

УДК 551.435.8(551.733.31):552.541,56.022:551.733.1

DOI: 10.24930/2500-302X-2025-25-1-61-78

Литологическое, палеонтологическое и геохимическое обоснование ранневенлокского (ранний силур) перерыва в осадконакоплении в разрезе западного склона Северного Урала (р. Верхняя Косью)

Е. С. Пономаренко, Л. В. Соколова

Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, e-mails: esponomarenko@geo.komisc.ru; sokolova@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 25.01.2024 г., принята к печати 03.04.2024 г.

Объект исследований. Изучены нижнесилурийские карбонатные отложения в разрезе П-ВК6 (бассейн верхнего течения р. Илыч, Северный Урал). **Материал и методы.** Материалом для статьи послужило полевое описание разреза и образцы горных пород (24 образца), изученные классическими оптико-микроскопическими и изотопными методами. Выделение конодонтовых элементов из карбонатных пород проводилось по стандартной методике в 8%-й уксусной кислоте. **Результаты.** Поверхность перерыва в осадконакоплении представлена эрозионной поверхностью и кавернами в микробинальных ламинитах. Среди элементов подземного палеокарста выделяются два типа: 1) вертикальные полости (до 2–3 см), залеченные гравитационным кальцитом с волокнистым погасанием и блоковым спаритом; 2) палеопустоты (от 5 до 20 см) неправильной или трубкообразной формы, заполненные слоистым глинисто-карбонатным осадком. Первый тип отмечается до глубины 2.5 м непосредственно ниже поверхности перерыва. Этот интервал также подчеркивается изотопным трендом “линии метеорного кальцита” (изменчивые значения $\delta^{13}\text{C}$ и неизменные значения $\delta^{18}\text{O}$). Второй тип заполнен в основном глинисто-доломитовым материалом, вероятно, нерастворимым осадком из растворенных пород. Максимальная глубина регистрации этих элементов – 5 м ниже поверхности перерыва. Биостратиграфический анализ конодонтов показал, что карстованию подверглись породы маршрутинского горизонта телического яруса. Из отложений выше перерыва в осадконакоплении определен вид *Ozarkodina bohémica* (Walliser), что позволило впервые палеонтологически подтвердить существование регионального перерыва на границе маршрутинского горизонта лландоверийского отдела и войвывского горизонта венлокского отдела. **Заключение.** Возраст перерыва в осадконакоплении, таким образом, на основании биостратиграфических данных и региональных предпосылок определяется как ранневенлокский.

Ключевые слова: нижний силур, карбонатные породы, перерыв в осадконакоплении, палеокарст, конодонты, биостратиграфия

Источник финансирования

Работа была выполнена в рамках тем НИР “Осадочные формации: вещество, седиментация, литогенез, геохимия, индикаторы литогенеза, реконструкция осадконакопления” (№ 1021062311457-5-1.5.6) и “Эволюция биоты и среды ее обитания как основа расчленения и геологической корреляции осадочного чехла Печорской плиты и ее складчатого обрамления” (№ 122040600008-5)

Lithologic, paleontologic and geochemical foundation of the Early Wenlockian (Early Silurian) sedimentation break in the western slope of the Northern Urals section (Verkhnyaya Kos'yu River)

Evgeniy S. Ponomarenko, Liubov V. Sokolova

N.P. Yushkin Institute of Geology, FRC Komi SC UB RAS, 54 Pervomaiskaya st., Syktывkar 167982, Russia, e-mails: esponomarenko@geo.komisc.ru; sokolova@geo.komisc.ru

Received 25.01.2024, accepted 03.04.2024

Research subject. Lower Silurian carbonate deposits in the P-VK6 section (basin of the upper reaches of the Ilych River, Northern Urals). **Materials and methods.** The material for the article comprises a field description of a section and 24 rock

Для цитирования: Пономаренко Е.С., Соколова Л.В. (2025) Литологическое, палеонтологическое и геохимическое обоснование ранневенлокского (ранний силур) перерыва в осадконакоплении в разрезе западного склона Северного Урала (р. Верхняя Косью). *Литосфера*, 25(1), 61-78. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-1-61-78>. EDN: AWJNYR

For citation: Ponomarenko E.S., Sokolova L.V. (2025) Lithologic, paleontologic and geochemical foundation of the Early Wenlockian (Early Silurian) sedimentation break in the western slope of the Northern Urals section (Verkhnyaya Kos'yu River). *Lithosphere (Russia)*, 25(1), 61-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-1-61-78>. EDN: AWJNYR

samples studied by classical optical microscopic and isotopic methods. The extraction of conodont elements from carbonate rocks was carried out according to a standard procedure in 8% acetic acid. *Results.* The surface of the sedimentation break is represented by an erosional surface and voids in the microbial laminites. Two types are distinguished among the underground palaeokarst elements: (i) vertical cavities (up to 2.0–3.0 cm) filled with gravitational calcite with fibrous extinction and blocky sparite; and (ii) palaeovoids (5.0–20 cm) with irregular to tube-shaped, filled with laminar clay-carbonate sediments. The first type is located at a depth of up to 2.5 m directly below the surface of the sedimentation break. This interval is also highlighted by the Meteoric Calcite Line isotopic trend (variable $\delta^{13}\text{C}$ values and invariable $\delta^{18}\text{O}$ values). The second type is filled mainly with clayey-dolomite material, probably the insoluble sediments derived from rock dissolution. The maximum recording depth for these elements is 5.0 m below the surface of the sedimentation break. Biostratigraphic analysis of conodonts demonstrated that the rocks of the Marshrut regional stage of the Telychian underwent karsting. From the deposits overlying the paleokarst, species *Ozarkodina bohemica* (Walliser) was determined, which made it possible for the first time to paleontologically confirm the regional gap throughout the Marshrut regional stage of the Llandovery age and Vo'jyyv regional stage of the Wenlock age. *Conclusions.* The sedimentation break age, based on biostratigraphic data and regional background, is determined to be Early Wenlockian.

