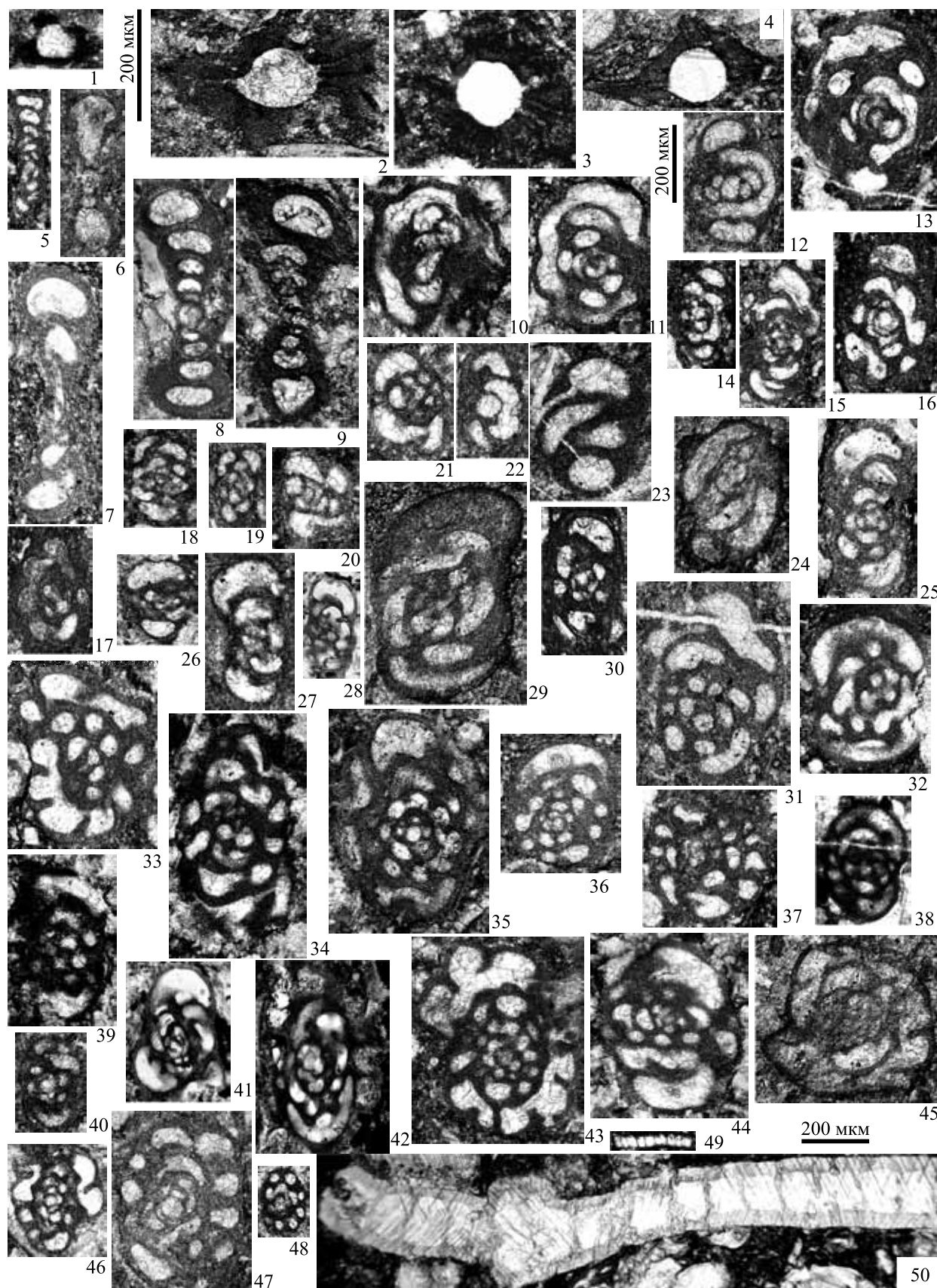


Рис. 6. Наиболее стратиграфически важные фораминиферы и известковые водоросли из верхнетурнейского разреза в среднем течении р. Малая Уса ($\times 100$ – для фиг. 1–4, $\times 70$ – для фиг. 5–48, $\times 60$ – для фиг. 49, 50).

1 – *Ivanovella angulosa* Pronina, 1969, колл. № 393/mul3-17_1, обр. mul3-17; 2 – *Ivanovella obruchevica* Stepanova, 2016, колл. № 393/mul3-8_1, обр. mul3-8; 3 – *Neoivanovella* sp., колл. № 393/mul3-17_2, обр. mul3-17; 4 – *Parathuramminites obnatus* (Chuvashov, 1965), колл. № 393/mul3-8_2, обр. mul3-8; 5 – *Brunsia spirillinoides* (Grozdilova et Glebovskaia, 1948), колл. № 393/mul3-6_1, обр. mul3-6; 6 – *Tournayella discoidea* Dain, 1953, колл. № 393/mul3-8_3, обр. mul3-8; 7 – *Tournayella* sp., колл. № 393/mul3-6_2, обр. mul3-6; 8, 9 – *Eoforschia moelleri* (Malakhova in Dain, 1953): 8 – колл. № 393/mul3-6_3, mul3-6, 9 – колл. № 393/mul3-49_1, обр. mul3-49; 10, 11 – *Glomospiranella subglobosa* (Malakhova, 1956): 10 – колл. № 393/mul3-4_1, обр. mul3-4, 11 – колл. № 393/mul3-6_4, обр. mul3-6; 12 – *Glomospiranella latispiralis* Lipina, 1955, колл. № 393/mul3-8_4, обр. mul3-8; 13 – *Neobrunsiina finitima* (Grozdilova et Lebedeva, 1954), колл. № 393/mul3-7_1, обр. mul3-7; 14 – *Septaglomospiranella endothyroides quadriloba* (Dain, 1953), колл. № 393/mul3-17_3, обр. mul3-17; 15 – *Pseudoplanoendothyra* ex gr. *rotayi* (Dain in Brazhnikova, 1962), колл. № 393/mul3-6_5, обр. mul3-6; 16 – *Pseudoplanoendothyra solida* (Vdovenko, 1954), колл. № 393/mul3-32-s2_1, обр. mul3-32, шлиф 2; 17, 18 – *Septaglomospiranella* cf. *postkazakhstanica* Brazhnikova, 1971: 17 – колл. № 393/mul3-32-s6_1, обр. mul3-32, шлиф 6, 18 – колл. № 393/mul3-42_1, обр. mul3-42; 19 – *Septaglomospiranella karakubensis minima* Brazhnikova et Vdovenko, 1971, колл. № 393/mul3-8_5, обр. mul3-8; 20 – *Chernyshinella* ex gr. *glomiformis* (Lipina, 1948), колл. № 393/mul3-17_4, обр. mul3-17; 21, 22 – *Nodochernyshinella tumulosa* (Lipina, 1955): 21 – колл. № 393/mul3-17_5, 22 – колл. № 393/mul3-17_6, обр. mul3-17; 23 – *Eotextularia* ? sp., колл. № 393/mul3-8_6, обр. mul3-8; 24 – *Laxoendothyra* sp., колл. № 393/mul3-46_1, обр. mul3-46; 25 – *Granuliferella angusta* (Lipina, 1955), колл. № 393/mul3-32-s5_1, обр. mul3-32, шлиф 5; 26 – *Mediendothyra* ? sp., колл. № 393/mul3-49_2, обр. mul3-49; 27–29 – *Tuberendothyra* spp.: 27 – колл. № 393/mul3-39_1, обр. mul3-39, 28 – колл. № 393/mul3-44_1, обр. mul3-44, 29 – колл. № 393/mul3-46_2, обр. mul3-46; 30 – *Eogloboendothyra* ? sp., колл. № 393/mul3-49_3, обр. mul3-49; 31 – *Paradainella ovata* Brazhnikova, 1971 колл. № 393/mul3-8_7, обр. mul3-8; 32 – *Paradainella* ex gr. *ovata* Brazhnikova, 1971, колл. № 393/mul3-32-s4_1, обр. mul3-32, шлиф 4; 33 – *Paradainella dainelliformis solida* Brazhnikova et Vdovenko, 1971, колл. № 393/mul3-32-s5_1, обр. mul3-32, шлиф 5; 34, 35 – *Dainella chomatica* (Dain, 1940): 34 – колл. № 393/mul3-1_1, обр. mul3-1, 35 – колл. № 393/mul3-6_6, обр. mul3-6; 36, 37 – *Dainella* ex gr. *chomatica* (Dain, 1940): 36 – колл. № 393/mul3-32-s5_2, обр. mul3-32, шлиф 5, 37 – колл. № 393/mul3-18_1, обр. mul3-18; 38 – *Dainella* cf. *chomatica* (Dain, 1940), колл. № 393/mul3-23_1, обр. mul3-23; 39, 40 – *Dainella* ex gr. *micula* Postoyalko, 1970: 39 – колл. № 393/mul3-1_2, обр. mul3-1, 40 – колл. № 393/mul3-17_7, обр. mul3-17; 41, 42 – *Dainella elegantula* Brazhnikova, 1962: 41 – колл. № 393/mul3-44_2, 42 – колл. № 393/mul3-44_3, обр. mul3-44; 43 – *Lysella amentia* (Ganelina), 1966, колл. № 393/mul3-17_8, обр. mul3-17; 44 – *Spinoendothyra kosvensis* (Lipina, 1955), колл. № 393/обр. mul3-1; 45 – *Spinoendothyra spinosa* (Chernysheva, 1940), колл. № 393/mul3-46_3, обр. mul3-46; 46 – *Spinoendothyra paracostifera* (Lipina, 1955), колл. № 393/mul3-6_7, обр. mul3-6; 47 – *Inflatoendothyra parainflata* (Bogush et Yuferev, 1970), колл. № 393/mul3-50_1, обр. mul3-50; 48 – *Inflatoendothyra* sp., колл. № 393/mul3-49_4, обр. mul3-49; 49 – *Kamaena minuta* R. Ivanova, 1990, колл. № 393/mul3-30_1, обр. mul3-30; 50 – *Kamaena magna* R. Ivanova, 1988, колл. № 393/mul3-6_8, обр. mul3-6.

Fig. 6. The most stratigraphically important foraminifers and calcareous algae from the upper Tournaisian of the Malaya Usa section (×100 magnification for Figs 1–4, ×70 for Figs 5–48, ×60 for Figs 49, 50).

1 – *Ivanovella angulosa* Pronina, 1969, coll. No. 393/mul3-17_1, sample mul3-17; 2 – *Ivanovella obruchevica* Stepanova, 2016, coll. No. 393/mul3-8_1, sample mul3-8; 3 – *Neoivanovella* sp., coll. No. 393/mul3-17_2, sample mul3-17; 4 – *Parathuramminites obnatus* (Chuvashov, 1965), coll. No. 393/mul3-8_2, sample mul3-8; 5 – *Brunsia spirillinoides* (Grozdilova et Glebovskaia, 1948), coll. No. 393/mul3-6_1, sample mul3-6; 6 – *Tournayella discoidea* Dain, 1953, coll. No. 393/mul3-8_3, sample mul3-8; 7 – *Tournayella* sp., coll. No. 393/mul3-6_2, sample mul3-6; 8, 9 – *Eoforschia moelleri* (Malakhova in Dain, 1953): 8 – coll. No. 393/mul3-6_3, mul3-6, 9 – coll. No. 393/mul3-49_1, sample mul3-49; 10, 11 – *Glomospiranella subglobosa* (Malakhova, 1956): 10 – coll. No. 393/mul3-4_1, sample mul3-4, 11 – coll. No. 393/mul3-6_4, sample mul3-6; 12 – *Glomospiranella latispiralis* Lipina, 1955, coll. No. 393/mul3-8_4, sample mul3-8; 13 – *Neobrunsiina finitima* (Grozdilova et Lebedeva, 1954), coll. No. 393/mul3-7_1, sample mul3-7; 14 – *Septaglomospiranella endothyroides quadriloba* (Dain, 1953), coll. No. 393/mul3-17_3, sample mul3-17; 15 – *Pseudoplanoendothyra* ex gr. *rotayi* (Dain in Brazhnikova, 1962), coll. No. 393/mul3-6_5, sample mul3-6; 16 – *Pseudoplanoendothyra solida* (Vdovenko, 1954), coll. No. 393/mul3-32-s2_1, sample mul3-32, thin section 2; 17, 18 – *Septaglomospiranella* cf. *postkazakhstanica* Brazhnikova, 1971: 17 – coll. No. 393/mul3-32-s6_1, sample mul3-32, thin section 6, 18 – coll. No. 393/mul3-42_1, sample mul3-42; 19 – *Septaglomospiranella karakubensis minima* Brazhnikova et Vdovenko, 1971, coll. No. 393/mul3-8_5, sample mul3-8; 20 – *Chernyshinella* ex gr. *glomiformis* (Lipina, 1948), coll. No. 393/mul3-17_4, sample mul3-17; 21, 22 – *Nodochernyshinella tumulosa* (Lipina, 1955): 21 – coll. No. 393/mul3-17_5, 22 – coll. No. 393/mul3-17_6, sample mul3-17; 23 – *Eotextularia* ? sp., coll. No. 393/mul3-8_6, sample mul3-8; 24 – *Laxoendothyra* sp., coll. No. 393/mul3-46_1, sample mul3-46; 25 – *Granuliferella angusta* (Lipina, 1955), coll. No. 393/mul3-32-s5_1, sample mul3-32, thin section 5; 26 – *Mediendothyra* ? sp., coll. No. 393/mul3-49_2, sample mul3-49; 27–29 – *Tuberendothyra* spp.: 27 – coll. No. 393/mul3-39_1, sample mul3-39, 28 – coll. No. 393/mul3-44_1, sample mul3-44, 29 – coll. No. 393/mul3-46_2, sample mul3-46; 30 – *Eogloboendothyra* ? sp., coll. No. 393/mul3-49_3, sample mul3-49; 31 – *Paradainella ovata* Brazhnikova, 1971 coll. No. 393/mul3-8_7, sample mul3-8; 32 – *Paradainella* ex gr. *ovata* Brazhnikova, 1971, coll. No. 393/mul3-32-s4_1, sample mul3-32, thin section 4; 33 – *Paradainella dainelliformis solida* Brazhnikova et Vdovenko, 1971, coll. No. 393/mul3-32-s5_1, sample mul3-32, thin section 5; 34, 35 – *Dainella chomatica* (Dain, 1940): 34 – coll. No. 393/mul3-1_1, sample mul3-1; 35 – coll. No. 393/mul3-6_6, sample mul3-6; 36, 37 – *Dainella* ex gr. *chomatica* (Dain, 1940): 36 – coll. No. 393/mul3-32-s5_2, sample mul3-32, thin section 5, 37 – coll. No. 393/mul3-18_1, sample mul3-18; 38 – *Dainella* cf. *chomatica* (Dain, 1940), coll. No. 393/mul3-23_1, sample mul3-23; 39, 40 – *Dainella* ex gr. *micula* Postoyalko, 1970: 39 – coll. No. 393/mul3-1_2, sample mul3-1, 40 – coll. No. 393/mul3-17_7, sample mul3-17; 41, 42 – *Dainella elegantula* Brazhnikova, 1962: 41 – coll. No. 393/mul3-44_2, 42 – coll. No. 393/mul3-44_3, sample mul3-44; 43 – *Lysella amentia* (Ganelina), 1966, coll. No. 393/mul3-17_8, sample mul3-17; 44 – *Spinoendothyra kosvensis* (Lipina, 1955), coll. No. 393/sample mul3-1; 45 – *Spinoendothyra spinosa* (Chernysheva, 1940), coll. No. 393/mul3-46_3, sample mul3-46; 46 – *Spinoendothyra paracostifera* (Lipina, 1955), coll. No. 393/mul3-6_7, sample mul3-6; 47 – *Inflatoendothyra parainflata* (Bogush et Yuferev, 1970), coll. No. 393/mul3-50_1, sample mul3-50; 48 – *Inflatoendothyra* sp., coll. No. 393/mul3-49_4, sample mul3-49; 49 – *Kamaena minuta* R. Ivanova, 1990, coll. No. 393/mul3-30_1, sample mul3-30; 50 – *Kamaena magna* R. Ivanova, 1988, coll. No. 393/mul3-6_8, sample mul3-6.

Разрез Малая Уса сложен преимущественно микритовыми известняками, насыщенными в разной степени органическими остатками, от вакстоуна до

пакстоуна (рис. 7), что указывает на седиментацию в низкодинамичных условиях, ниже базиса действия волн, способствовавших осаждению микри-