Keywords: Lower Silurian, carbonate deposits, sedimentation break, palaeokarst, conodonts, biostratigraphy

Funding information

This work was carried out within the framework of the research projects of the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation (No. 1021062311457-5-1.5.6 and No. 122040600008-5)

Acknowledgements

During field research, invaluable assistance was provided by S.T. Neverov and V.M. Mikhailov. Qualitative photography of conodont elements on an electron microscope was carried out by V.A. Radaev and I.L. Potapov. The analysis of C and O isotopic compositions was carried out by I.V. Smoleva. The authors express their gratitude to all these persons. In addition, we would like to express our deep gratitude to A.I. Antoshkina, T.V. Maidl', A.V. Zhuravlev, A.N. Sandula and A.N. Shadrin for their consultations, recommendations and doubts. This helped us a lot when working on the article.

ВВЕДЕНИЕ

Первые сведения о наличии силурийских отложений на западном склоне Северного Урала были получены вследствие исследований А.А. Кейзерлинга в 1843 г. (Варсановьева, 1940). Позднее стратиграфию и литологию этих отложений изучали В.А. Варсановьева, Н.Н. Иорданский, О.А. Кондиайн, А.Г. Кондиайн, А.И. Першина, А.И. Антошкина и др.

Геологические исследования, развернувшиеся на территории Тимано-Североуральского региона в 1960–1970-е гг. (Безносова, 2008) и завершившиеся созданием новой стратиграфической схемы для ордовика и силура Севера Урала (Антошкина и др., 1989), сместили вектор стратиграфических исследований на западный склон Приполярного Урала. Опорным разрезом для силурийских отложений Европейского Северо-Востока был признан разрез в бассейне р. Кожым (Опорные разрезы..., 1983, 1987; Объяснительная записка..., 1994). Его многолетнее изучение позволило уточнить положение региональной границы между лlandoвер-

рийским и венлокским отделами силурийской системы на западном склоне Приполярного Урала и предположить по данным изотопного анализа отсутствие отложений шейнвудского яруса (Безносова, Мянник, 2005; Безнослова, 2008; Безнослова, Лукин, 2009; Безнослова и др., 2016, 2020).

Разрезы силура западного склона Северного Урала долгое время оставались слабоизученными с этих позиций. Это не в последнюю очередь связано со сложным тектоническим строением района и отсутствием полных разрезов. Однако эти разрезы характеризуются, как правило, меньшим развитием доломитизации, что позволяет проводить более детальные литологические и палеонтологические наблюдения. Разрез П-ВК6 на р. В. Косью (притоке верхнего течения р. Ильч) вскрывает пограничные отложения лlandoвери и венлока. Этот разрез также уникален тем, что последовательность конодонтов, выделенная из его отложений, дает возможность микропалеонтологически подтвердить существование перерыва на границе лlandoвери и венлока в силуре западного склона Урала.

Целью данной статьи является микропалеонтологическая, литологическая и геохимическая (изотопная) характеристика пограничных отложений маршрутинского горизонта лландоверийского отдела и войвывского горизонта венлокского отдела в разрезе П-ВК6, что позволит впервые обосновать ранневенлокский перерыв на западном склоне Северного Урала.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований послужили 24 образца горных пород, отобранных из разреза П-ВК6 на р. В. Косью (притоке верхнего течения р. Илыч) во время полевых исследований 2019 г. Описание разреза проводилось от слоя к слою. Все отобранные образцы подвергнуты стандартной обработке: изготовление шлифов и пришлифовок. Шлифы изучались под поляризационным микроскопом ЛОМО Полам РП-1. Небольшая часть каждого из образцов была растерта в порошок для проведения изотопного анализа $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$. Изготовление шлифов и растирка проб осуществлялись в Отделе пробоподготовки Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар. Разложение карбонатов в ортофосфорной кислоте и измерение изотопного состава углерода и кислорода проводились на базе ЦКП "Геонаука" Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар (аналитик И.В. Смолева). Использовался метод проточной масс-спектрометрии в режиме постоянного потока гелия (CF-IRMS) на аналитическом комплексе фирмы ThermoFisher Scientific (Бремен, Германия) с системой подготовки и ввода проб GasBench II, соединенной с масс-спектрометром DELTA V Advantage. Значения $\delta^{13}\text{C}$ даны в промилле относительно V-PDB, $\delta^{18}\text{O}$ – стандарта V-SMOW. При калибровке использованы международные стандарты NBS 18 и NBS 19 соответственно. Ошибка определения составляет $\pm 0.15\%$. Все шлифы, растертые пробы и нерастворимые остатки хранятся в музее им. А.А. Чернова ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, колл. № 708.

Кроме того, при полевых исследованиях были отобраны 4 пробы на микрофауну. Однако столь малое количество проб не позволило получить хорошие комплексы, вследствие чего все оставшиеся после литологических и геохимических исследований образцы были растворены. Выделение конодонтов осуществлялось по стандартной методике в 8%-й уксусной кислоте (Иванов, 1987). На микрофауну растворены 24 образца, из них в 20 встречены конодонты. Коллекция конодонтов хранится в музее им. А.А. Чернова ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, колл. № 730.