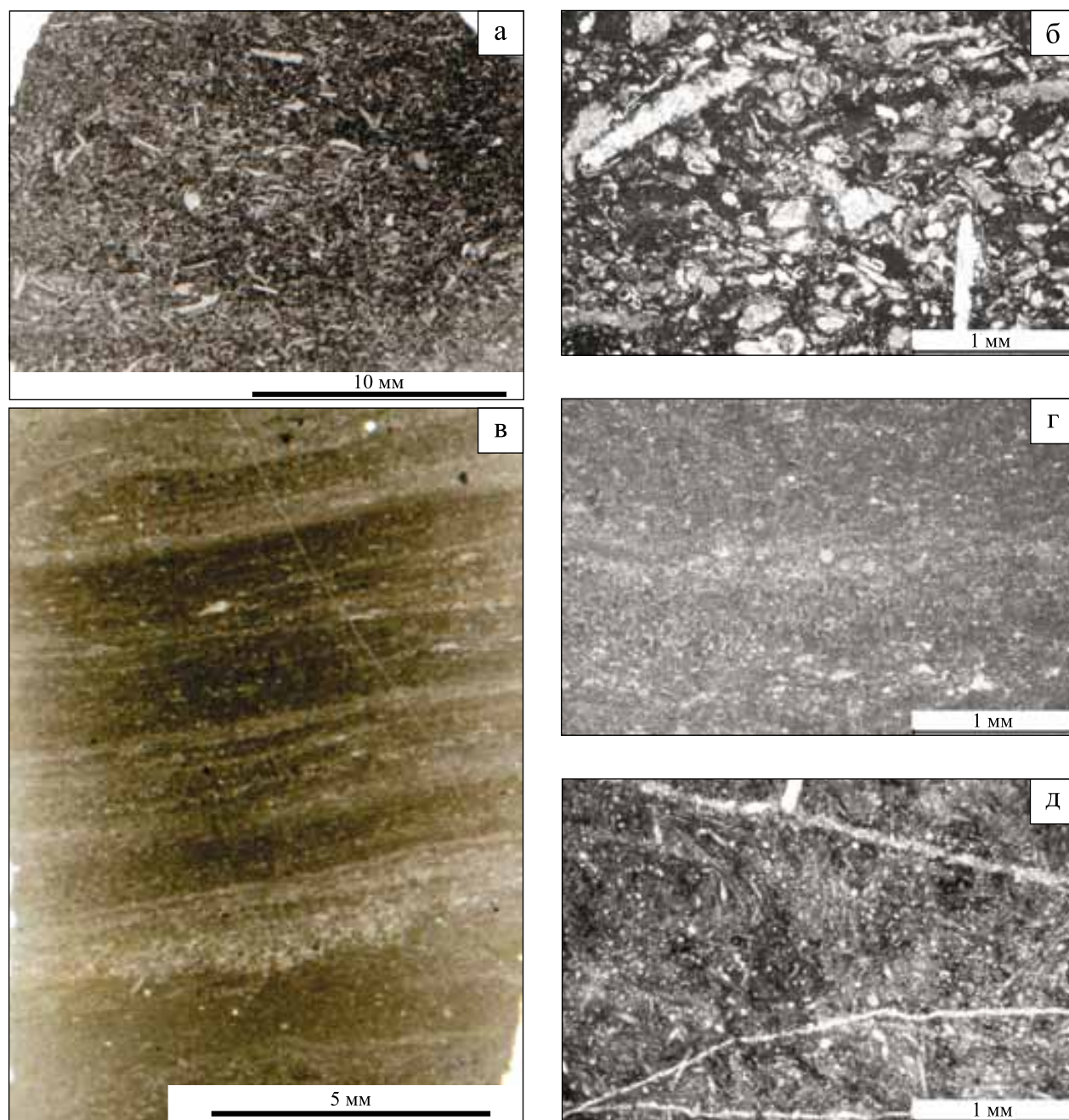


Рис. 7. Характерные литотипы верхнетурнейского разреза в среднем течении р. Малая Уса.

а – пакстоун, общий вид шлифа (обр. mu13-9); б – пакстоун, микрофотография шлифа (обр. mu13-9); в – микрослоистый мад-вакстоун, чередование слоев обусловлено распределением детрита, общий вид шлифа (обр. mu13-19); г – вакстоун, микрофотография шлифа (обр. mu13-19); д – вакстоун спикуловый, общий вид шлифа (обр. mu13-38).

Fig. 7. Main lithotypes from the upper Tournaisian of the Malaya Usa section.

а – packstone, general view of thin section (sample mu13-9); б – packstone, micrograph of thin section (sample mu13-9); в – thin section of mud-wackstone, the alternation of layers is due to the distribution of detritus, general view of the thin section (sample mu13-19); г – wackstone, micrograph of a thin section (sample mu13-19); д – spicular wackstone, general view of thin section (sample mu13-38).

та. Форменные элементы представлены биокластическим материалом, иногда относительно сортированным (обр. mu13-10), но большей частью это лом раковин брахиопод, остракод, фрагменты известковых водорослей, членики криноидей, спикулы губок, вплоть до шламовой размерности. При этом характерно практически полное отсутствие целых раковин, что свидетельствует об аллохтонной природе форменных элементов. В ряде случаев заметна ориентировка биокластов, однако в подавляющем большинстве она отсутствует или слабо проявлена. Наличие текстур прохождения газов, вероятно, как результат окисления органики в совокупности с относительно большой мощностью разреза позволяет предположить высокие скорости накопления и захоронения осадков.

Специфика состава, структурные и текстурные особенности указывают на то, что формирование осадков, скорее всего, происходило в условиях весьма пологого склона (рампа) при постепенном сползании накопившегося мелкого и тонкого биокластового материала с одновременной садкой микрита. Материал аккумуляровался в подножье подводного склона в качестве толщи заполнения внутришельфовой впадины (южная часть Коротаихинской палеовпадины), которая, аналогично Кожимской палеовпадине, начала свое формирование во франском веке (Груздев, 2021). В турнейское время южная часть Коротаихинской палеовпадины активно заполняется, о чем свидетельствуют аномально высокие мощности турне в северной части Полярного Урала (верхнее течение р. Малая Уса). По авторским данным, общая мощность турнейского яруса в бассейне верхнего течения р. Малая Уса составляет более 400 м. При этом аналогичные глубоководно-шельфовые турнейские образования в пределах Кожимской палеовпадины имеют мощность порядка 200 м (см. outcrop 1 и 2 в (Sobolev et al., 2000)). В частности, среднетурнейская часть (в объеме конодонтовых зон *S. quadruplicata*–*S. crenulata*) разреза верхнего течения р. Малая Уса имеет мощность более 40 м (Плотицын и др., 2018). На р. Кожим отложения аналогичного стратиграфического интервала имеют мощность около 20 м (Плотицын, Вевель, 2019). Верхнетурнейская часть разреза (в объеме конодонтовых зон *S. isosticha*–*Sc. anchoralis*) верхнего течения р. Малая Уса имеет мощность, вероятно, более 200 м. Рассматриваемый в статье разрез среднего течения р. Малая Уса имеет литологически идентичный разрезу верхнего течения р. Малая Уса облик и, вероятно, характеризуется идентичными условиями формирования.

Биостратиграфия

Биостратиграфическая датировка обн. mu13 основывается на данных определения остатков конодонтов, остракод и фораминифер.

Единичные конодонтовые элементы мало информативны при проведении биостратиграфического расчленения и датировке разреза. *Hindeodus scitulus* (Hinde) известен от средней части турнейского яруса (зона *Lower crenulata*) (Draganits et al., 2002) до серпуховского яруса (Rexroad, Thompson, 1979). Информация о первом появлении вида подтверждается и в региональных последовательностях внутри зоны *S. quadruplicata* или зоны *S. crenulata* (основания зон совпадают или почти совпадают с основанием зоны *Lower crenulata*) (см., например, (Журавлев, 2007; Плотицын и др., 2018)). В качестве вероятных причин немногочисленности конодонтов в разрезе могут быть последствия биотического события *Mid-Aikuanian*, которые привели к кризису в биоразнообразии фауны конодонтов (Zhuravlev, Plotitsyn, 2022). Общий тренд снижения таксономического разнообразия сохраняется вплоть до нижнего визе (Журавлев, 2019; Zhuravlev, Plotitsyn, 2022). Необходимо принимать во внимание и высокие мощности турнейского яруса в этом районе относительно близкофациальных разрезов смежных районов. При повышенных скоростях седиментации концентрации скелетных остатков ископаемых нектонно-планктонных организмов будут существенно ниже, нежели в разрезах с нормальным осадконакоплением.

Из нижней части разреза выделен комплекс остракод низкой степени сохранности. По наличию таксонов рода *Gliptopleura* с хорошо развитой ребристостью можно предположить, что возраст вмещающих отложений моложе раннетурнейского. Кроме того, комплекс содержит *Knoxiella* cf. *kummerowi* Zanina, характерного для зоны *Pseudoleperditia ultima*–*Bairdia tetraknobia*–*Richterina postlatoi* Уральской схемы (Стратиграфические схемы..., 1993) или зоны *Glyptopleura kiselensis*–*Shishaella ventriosa* схемы Русской платформы (Решение..., 1990). Выше по разрезу в комплексе остракод появляются таксоны *Bairdia* aff. *sultanaevi* Tkatscheva и *Shishaella* cf. *aparchitiformis* (Zanina), характерные для зоны *Coryellina reitlingerae*–*Marginia tschigovae*–*Bairdia sultanaevi* Южного Урала (Стратиграфические схемы..., 1993) или зоны *Entomoprimitia malinovkaensis*–*Marginia tschigovae* схемы Русской платформы (Решение..., 1990).