СТРОЕНИЕ ИЗУЧЕННОГО РАЗРЕЗА

Разрез П-ВК6 расположен на правом берегу р. В. Косью в ~3 км выше устья (рис. 1). В современном тектоническом плане он относится к западному крылу западотимаизской антиклинали Тимазского поперечного поднятия – вытянутой в северо-западном направлении тектонической структуры, являющейся южным продолжением Печоро-Кожвинского мегавала на территории Уральской складчатой системы (Юдин, 1983, 1994). Обнажение представлено невысокой скалой (около 7–8 м высотой), выходящей частично в лесу, частично обрывающейся в воду. Слои падают моноклиально по азимуту 265° под углом 40° . Видимая мощность вскрытых пород (включая необнаженные интервалы) 18.5 м. По особенностям строения разреза здесь можно выделить 4 пачки (рис. 2).

Пачка I (слои 1–11; видимая мощность 9.7 м) представлена относительно однородной толщей темно-серых плитчатых пелитоморфных известняков с обильными глинисто-доломитовыми ходами илоедов (рис. 3А). Из-за биотурбации порода имеет комковатое сложение, но иногда отмечается ненарушенная тонкая горизонтальная слоистость, обусловленная распределением глинистого и карбонатного материала. Органические остатки (от 5 до 25%) представлены отдельными мелкими раковинами остракод, брахиопод, гастропод и члеников криноидей (0.1–2.0 мм). До 5–10% – терригенный кварц алевритовой размерности.

Известняковые тонко-горизонтально-слоистые песчаники и гравелитопесчаники (см. рис. 3В) слагают единичные слои мощностью от первых см до 0.7 м. Они состоят (40–60%) из мелких (0.05–0.10 мм) окатанных обломков пелитоморфных известняков. Прослоями (2.0–5.0 мм) отмечаются скопления органогенного материала с преобладанием раковин и отдельных створок остракод (0.2–0.5 мм). Более редки раковины гастропод и ортоцератид. Тонкопесчаный терригенный кварц слагает от 1–3 до 25% этих пород. Цемент в основном пелитоморфный, иногда спаритовый. Тонкая горизонтальная слоистость, как правило, обусловлена распределением терригенного материала, обломков известняков и органогенного материала.

Интерпретация. Отложения пачки I накапливались в спокойноводных условиях ниже базиса действия волн, но выше базиса штормовых волн (о чем свидетельствуют слои известняковых песчаников – темпеститы). Обилие пелитоморфных биотурбированных карбонатов с редкими прослоями темпеститов характерны для внешней рампы (Flügel, 2010).

Пачка II (слои 12–17; мощность 4.9 м) представлена неравномерным чередованием известняков пелитоморфных с глинисто-доломитовыми ходами илоедов, известняков биокластовых (см. рис. 3С) и

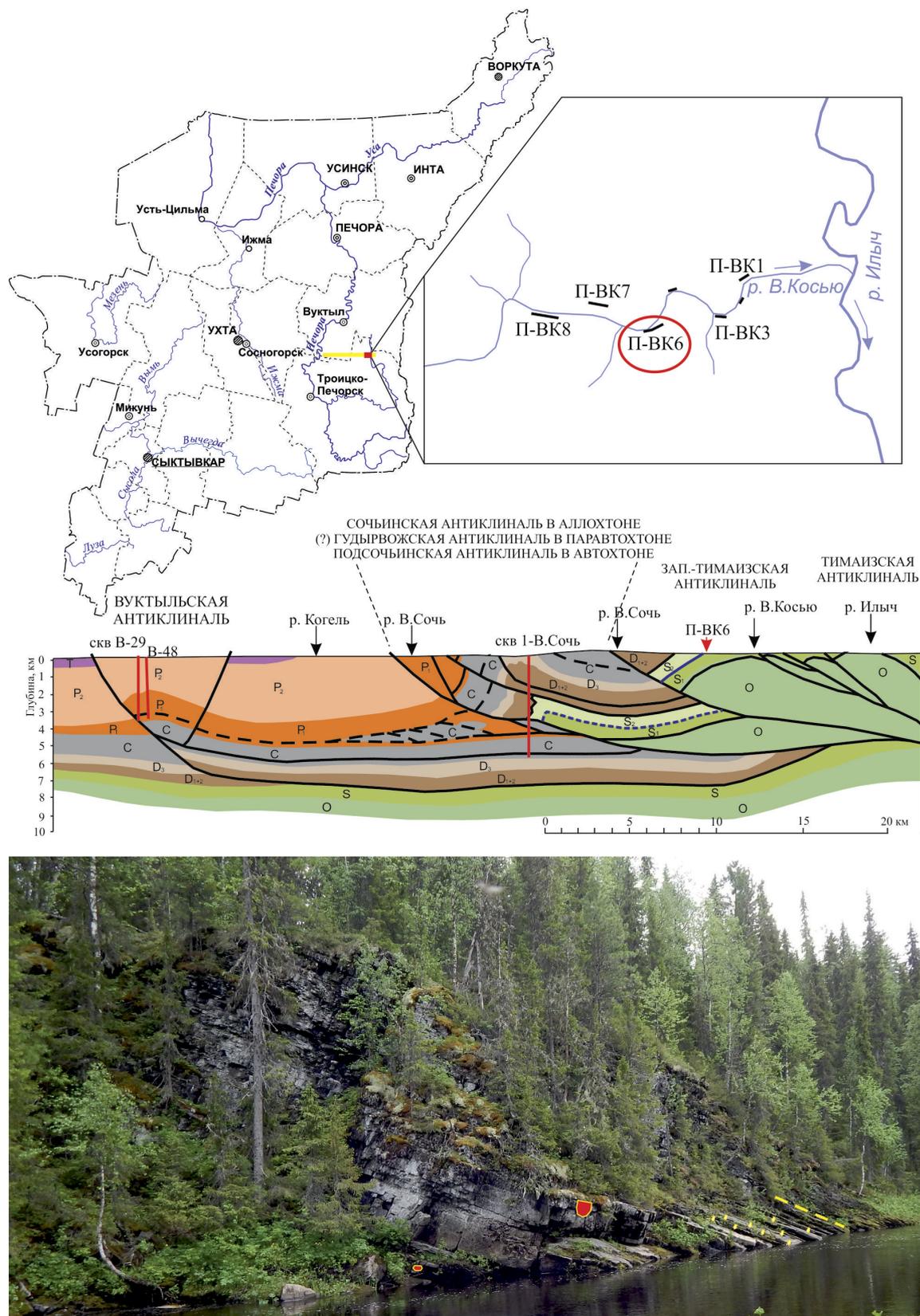


Рис. 1. Расположение района исследования.

На карте Республики Коми (слева). Красный прямоугольник – расположение бассейна р. В. Косью (справа), желтая полоска – расположение геологического разреза (в центре). Изученный разрез П-ВК6 на р. В. Косью обведен красным овалом.

Геологический разрез (в центре) (Беляева и др., 1997, с упрощениями). Синей жирной линией показан перерыв в осадконакоплении в разрезе П-ВК6; синяя штриховая линия – возможное нахождение перерыва и палеокарста в пределах (?) гудырвожской антиклинали в паравтохтоне. Внизу – общий вид верхней части обн П-ВК6. Поверхность перерыва показана желтой штриховой линией; субвертикальные полости указаны желтыми пятнами; палеопустоты неправильной формы, заполненные тонкослоистым глинисто-карбонатным материалом, показаны красными пятнами.

Fig. 1. Studied location.

On the Komi Republic map (left). The red box is the Verkhnyaya Kos'yu River basin location (right), yellow bar – the geological cross section location (center). The studied section P-VK6 on the Verkhnyaya Kos'yu River marked in red oval. Geological cross section (center) (Belyaeva et al., 1997, with simplifications). The thick blue line shown a sedimentation break in the P-VK6 section; the blue dots line is a possible loci of the break and palaeokarst within (?) the Gudyrvozh anticline in the parautochton. Below is a general view of the P-VK6 section upper part. Surface of sedimentation break in shown as a yellow dashed line; subvertical cavities are marked by yellow spots; irregular palaeovoids filled with thin-layered clayey-carbonate material are shown in red spots.

биогермных (см. рис. 3Е) с пелитоморфным цементом, а также редкими прослоями известняковых песчаников. Эта пачка отличается большим развитием макроскопических органических остатков, среди которых заметно преобладают целые и фрагментированные колонии строматопороидей. Также одной из особенностей этой пачки являются колонии табулятоморфных кораллов с микритовыми микробальными обрастаниями (см. рис. 3Д), содержащими кальцитизированные спикулы губок. Также спикулы (в меньших количествах) содержатся и в иловом матриксе пород. Ходы илоедов, подчеркнутые глинисто-доломитовым заполнением, многочисленны как в пелитоморфных известняках, так и в биокластовых и биогермных разностях (в матриксе между скелетами организмов).

Интерпретация. Эти отложения также накапливались в спокойноводных условиях ниже базиса действия волн, но выше базиса штормовых волн. Ассоциация пород с обилием органогенного материала характерна для средней рампы (Flügel, 2010).

Пачка III (слои 18–22 (нижняя часть); мощность 1.9 м) представлена в нижней части строматолитов/кератолитов с линзами известняковых песчаников (см. рис. 3F). В средней части преобладают известняковые песчаники с единичным слоем известняков биокластовых с пелитоморфным цементом (темпеститы?). В кровле пачки под эрозионной закарстованной поверхностью развиты микробальные ламиниты.

Строматолит/кератолиты имеют столбчатую (3.0–4.0 см в диаметре, 10 см высотой) (рис. 4А) и куполовидную (0.2 м высотой, 0.4 м шириной) форму. Микроскопически они сложены тонкими (0.5–2.0 мм) ламинами. Строение ламин сложное и представлено пелитоморфной основной массой, пронизанной червячковидными “норами” (до 0.05 мм толщиной) (рис. 4В). Строматолиты с таким специфическим микростроением называются исследователями “кератолитами” (Lee, Riding, 2021; Luo et al., 2022; и др.), которые постулируют их губково-микробное происхождение. Однако Ф. Нойвайлер с соавторами справедливо усом-

нились в такой интерпретации и говорят, что существующих доказательств пока недостаточно для подтверждения таких интерпретаций (Neuweiler et al., 2023). Хотя им предлагается приостановить использование наименования “кератолит” до подтверждения природы соответствующих образований (Neuweiler et al., 2023), авторы этой работы используют данный термин в чисто описательном (а не генетическом) смысле, чтобы подчеркнуть своеобразную микроструктуру. Пространство между строматолит/кератолитами (см. рис. 4А) заполнено интракластами и терригенным кварцем песчаной размерности (до 10–15%).