Наиболее многочисленны в таксономическом и количественном плане и, как следствие, показательны с биостратиграфической точки зрения фораминиферы. Комплекс фораминифер характеризуется преимущественно позднетурнейским родовым составом. Встречаются однокамерные формы – представители родов *Parathuramminites*, *Ivanovella*, *Archaeosphaera*, *Eotuberitina*. На отдельных уровнях эти фораминиферы преобладают. В комплексе в целом присутствуют брунсии (*Brunsia* sp., *B. spirillinoides* (Grozdilova et

Glebovskaia)), гломоспиранеллы (*Glomospiranella* sp., *G. latispiralis* Lip.), среди турнейеллид – *Tournayella* sp., *T. discoidea* Dain, *T. discoidea angusta* Lipina, септатурнейеллы, эофоршии (*Eoforschia gigantea minoris* (Lipina), *E. moelleri* (Malakhova)) также септагломоспиранеллы – *Septaglomospiranella primaeva kazakhstanica* Reitlinger, *S. cf. postkazakhstanica* Brazhnikova, *S. penduliformis* Vdovenko, *S. cf. plana* Brazhnikova, *Septaglomospiranella karakubensis minima* Brazhnikova et Vdovenko, *S. endothyroides quadriloba* (Dain). Встречаются *Brunsiina uralica* Lipina, чернышинеллы, редкие септабрунсиины, *Neobrunsiina finitima* (Grozdilova et Lebedeva), *Pseudoplanoendothyra rotayi* (Dain in Brazhnikova), *P. solida* (Vdovenko). Часто наблюдаются представители группы *Spinoendothyra paracostifera* (Lipina), *S. costifera* (Lipina), *S. kosvensis* (Lipina), инфлатоэндоитеры, туберэндоитеры. Редко встречаются *Granuliferella crassitheca* (Lipina), *G. angusta* (Lipina), а также *Paradainella ex gr. ovata* Brazhnikova, *Paradainella dairelliformis solida* Brazhnikova et Vdovenko. Среди лебликиид преобладают некрупные дайнеллы группы *Dainella micula* Postoyalko, *D. chomatica* (Dain), выше появляются *D. elegantula* Brazhnikova, *Dainella cf. magna* (Vdovenko), *Lysella* sp., *L. amentata*

(Ganelina). В верхах разреза встречаются крупные деформированные *Tuberendothyra* sp., *Mediendothyra* sp., *Globoendothyra* (*Eogloboendothyra*) ? sp.

Комплекс соответствует зоне *Eotextularia diversa*–*Dainella chomatica* (Кулагина, Гибшман, 2005; Степанова, 2015, 2016; Кулагина и др., 2018) по наличию одного из видов-индексов *Dainella chomatica*, а также *Dainella micula*, *Lysella amentata* (Ganelina), *Pseudoplanoendothyra*, *Neobrunsiina finitima* (Grozdilova et Lebedeva), несмотря на отсутствие в разрезе характерных видов *Eotextularia diversa*, *Tetrataxis* sp., *Dariella monilis* и др. Зона *Eotextularia diversa*–*Dainella chomatica*, согласно данным Е.И. Кулагиной с соавторами (2018), сопоставима с нижней частью косвинского горизонта Восточно-Европейской платформы и Урала.

Таким образом, полученные в результате биостратиграфического анализа данные позволяют датировать разрез самыми верхами турнейского века (зона *Eotextularia diversa*–*Dainella chomatica* по фораминиферам), которые по объему приблизительно сопоставимы с конодонтовыми зонами *Upper typicus*–*anchoralis*–*latus* стандартной зональной шкалы (Lane et al., 1980) и остракодовой зоной *Entomoprimitia malinovkaensis*–*Marginia tschigovae* (Решение..., 1990) (рис. 8).

Система	Ярус	Изотопные аномалии по углероду (Qie et al., 2016; Плотыцын, Журавлев, 2020)	Конодонты		Фораминиферы	Остракоды		
			(Sandberg et al., 1978; Lane et al., 1980)	(Zhuravlev et al., 2021; Zhuravlev, Plotitsyn, 2022)	(Кулагина и др., 2018; Kulagina et al., 2021)	(Решение..., 1990)	(Стратиграфические схемы..., 1993)	
Каменноугольная	Турнейский		anchoralis – latus	Sc. anchoralis	Eotextularia diversa – Dainella chomatica	Entomoprimitia malinovkaensis – M. tschigovae	Cor. reitlingerai – M. tschigovae – B. sultanaevi	Grammia elongata
		TICE	Upper typicus	Gn. typicus				
			Lower typicus					
			isosticha – Upper crenulata	S. isosticha	Palaeospiroplectamina tchernyshinensis	Gl. kiselensis – Shish. ventriosa	Ps. ultima – B. tetraknobia – R. postlator	
		MTICE	Lower crenulata	S. crenulata				
		P2	sandbergi	S. quadruplicata	Chernyshinella disputabilis			
				S. sandbergi				
			Upper duplicata	S. wilberti	Earlandia minima			
			Lower duplicata	S. duplicata				
						S. bransoni		
		P1	sulcata	S. sulcata		Tournayellina pseudobeata – доживающие Quasiendothyra		

Рис. 8. Стратиграфическая схема сопоставления зональных шкал по конодонтам, фораминиферам, остракодам и последовательности изотопных аномалий для турнейского яруса.

Серым отмечены стратиграфические интервалы, которые характеризуют встречающиеся в разрезе комплексы конодонтов, фораминифер и остракод. Сокращения: S. – Siphonodella, Gn. – Gnathodus, Sc. – Scaliognathus, R. – Richterina, Ps. – Pseudoleperditia, Shiv. – Shivaella, Shish. – Shishaella, Gl. – Glyptopleura, M. – Marginia, Cor. – Coryellina, B. – Bairdia.

Fig. 8. Correlation of the Tournaisian conodont, foraminiferal and ostracod zonations and sequence of carbon isotope shifts.

The stratigraphic intervals, which characterize the assemblages of conodonts, foraminifers, and ostracods encountered in the Malaya Usa section are in gray. Abbreviations: S. – Siphonodella, Gn. – Gnathodus, Sc. – Scaliognathus, R. – Richterina, Ps. – Pseudoleperditia, Shiv. – Shivaella, Shish. – Shishaella, Gl. – Glyptopleura, M. – Marginia, Cor. – Coryellina, B. – Bairdia.

Изотопная геохимия

Значения изотопных соотношений углерода колеблется от 0.98 (в обр. mu13-42) до 3.61‰ (обр. mu13-17) (табл. 1). Значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ распределе-

ны по разрезу неравномерно (см. рис. 3). В нижней части в интервале обр. mu13-1–mu13-18 значения $\delta^{13}\text{C}$ колеблются в пределах 3‰ (2.7–3.6‰), за исключением единичных отрицательных отклонений (1.97‰ в обр. mu13-13). В средней и верх-

Таблица 1. Изотопный состав и содержание органического углерода в карбонатных породах верхнетурнейского разреза Малая Уса

Table 1. Isotopic composition and organic carbon content in carbonate rocks of the upper Tournaisian Malaya Usa section

№ пробы	Литология	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\text{C}_{\text{орг}}$
mu13-1	Пак-вакстоун	2.82	27.18	1.59
mu13-2	Пакстоун	2.28	24.02	
mu13-4	—	3	27.12	
mu13-5	Пакстоун	2.84	26.33	
mu13-6	От пакстоуна к флоатстоуну	3.24	28.75	
mu13-7	Пакстоун	3.03	27.19	
mu13-8	—	3.21	27.13	
mu13-9	Вак-пакстоун	2.72	27.06	
mu13-10	Пакстоун	3.03	27.05	
mu13-11	Вакстоун низ, пакстоун верх	2.84	26.23	
mu13-12	Вакстоун	3.07	27.32	0.86
mu13-13	Вакстоун, спикулит	1.97	27.26	
mu13-14	Пакстоун	2.92	26.84	
mu13-15	—	3.05	27.47	
mu13-16	—	3.23	27.39	
mu13-17	—	3.61	27.38	
mu13-18	Вак-пакстоун	3	26.5	
mu13-19	Вакстоун	2.15	27.33	
mu13-20	—	2.19	25.12	
mu13-21	Пакстоун	2.51	26.48	1.68
mu13-22	Вакстоун	1.98	24.68	
mu13-23	—	2.09	25.57	
mu13-24	Пакстоун	2.04	27.63	
mu13-25	Пак-вакстоун	1.39	26.65	
mu13-26	Пакстоун	1.55	26.17	
mu13-27	Вакстоун	1.45	26.76	
mu13-28	—	1.71	26.63	
mu13-29	—	1.95	26.63	
mu13-30	Пакстоун	1.3	26.09	1.02
mu13-31	—	1.69	25.81	
mu13-32	—	1.73	26.74	
mu13-33	—	1.72	26.29	
mu13-34	—	1.86	27.3	
mu13-35	—	2.11	27.77	
mu13-36	—	2.19	28.2	
mu13-37	Пакстоун	2.01	27.67	
mu13-38	Вакстоун, спикулит	1.22	26.85	
mu13-39	Вакстоун	1.09	26.82	1.58
mu13-40	Вак-пакстоун	1.15	27.31	
mu13-41	Пак-вакстоун	1.06	26.21	
mu13-42	Пакстоун	0.98	26.41	
mu13-43	—	1.51	26.84	
mu13-44	—	1.17	24.13	
mu13-45	—	1.24	25.76	
mu13-46	—	1.76	24.14	
mu13-47	Вак-пакстоун	1.87	25.77	
mu13-48	Пакстоун	1.96	27.39	
mu13-49	Пак-вакстоун	1.65	27.69	1.58
mu13-50	Пакстоун	1.6	26.46	

ней частях разреза наблюдается общее облегчение $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$. Изотопный состав углерода преимущественно варьирует в интервале значений 1–2‰ с единичными экстремумами до 0.98‰ (обр. mu13-42) или 2.51‰ (обр. mu13-21). Распределение изотопных соотношений углерода верхней части разреза турнейского яруса на р. Малая Уса демонстрирует общий тренд снижения значений.