Известняковые песчаники слагают как отдельные слои, так и желобовидные тела (см. рис. 3F) в слоях строматолит/кератолитов. Они на 60% сложены обломками (0.1–1.0 мм) известняков разной степени окатанности. В составе обломков преобладают фрагменты пелитоморфных известняков с терригенным кварцем и их доломитизированных разностей (иногда вплоть до вторичных доломитов). Органогенный материал (30%) представлен в основном раковинами остракод (0.3–1.0 мм). Осадочный материал связан друзовым спаритовым цементом. В некоторых случаях отмечается тонкая горизонтальная градационная или косая слоистость, обусловленная расположением обломочного материала разного происхождения (терригенного и карбонатного).

Строматолитоподобные известняки (микробальные ламиниты) в кровле пачки III состоят из тонких слойков (0.2–2.0 мм толщиной). Микроскопически они также характеризуются кератолитовым строением. Границы между кератолитовыми слойками часто эрозионные, с небольшими карманами, в которые “проваливаются” вышележащие ламиниты.

Интерпретация. Отложения, слагающие пачку III, отлагались в крайне мелководных условиях (литераль). К фациям приливно-отливных равнин, по всей видимости, относятся микробальные ламиниты и строматолит/кератолиты, тогда как известняковые песчаники слагают фации литеральных желобов и мелких сублитеральных отмелей.

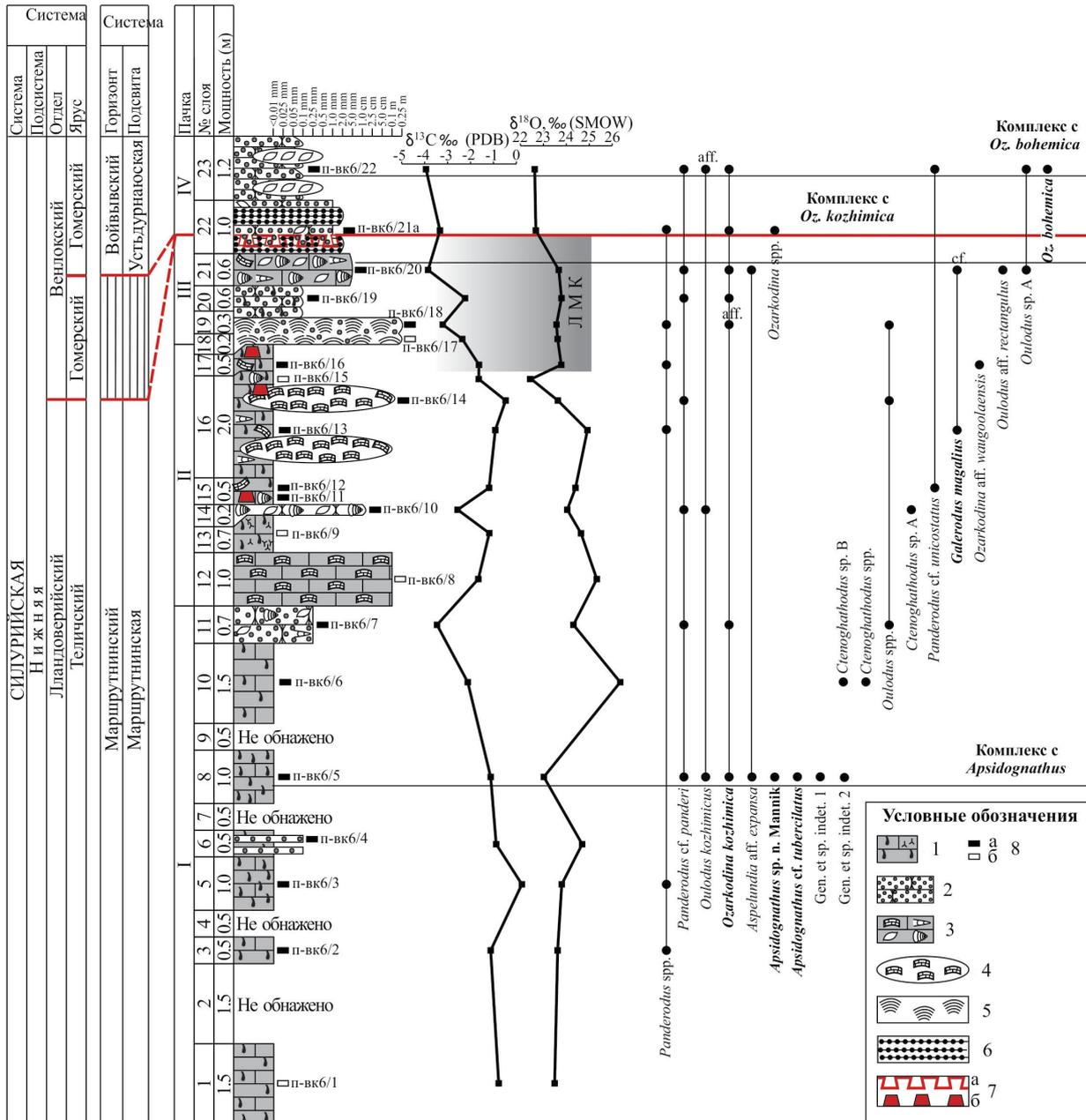


Рис. 2. Литолого-стратиграфическая колонка нижнесилурийских отложений в разрезе П-ВК6 на р. В. Косью и их изотопная характеристика по $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$.

1 – известняки пелитоморфные с глинисто-доломитовыми ходами илоедов (иногда со спикулами губок); 2 – известняковые песчаники, гравелитопесчаники и конгломераты; 3 – известняки биокластовые с пелитоморфным цементом (органические остатки: строматопорониды (вверху слева), ортоцератиды (вверху справа), остракоды (внизу слева), гастроподы (внизу справа)); 4 – известняки биогермные строматопоронидные; 5 – известняки строматолит/кератолитовые; 6 – известняковые ламиниты; 7 – поверхности перерыва (а) и палеокарста (б); 8 – точки отбора проб (а – конодонты обнаружены, б – конодонты не обнаружены). ЛМК – линия метеорного кальцита. Стратиграфически важные конодонты выделены жирным шрифтом.

Fig. 2. The lithological-stratigraphical log of the Lower Silurian deposits in the P-VK6 section on the Verkhnyaya Kos'yu River and their isotopic characteristics according to $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$.

1 – lime mudstones with clayey-dolomite burrows (sometimes with sponge spicules); 2 – calcareous sandstones, gravel-sandstones and conglomerates; 3 – bioclastic wacke-packstones (fossils: stromatoporoids (top left), orthoceratods (top right) ostracodes (base left), gastropods (base right)); 4 – stromatoporid boundstone; 5 – stromatolite/keratolite limestones; 6 – laminites; 7 – sedimentation break surface (a) and palaeokarst features (b); 8 – sampling points (a – conodonts discovered, b – conodonts not found). ЛМК – Meteoric Calcite Line. Stratigraphically important conodonts are shown in bold.