Изотопное событие TICE представляет собой одно из самых крупных положительных отклонений $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ в фанерозое. Этому скачку углерода обычно приписывают кратковременное увеличение доли захоронения органического углерода и, как следствие, снижение концентрации CO_2 в атмосфере, что могло быть причиной континентального оледенения в середине турне (Buggisch et al., 2008; Yao et al., 2015; Zhuravlev, Plotitsyn, 2022). Стратиграфически изотопное событие охватывает интервал конодонтовых зон *isosticha*–*typicus* (Ерофеевский, Журавлев, 2019; Zhuravlev, Plotitsyn, 2022). Высокая амплитуда положительных откло-

нений характеризуется пиками $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$, достигающими более 6–7‰ в разрезах Северной Америки (Mii et al., 1999), 5‰ и более в разрезах Западной Европы (Saltzman et al., 2004; Buggisch et al., 2008), до 6‰ в Южной Китае (Yao et al., 2015; Qie et al., 2016) и до 5–8‰ в разрезах европейского северо-востока России (Saltzman et al., 2004; Журавлев, Вевель, 2018; Zhuravlev et al., 2020; Zhuravlev, Plotitsyn, 2022). Пиковые значения обычно свойственны верхней части зоны *isosticha* и нижней части зоны *typicus*. Дальнейшая изотопная картина демонстрирует значительное облегчение изотопного состава углерода до конца зоны *typicus*.

Общий тренд облегчения изотопного состава углерода в совокупности с данными биостратиграфии позволяет скоррелировать последовательность вариаций разреза Малая Уса с изотопными кривыми географически (в том числе палеогеографически) разобобщенных разрезов Южного Китая, Бельгии и США (рис. 9). Пиковое положительное отклонение изотопной последовательности нижней

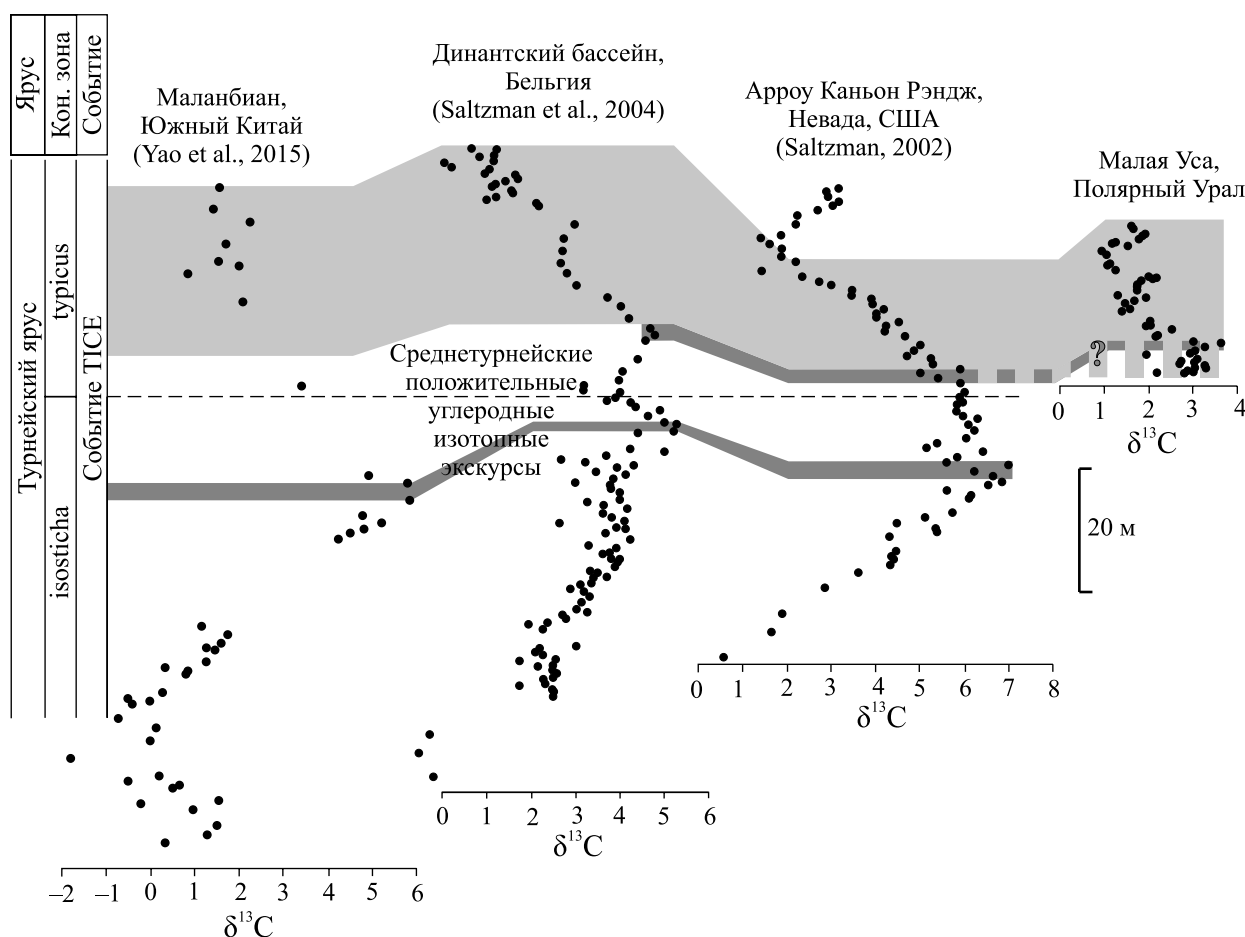


Рис. 9. Схема сопоставления кривых вариаций изотопного состава углерода в карбонатах верхнетурнейских разрезов Южного Китая, Бельгии, США и европейской части России.

Fig. 9. Comparison of curves of carbon isotope composition variations in carbonates of the Upper Tournesian sections of South China, Belgium, USA and European part of Russia.

части разреза Малая Уса может быть условно сопоставлено с пиковыми значениями события TICE, которые наблюдаются в разрезах (см. рис. 9) на уровне основания или нижней части зоны *typicus*. Однако обычно положительные отклонения изотопного события TICE более высокоамплитудные (от 5 до 8‰), нежели в исследуемом разрезе. Четкий отрицательный тренд изотопного состава разреза Малая Уса позволяет сопоставить ее с участками кривых в ряде разрезов мира, которые отвечают средней и верхней частям зоны *typicus* и демонстрируют аналогичную изотопную картину.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены комплексные (литологические, биостратиграфические, изотопно-геохимические) исследования верхнетурнейского разреза на р. Малая Уса (Полярный Урал). По результатам исследований установлено, что отложения, слагающие разрез Малая Уса (обн. m13), сформировались в терминальном турне в подножье подводного склона южной части Кортаихинской внутришельфовой палеовпадины. Эти отложения рассматриваются в качестве толщ заполнения внутришельфовой впадины, которые накапливались достаточно интенсивно, судя по аномальным мощностям турнейского яруса в бассейне среднего–верхнего течения р. Малая Уса по сравнению со смежными близкофациальными разрезами. Высокие скорости седиментации косвенно подтверждаются повсеместным распространением текстур прохождения газов, необходимым фактором для сохранения которых являлись высокие темпы захоронения. Общая негативная направленность последовательности $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ с учетом данных биостратиграфии коррелирует с верхней частью изотопного события TICE (приблизительно датируется зоной Upper *typicus*). Это позволило уточнить биостратиграфические данные, благодаря которым разрез датировался интервалом фораминиферных зон *Eotextularia diversa*–*Dainella chomatica*, которые по своему объему сопоставимы с зонами Upper *typicus*–*anchoralis*–*latus* стандартной шкалы по конодонтам и *Entomoprimitia malinovskyensis*–*Marginia tschigovae* по остракодам. В результате продемонстрирован высокий корреляционный потенциал не только пиковых положительных отклонений изотопного состава углерода в пределах изотопного события TICE, но и изотопной картины верхнего турне в целом. При должной палеонтологической характеристике некоторые участки изотопной кривой могут не только верифицировать данные биостратиграфии, но и детализировать существующие датировки.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Т.И. Степановой (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург) и А.В. Журавлеву (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар) за консультации при написании статьи; сотрудникам ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН А.С. Шуйскому и Е.М. Тропникову – за фотоизображения скелетных остатков ископаемых организмов на СЭМ; В.Л. Андреичеву, И.В. Смолевой и группе изотопной геохимии – за возможность проведения изотопно-геохимических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас литолого-палеогеографических карт палеозоя и мезозоя северного Приуралья. Масштаб 1 : 2 500 000. (1972) (Отв. ред. В.А. Черных). Л.: Наука, 46 карт.
- Груздев Д.А. (2021) Позднедевонско-раннекаменноугольные изолированные карбонатные платформы на севере Урала и Пай-Хоя. *Вестн. геонаук*, **10**(322), 3-15. 10.19110/geov.2021.10.1
- Деулин Ю.В. (2006) Конодонты и корреляция продуктивных на нефть верхнедевонских отложений севера Тимано-Печорской провинции. Архангельск: Правда Севера, 253 с.
- Ерофеевский А.В., Журавлев А.В. (2019) Перспективы использования изотопно-стратиграфического метода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$) для корреляции верхнедевонско-каменноугольного интервала востока Тимано-Печорской провинции. *Нефтегаз. геология. Теория и практика*, **14**(1), URL: https://www.ngtp.ru/rub/2019/9_2019.html. https://doi.org/10.17353/2070-5379/9_2019
- Журавлев А.В. (2003) Конодонты верхнего девона–нижнего карбона Северо-Востока Европейской России. СПб.: ВСЕГЕИ, 85 с.
- Журавлев А.В. (2007) Анализ биостратиграфических подразделений верхнего девона–перми по конодонтам. *Нефтегаз. геология. Теория и практика*, (2), URL: <http://www.ngtp.ru/rub/2/025.pdf>
- Журавлев А.В. (2012) Седиментационная модель области сочленения Елецкой и Лемвинской формационных зон Приполярного Урала в пограничном девонско-каменноугольном интервале. *Нефтегаз. геология. Теория и практика*, **7**(4), URL: https://www.ngtp.ru/rub/2/59_2012.pdf
- Журавлев А.В. (2019) Динамика таксономического разнообразия конодентов в позднем девоне–раннем карбоне (фаменский–серпуховский века). *Литосфера*, **19**(1), 81-91. 10.24930/1681-9004-2019-19-1-81-91
- Журавлев А.В., Вевель Я.А. (2018) Позднетурнейское событие в разрезах Косью-Роговской впадины и ее обрамления (Тимано-Печорская провинция). *Нефтегаз. геология. Теория и практика*, **13**(1), URL: https://www.ngtp.ru/rub/2/3_2018.pdf. https://doi.org/10.17353/2070-5379/3_2018
- Кулагина Е.И., Гибшман Н.Б. (2005) Общая зональная шкала нижнего карбона России по фораминиферам. *Бюлл. МОИП. Отд. геол.*, **80**(2), 33-59.
- Кулагина Е.И., Степанова Т.И., Зайцева Е.Л., Горожанина Е.Н., Гибшман Н.Б., Иванова Р.М., Вевель Я.А.,

- Пономарева Г.Ю., Филимонова Т.В. (2018) Атлас фораминифер и микрофаций верхнедевонских и каменноугольных отложений Северной Евразии. Ч. 1. М.: ПИН РАН, 220 с.
- Никонов Н.И., Богацкий В.И., Мартынов А.В., Ларионова З.В., Ласкин В.М., Галкина Л.В., Довжикова Е.Г., Ермакова О.Л., Костыгова П.К., Куранова Т.И., Москаленко К.А., Панкратов Ю.А., Петренко Е.Л., Попова Е.В., Сурина А.И., Шабанова Г.А. (2000) Тимано-Печорский седиментационный бассейн. Атлас геологических карт (литолого-фациальных, структурных и палеогеологических). Ухта: Регион. дом печати, 64 л.
- Плотицын А.Н., Вевель Я.А. (2019) Биостратиграфия верхнедевонско-нижнекаменноугольных отложений опорного разреза на р. Кожим (Приполярный Урал) по конодонтам. *Нефтегаз. геология. Теория и практика*, 14(3), URL: https://www.ngtp.ru/rub/2019/25_2019.html https://doi.org/10.17353/2070-5379/25_2019
- Плотицын А.Н., Журавлев А.В. (2020) Уточненная зональная схема по конодонтам рода *Patrognathus* (верхний фамен-турне). *Бюлл. МОИП. Отд. геол.*, 95(2), 51-59.
- Плотицын А.Н., Журавлев А.В., Соболев Д.Б., Вевель Я.А., Груздев Д.А. (2018а) Граница девона и карбона на Западном склоне севера Урала и Приуралья. *Тр. Палеонтол. общества*. Т. I. М.: ПИН РАН, 90-107.
- Плотицын А.Н., Пономаренко Е.С., Вевель Я.А. (2018б) Турнейские глубоководные отложения бассейна р. Уса (Полярный Урал). *Нефтегаз. геология. Теория и практика*, 13(3), URL: https://www.ngtp.ru/rub/2/32_2018.pdf. https://doi.org/10.17353/2070-5379/32_2018
- Решение Межведомственного регионального стратиграфического совещания по среднему и верхнему палеозою Русской платформы. Каменноугольная система. (1990) Л.: ВСЕГЕИ, 39 с.
- Соболев Д.Б. (2005) Остракоды и биостратиграфия турнейского яруса севера Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 113 с.
- Степанова Т.И. (2015) Особенности микрофаций и комплекс фораминифер косвинского горизонта турнейского яруса в разрезе “Соколинский Камень” на р. Реж (Средний Урал). *Тр. ИГГ УрО РАН*. Вып. 162, 33-38.
- Степанова Т.И. (2016) Биостратиграфия пограничных отложений турнейского и визейского ярусов по фораминиферам в разрезе “Кипчак” на восточном склоне Южного Урала. *Литосфера*, (6), 70-96.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). (1993) Екатеринбург: Межведомств. стратигр. комитет России, 151 л. схем.
- Черных В.А. (1976) Стратиграфия карбона севера Урала. Л.: Наука, 303 с.
- Чернов Г.А. (1962) Девонские отложения восточной части Большеземельской тундры. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 118 с.
- Чернов Г.А. (1972) Палеозой Большеземельской тундры и перспективы его нефтегазоносности. М.: Наука, 315 с.
- Шишкин М.А., Малых О.Н., Попов П.Е., Колесник Л.С. (2013) Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200 000 листа Q-41-V, VI (второе издание). М.: МФ ВСЕГЕИ, Мин-во природных ресурсов РФ, ЗАО “МИРЕКО”.
- Юдин В.В. (1994) Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: Наука, 283 с.
- Buggisch W., Joachimski M.M., Sevastopulo G., Morrow J.R. (2008) Mississippian $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ and conodont apatite $\delta^{18}\text{O}$ records – Their relation to the Late Palaeozoic Glaciation. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, (268), 273-292. [10.1016/j.palaeo.2008.03.043](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.03.043)
- Cloud P.E.Jr. (1960) Gas as a sedimentary and diagenetic agent. *Amer. J. Sci. Bradley Vol.*, (258-A), 35-45.
- Draganits E., Mawson R., Talent J.A., Krystyn L. (2002) Lithostratigraphy, conodont biostratigraphy and depositional environment of the Middle Devonian (Givetian) to Early Carboniferous (Tournaisian) Lipak Formation in the Pin Valley of Spiti (NW India). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, (108), 7-35.
- Ji Q. (1987) Early Carboniferous conodonts from Jianghua County of Hunan Province and their stratigraphic value – with a discussion on the Mid-Aikuanian Event. *Bulletin of the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science*, (16), 115-141.
- Kalvoda J. (1989) Tournaisian events in Moravia (Czechoslovakia) and their significance. *Courier Forsch.-Inst. Senckenberg*, (117), 353-358.
- Kalvoda J. (1991) The middle-upper Tournaisian boundary event. *Hist. Biol.*, (5), 229-237.
- Kalvoda J. (1992) Sedimentological and evolutionary cycles in the Upper Devonian and Lower Carboniferous. *Acta universitatis carolinae – geologica*, (1-2), 103-105.
- Kalvoda J. (1994) The conodont extinction at the middle-upper Tournaisian boundary. *Geolines*, (1), 12-15.
- Kulagina E.I., Zaytseva E.L., Vevel Y.A., Stepanova T.I., Gibshman N.B., Nikolaeva S.V., Kononova L.I., Plotitsyn A.N. (2021) The foraminiferal zonal scale of the Devonian-Carboniferous boundary beds in Russia and Western Kazakhstan and its correlation with ammonoid and conodont scales. *Palaeobiodivers. Palaeoenviron.*, [10.1007/s12549-020-00439-y](https://doi.org/10.1007/s12549-020-00439-y)
- Lane H.R., Sandberg C.A., Ziegler W. (1980) Taxonomy and phylogeny of some Lower Carboniferous conodonts and preliminary standard post-Siphonodella zonation. *Geol. Palaeontol.*, (14), 117-164.
- Mii H.S., Grossman E.L., Yancey T.E. (1999) Carboniferous isotope stratigraphies of North America: implications for Carboniferous paleoceanography and Mississippian glaciation. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, (111), 960-973.
- Montanez I.P., Poulsen C.J. (2013) The Late Paleozoic Ice Age: an evolving paradigm. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, (41), 24.1-24.28. [10.1146/annurev.earth.031208.100118](https://doi.org/10.1146/annurev.earth.031208.100118)
- Qie W., Wang X.D., Zhang X., Ji W., Grossman E.L., Huang X., Liu J., Luo G. (2016) Latest Devonian to earliest Carboniferous conodont and carbon isotope stratigraphy of a shallow-water sequence in South China. *Geol. J.*, 51(6), 915-935. [10.1002/gj.2710](https://doi.org/10.1002/gj.2710)
- Qie W., Algeo T.J., Luo G., Herrmann A. (2019) Global events of the Late Paleozoic (Early Devonian to Middle Permian): A review. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, (531). <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109259>
- Rexroad C.B., Thompson T.L. (1979) A spathognathodont lineage of Mississippian conodonts. *Lethaia*, (12), 235-243.