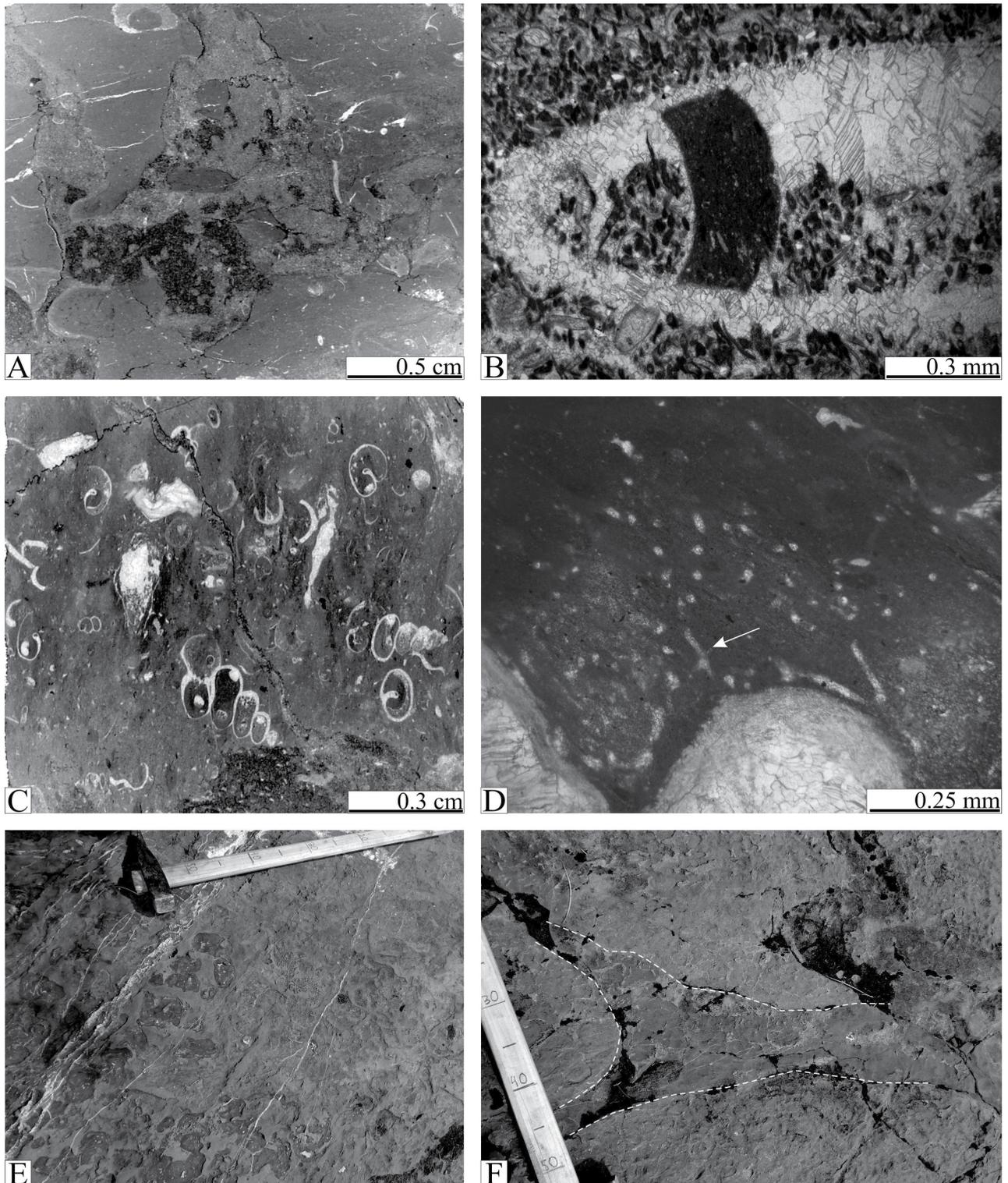
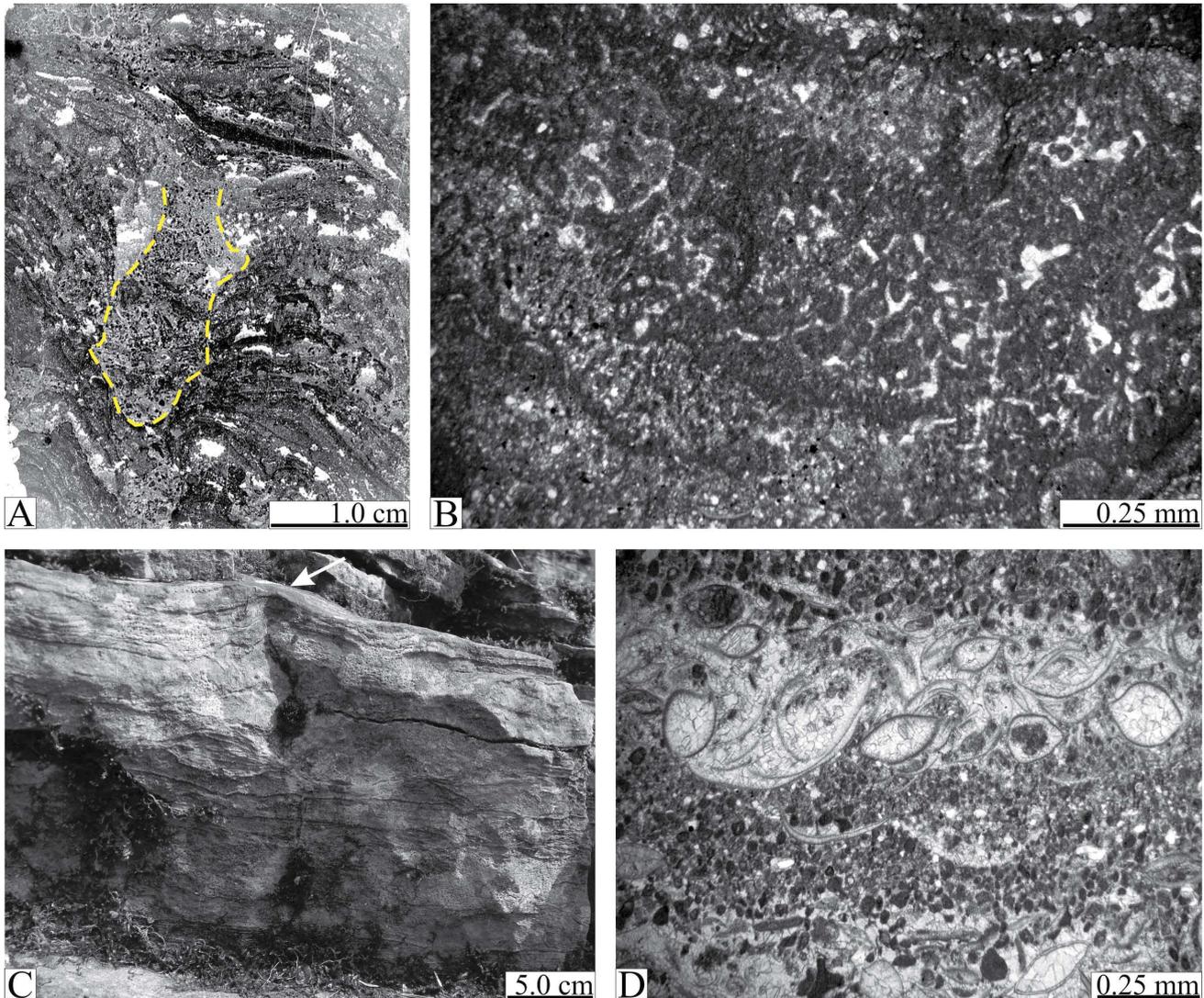


Рис. 3. Основные типы пород разреза П-ВК6.

А. Известняк пелитоморфный с глинисто-доломитовыми ходами илоедов. Шлиф П-ВК6/1-2019. В. Известняковый песчаник с остатками раковины ортоцератиды. Шлиф П-ВК6/7-2019. С. Известняк биокластово-пелитоморфный. Шлиф П-ВК6/116-2019. D. Микритовые (микробиальные) обрастания с кальцитизированными спикулами губок (стрелка) на табулятоморфных кораллах. Шлиф П-ВК6/11с-2019. Е. Биогермные строматопороидные известняки (*слева*), постепенно переходящие в биокластово-пелитоморфные сильно биотурбированные (*справа*) разновидности. Поверхность слоя 16. Полевое фото. F. Вероятный литоральный канал (очерчено белой штриховой линией), заполненный известняковыми песчаниками, в слое строматолит/кератолитов. Поверхность слоя 19. Полевое фото.

Fig. 3. The main rock types of the P-VK6 section.