- Rexroad C.B., Varker W.J. (1992) The new Mississippian conodont genus *Syncladognathus*. *J. Paleontol.*, **66**(1), 165-170.
- Saltzman M.R., Groessens E., Zhuravlev A.V. (2004) Carbon cycle models based on extreme changes in $\delta^{13}\text{C}$: an example from the lower Mississippian. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, (213), 359-377.
- Saltzman M.R., Thomas E. (2012) Carbon isotope stratigraphy. *The Geologic Time Scale*, 207-232. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59425-9.00011-1>
- Sandberg C.A., Ziegler W., Leuteritz K., Brill S.M. (1978) Phylogeny, speciation, and zonation of Siphonodella (Conodonts, Upper Devonian and Lower Carboniferous). *Newslett. Stratigr.*, **7**(2), 102-120.
- Scotese C.R. (2017) Plate tectonics during the last 1.5 billion years: An Atlas of Ancient Oceans and Continents. PALEOMAP Project Report 112171A.
- Sobolev D.B., Zhuravlev A.V., Tsyganko V.S. (2000) Stop 8. Upper Devonian-Lower Carboniferous succession on the Kozhym River. *Pan-Arctic Palaeozoic Tectonics, Evolution of Basins and Faunas. Subpolar Urals Field Trip Guidebook*. Syktyvkar, 101-111.
- Walliser O.H. (1996) Global events in the Devonian and Carboniferous. *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*. Berlin: Springer, 225-250.
- Yao L., Qie W., Luo G., Liu J., Algeo T.J., Bai X., Yang B., Wang X. (2015) The TICE event: Perturbation of carbon-nitrogen cycles during the mid-Tournaisian (Early Carboniferous) greenhouse-icehouse transition. *Chem. Geol.*, (401), 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.02.021>
- Zhuravlev A.V. (1998) The Mid-Tournaisian Event in the Northern Urals and conodont dynamics. *Proc. Geol. Assoc.*, (109), 161-168.
- Zhuravlev A.V., Plotitsyn A.N. (2022) The middle-late Tournaisian crisis in conodont diversity: a comparison between Northeast Laurussia and Northeast Siberia. *Palaeoworld*, <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2022.01.001>
- Zhuravlev A.V., Plotitsyn A.N., Cigler V., Kumpan T. (2021) Taxonomic notes on some advanced Tournaisian (Mississippian) siphonodellids (Conodonts). *Geobios*, <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2020.12.001>
- Zhuravlev A.V., Plotitsyn A.N., Gruzdev D.A., Smoleva I.V. (2020) Chapter 9. Carbon isotope stratigraphy of the Tournaisian (Lower Mississippian) successions of NE Europe. *Carbon Isotope Stratigraphy. Stratigraphy & Timescales 5*. Cambridge: Academic Press, 467-528. [10.1016/bs.sats.2020.08.007](https://doi.org/10.1016/bs.sats.2020.08.007)
- Ziegler W., Lane H.R. (1987) Cycles in conodont evolution from Devonian to mid-Carboniferous. *Paleobiology of conodonts*. Chichester: Ellis Horwood Ltd, 147-163.
- Chernykh V.A. (1976) Carboniferous stratigraphy of the northern Urals. Leningrad, Nauka Publ., 303 p. (In Russ.)
- Chernov G.A. (1962) Devonian of the eastern part of the Bolshezemelskaya tundra. Moscow; Leningrad, Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 118 p. (In Russ.)
- Chernov G.A. (1972) Paleozoic of the Bolshezemelskaya tundra and the prospects for its oil and gas potential. Moscow, Nauka Publ., 315 p. (In Russ.)
- Cloud P.E.Jr. (1960) Gas as a sedimentary and diagenetic agent. *Amer. J. Sci. Bradley Vol.*, (258-A), 35-45.
- Decision of the Interdepartmental Regional Stratigraphic Meeting on the Middle and Upper Paleozoic of the Russian Platform. Carboniferous system. (1990) Leningrad, VSEGEI Publ., 39 p. (In Russ.)
- Deulin Yu.V. (2006) Conodonts and correlation of oil-producing Upper Devonian deposits in the north of the Timan-Pechora province. Arkhangel'sk, Pravda Severa Publ., 253 p. (In Russ.)
- Draganits E., Mawson R., Talent J.A., Krystyn L. (2002) Lithostratigraphy, conodont biostratigraphy and depositional environment of the Middle Devonian (Givetian) to Early Carboniferous (Tournaisian) Lipak Formation in the Pin Valley of Spiti (NW India). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, (108), 7-35.
- Erofeevskii A.V., Zhuravlev A.V. (2019) Perspectives of application of isotope-stratigraphy ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$) for correlation of the Upper Devonian-Carboniferous interval of the east of Timan-Pechora province. *Neftegaz. Geol. Teor. Prakt.*, **14**(1), URL: https://www.ngtp.ru/rub/2019/9_2019.html. (In Russ.) https://doi.org/10.17353/2070-5379/9_2019
- Gruzdev D.A. (2021) Late Devonian-Early Carboniferous isolated carbonate platforms of the North of the Urals and Pay-Khoy. *Vestn. Geonauk*, **10**(322), 3-15. (In Russ.) [10.19110/geov.2021.10.1](https://doi.org/10.19110/geov.2021.10.1)
- Ji Q. (1987) Early Carboniferous conodonts from Jianghua County of Hunan Province and their stratigraphic value – with a discussion on the Mid-Aikuanian Event. *Bulletin of the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science*, (16), 115-141.
- Kalvoda J. (1989) Tournaisian events in Moravia (Czechoslovakia) and their significance. *Courier Forsch.-Inst. Senckenberg*, (117), 353-358.
- Kalvoda J. (1991) The middle-upper Tournaisian boundary event. *Hist. Biol.*, (5), 229-237.
- Kalvoda J. (1992) Sedimentological and evolutionary cycles in the Upper Devonian and Lower Carboniferous. *Acta universitatis carolinae – geologica*, (1-2), 103-105.
- Kalvoda J. (1994) The conodont extinction at the middle-upper Tournaisian boundary. *Geolines*, (1), 12-15.
- Kulagina E.I., Gibshman N.B. (2005) General zonal scale of the Lower Carboniferous of Russia based on foraminifers. *Bull. MOIP. Otd. Geol.*, **80**(2), 33-59. (In Russ.)
- Kulagina E.I., Stepanova T.I., Zaitseva E.L., Gorozhanchina E.N., Gibshman N.B., Ivanova R.M., Vevel' Ya.A., Ponomareva G.Yu., Filimonova T.A. (2018) Atlas of Upper Devonian and Carboniferous foraminifers and microfossils of Northern Eurasia. Pt 1. Moscow, PIN RAN, 220 p. (In Russ.)
- Kulagina E.I., Zaitseva E.L., Vevel' Ya.A., Stepanova T.I., Gibshman N.B., Nikolaeva S.V., Kononova L.I., Plotitsyn A.N. (2021) The foraminiferal zonal scale of the Devonian-Carboniferous boundary beds in Russia and Western Kazakhstan and its correlation with ammonoid

REFERENCES

- Atlas of lithological-paleogeographic maps of the Paleozoic and Mesozoic of the northern Urals. Scale 1 : 2 500 000. (1972) (Rep. ed. V.A. Chernykh). Leningrad, Nauka Publ., 46 maps. (In Russ.)
- Buggisch W., Joachimski M.M., Sevastopulo G., Morrow J.R. (2008) Mississippian $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ and conodont apatite $\delta^{18}\text{O}$ records – Their relation to the Late Palaeozoic Glaciation. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, (268), 273-292. [10.1016/j.palaeo.2008.03.043](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.03.043)

- and conodont scales. *Palaeobiodivers. Palaeoenviron.*, 10.1007/s12549-020-00439-y
- Lane H.R., Sandberg C.A., Ziegler W. (1980) Taxonomy and phylogeny of some Lower Carboniferous conodonts and preliminary standard post-Siphonodella zonation. *Geol. Palaeontol.*, (14), 117-164.
- Mii H.S., Grossman E.L., Yancey T.E. (1999) Carboniferous isotope stratigraphies of North America: implications for Carboniferous paleoceanography and Mississippian glaciation. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, (111), 960-973.
- Montanez I.P., Poulsen C.J. (2013) The Late Paleozoic Ice Age: an evolving paradigm. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, (41), 24.1-24.28. 10.1146/annurev.earth.031208.100118
- Nikonov N.I., Bogatskii V.I., Martynov A.V., Larionova Z.V., Laskin V.M., Galkina L.V., Dovzhikova E.G., Ermakova O.L., Kostygova P.K., Kuranova T.I., Moskalenko K.A., Pankratov Yu.A., Petrenko E.L., Popova E.V., Surina A.I., Shabanova G.A. (2000) Timan-Pechora sedimentary basin. Atlas of geological maps (lithofacies, structural and paleogeological). Ukhta, Regional House of Printing, 64 maps. (In Russ.)
- Plotitsyn A.N., Ponomarenko E.S., Vevel' Ya.A. (2018b) Tournaisian deep-water deposits of the Usa River basin (Polar Urals). *Neftegaz. Geol. Teor. Prakt.*, **13**(3), URL: https://www.ngtp.ru/rub/2/32_2018.pdf. (In Russ.) https://doi.org/10.17353/2070-5379/32_2018
- Plotitsyn A.N., Vevel' Ya.A. (2019) Conodonts of the Devonian-Carboniferous boundary deposits of the Kozhim River key section (Subpolar Urals). *Neftegaz. Geol. Teor. Prakt.*, **14**(3), URL: https://www.ngtp.ru/rub/2019/25_2019.pdf. (In Russ.) https://doi.org/10.17353/2070-5379/25_2019
- Plotitsyn A.N., Zhuravlev A.V. (2020) Refinement of Patrog-nathus conodont zonation (upper Famennian-Tournaisian). *Bull. MOIP. Otd. Geol.*, **95**(2), 51-59. (In Russ.)
- Plotitsyn A.N., Zhuravlev A.V., Sobolev D.B., Vevel' Ya.A., Gruzdev D.A. (2018a) The Devonian-Carboniferous boundary in the Western slope of the north Urals and the Cis-Urals. *Proc. Paleontol. Soc. V. I. Moscow, PIN RAN*, 90-107. (In Russ.)
- Qie W., Wang X.D., Zhang X., Ji W., Grossman E.L., Huang X., Liu J., Luo G. (2016) Latest Devonian to earliest Carboniferous conodont and carbon isotope stratigraphy of a shallow-water sequence in South China. *Geol. J.*, **51**(6), 915-935. 10.1002/gj.2710
- Qie W., Algeo T.J., Luo G., Herrmann A. (2019) Global events of the Late Paleozoic (Early Devonian to Middle Permian): A review. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, (531). <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109259>
- Rexroad C.B., Thompson T.L. (1979) A spathognathodont lineage of Mississippian conodonts. *Lethaia*, (12), 235-243.
- Rexroad C.B., Varker W.J. (1992) The new Mississippian conodont genus Synclydog-nathus. *J. Paleontol.*, **66**(1), 165-170.
- Saltzman M.R., Groessens E., Zhuravlev A.V. (2004) Carbon cycle models based on extreme changes in $\delta^{13}\text{C}$: an example from the lower Mississippian. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, (213), 359-377.
- Saltzman M.R., Thomas E. (2012) Carbon isotope stratigraphy. *The Geologic Time Scale*, 207-232. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59425-9.00011-1>
- Sandberg C.A., Ziegler W., Leuteritz K., Brill S.M. (1978) Phylogeny, speciation, and zonation of Siphonodella (Conodonta, Upper Devonian and Lower Carboniferous). *Newslett. Stratigr.*, **7**(2), 102-120.
- Scotese C.R. (2017) Plate tectonics during the last 1.5 billion years: An Atlas of Ancient Oceans and Continents. PALEOMAP Project Report 112171A.
- Shishkin M.A., Malykh O.N., Popov P.E., Kolesnik L.S. (2013) State geological map of the Russian Federation, scale 1:200,000 sheet Q-41-V, VI (second edition). Moscow, MF VSEGEI Publ., Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, ZAO MIREKO. (In Russ.)
- Sobolev D.B. (2005) Ostracodes and biostratigraphy of the Tournaisian stage in the North of Ural. Ekaterinburg, UB RAS, 113 p. (In Russ.)
- Sobolev D.B., Zhuravlev A.V., Tsyganko V.S. (2000) Stop 8. Upper Devonian-Lower Carboniferous succession on the Kozhym River. *Pan-Arctic Palaeozoic Tectonics, Evolution of Basins and Faunas. Subpolar Urals Field Trip Guidebook*. Syktyvkar, 101-111.
- Stepanova T.I. (2015) Peculiarities of microfacies and assemblage of foraminifers of the Kosva regional stage of the Tournaisian in the Sokoliny Kamen section on the Rezh river (Middle Urals). *Tr. IGG UB RAS*. V. 162, 33-38. (In Russ.)
- Stepanova T.I. (2016) Biostratigraphy Tournaisian-Viséan boundary deposits of the Kipchak section in the eastern slope of the Southern Urals. *Lithosphere (Russia)*, (6), 70-96. (In Russ.)
- Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic). (1993) Ekaterinburg, Interv. strat. Committee of Russia, 151 schemes. (In Russ.)
- Walliser O.H. (1996) Global events in the Devonian and Carboniferous. *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*. Berlin, Springer, 225-250.
- Yao L., Qie W., Luo G., Liu J., Algeo T.J., Bai X., Yang B., Wang X. (2015) The TICE event: Perturbation of carbon-nitrogen cycles during the mid-Tournaisian (Early Carboniferous) greenhouse-icehouse transition. *Chem. Geol.*, (401), 1-14. <https://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.02.021>
- Yudin V.V. (1994) Orogeny of the northern Urals and Paimkhai. Ekaterinburg, Nauka Publ., 283 p. (In Russ.)
- Zhuravlev A.V. (1998) The Mid-Tournaisian Event in the Northern Urals and conodont dynamics. *Proc. Geol. Assoc.*, (109), 161-168.
- Zhuravlev A.V. (2003) Upper Devonian-Lower Carboniferous Conodonts of the North-East of European Russia. St.Petersburg, VSEGEI Publishing House, 85 p. (In Russ.)
- Zhuravlev A.V. (2007) Analysis of biostratigraphic units of the Upper Devonian-Permian by conodonts. *Neftegaz. Geol. Teor. Prakt.*, (2), URL: <https://www.ngtp.ru/rub/2/025.pdf> (In Russ.)
- Zhuravlev A.V. (2012) Sedimentation model of the transitional zone from the Elets to Lemva formation belts of the Cis-Polar Urals in the Devonian-Carboniferous boundary interval. *Neftegaz. Geol. Teor. Prakt.*, **7**(4), URL: https://www.ngtp.ru/rub/2/59_2012.pdf (In Russ.)
- Zhuravlev A.V. (2019) Dynamics of the conodont diversity in the Late Devonian-Early Carboniferous (Famennian-Serpukhovian). *Lithosphere (Russia)*, **19**(1), 81-91. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2019-19-1-81-91>
- Zhuravlev A.V., Plotitsyn A.N. (2022) The middle-late

- Tournaisian crisis in conodont diversity: a comparison between Northeast Laurussia and Northeast Siberia. *Palaeoworld*, <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2022.01.001>
- Zhuravlev A.V., Plotitsyn A.N., Cigler V., Kumpan T. (2021) Taxonomic notes on some advanced Tournaisian (Mississippian) siphonodellids (Conodonta). *Geobios*, <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2020.12.001>
- Zhuravlev A.V., Plotitsyn A.N., Gruzdev D.A., Smoleva I.V. (2020) Chapter 9. Carbon isotope stratigraphy of the Tournaisian (Lower Mississippian) successions of NE Europe. *Carbon Isotope Stratigraphy. Stratigraphy & Timescales 5*. Cambridge, Academic Press, 467-528. 10.1016/bs.sats.2020.08.007
- Zhuravlev A.V., Vevel Ya.A. (2018) The late Tournaisian event in successions of the Kosyu-Rogovaya depression and adjacent areas (Timan-Pechora province). *Neftegaz. Geol. Teor. Prakt.*, **13**(1), URL: https://www.ngtp.ru/rub/2/3_2018.pdf. (In Russ.) https://doi.org/10.17353/2070-5379/3_2018
- Ziegler W., Lane H.R. (1987) Cycles in conodont evolution from Devonian to mid-Carboniferous. *Paleobiology of conodonts*. Chichester, Ellis Horwood Ltd, 147-163.