A. Lime mudstone with the clayey-dolostone burrows. Thin-section P-VK6/1-2019. B. Calcareous sandstone with orthoceratid shell remains. Thin-section P-VK6/7-2019. C. Bioclastic wackestone. Thin-section P-VK6/11b-2019. D. Micritic (microbial) overgrowths with calcified sponge spicules (arrow) on the tabulate coral. Thin-section P-VK6/11c-2019. E. Stromatoporoid boundstones (*left*), gradually passed into highly bioturbated bioclastic wackestones (*right*). Plane of bed 16. Field photo. F. Probable intertidal channel (highlighted by white dashed line) filled with calcareous sandstones in a stromatolite/keratolite layer. Surface of bed 19. Field photo.

**Рис. 4.** Основные типы пород разреза П-ВК6.

A. Известняк строматолит/кератолитовый. Пространство между столбиками (очерчено желтой штриховой линией) заполнено известняковыми песчаниками. Шлиф П-ВК6/18а-2019. B. Кератолитовая микроструктура, характеризующаяся червеобразными светлыми образованиями в микритовом матриксе. Шлиф П-ВК6/21б-2019. C. Чередование известняковых песчаников и микробильных карбонатов (тонкослоистые) с возможными текстурами теппи (белая стрелка). Слой 23. Полевое фото. D. Известняковые песчаники с прослоями остракодовых ракушечников. Шлиф П-ВК6/22-2019.

Fig. 4. The main rock types of the P-VK6 section.

A. Stromatolite/keratolite limestone. The space between the columns (outlined by the yellow dashed line) is filled with calcareous sandstones. Thin-section P-VK6/18a-2019. B. Keratolite microfabric characterized by white vermiform structures in the micritic matrix. Thin-section P-VK6/21b-2019. C. Calcareous sandstones and microbial laminites (thin bedded) alterations with probably tepee structures (white arrow). Bed 23. Field photo. D. Calcareous sandstones with ostracod shellstones intercalation. Thin-section P-VK6/22-2019.

Пачка IV (слои 22–23; мощность 2.0 м) залегает на пачке III со стратиграфическим несогласием (см. подраздел “Биостратиграфический анализ” далее), сопровождающимся поверхностью перерыва. Породы представлены очень тонким (от первых миллиметров до первых сантиметров) неравномерным чередованием известняковых песчаников с тонкой горизонтальной градационной слоистостью и микробиальных ламинитов (см. рис. 4С). Известняковые песчаники более чем на 50% сложены обломками пелитоморфных известняков (0.05–0.10 мм) с примесью (до 10%) терригенного кварца крупноалевритовой размерности. Отмечаются тонкие прослои и линзы (1.0–2.0 мм) остракодовых ракушнякав (см. рис. 4D) с единичными раковинами гастропод и вложенных друг в друга ортоцератид. Цемент – друзовый спарит.

Микробиальные карбонаты частью имеют кератолитовое строение, а иногда выглядят как тонкие прослои пелитоморфных известняков. Макроскопически (в слое 23) они имеют вигвамоподобные выпуклости (текстуры терее?) (см. рис. 4С).

Интерпретация. Состав пород и текстурные особенности свидетельствуют о накоплении осадков пачки IV в условиях верхней литорали и супралиторали (Flügel, 2010).

ПОВЕРХНОСТЬ ПЕРЕРЫВА И ПАЛЕОКАРСТ

Во время полевых исследований была обнаружена только часть элементов палеокарста, сопряженного с перерывом в осадконакоплении. Сама поверхность была установлена только при камеральной обработке каменного материала, а позднее подтверждена анализом фауны конодонтов.

Поверхность перерыва

Поверхность перерыва в осадконакоплении установлена в нижней части слоя 22 (см. рис. 2). Первоначально в поле этот слой был принят за столбчатые строматолитовые постройки. И только при изучении шлифовок и шлифов (рис. 5А) было обращено внимание на то, что отдельные ламины “строматолитов” прослеживаются на одном уровне в разных “столбиках” (см. рис. 5В). Этот факт позволил предположить, что отобранный образец представляет собой закарстованные микробиальные ламиниты. Поверхность перерыва имеет мелкобугристую (высотой до 2.0–3.0 см) поверхность. Ниже нее, в микробиальных ламинитах, также отмечаются каверны неправильной формы размерами от 0.5 мм до 3.0 см. Граница поверхности перерыва и эрозионных карманов с вмещающей породой резкая, с несколько рваными, но сглаженными очертаниями. Микробиальные ламиниты, таким образом, резко обрываются, а не загибаются книзу, как это обычно бывает у столбчатых строматолитов

(см. рис. 4А и 5А, В). Эрозионные карманы заполнены смесью доломитовых и кварцевых зерен (примерно поровну) (0.05–0.10 мм) с более редкими (до 5–10%) обломками микробиальных известняков с кератолитовой микроструктурой (0.2–1.0 мм) и единичными фрагментами остракоид и гастропод (до 2.0 мм). Это заполнение в целом сходно с отложениями вышележащего слоя 22.

Палеокарст

Среди элементов, интерпретируемых нами как подземный палеокарст, установлены два типа палеополостей, различающихся по размеру, форме и заполнению.

Элемент типа 1 встречается в слое 17 (см. рис. 2) и характеризуется субвертикальными (см. рис. 5С, D) палеопустотами шириной 0.5–3.0 мм и длиной до 2.0–3.0 см. Внутри них отмечаются две разновидности цементов (см. рис. 5D): 1) ранние гравитационные кальциты с волнистым погасанием; 2) более поздний блоковый спарит. Первый тип цементов слагает тонкие каемки (шириной от <0.05 до 0.2 мм) на “потолках” палеопустот. Блоковый спарит слагает крупные единичные кристаллы, заполняющие оставшуюся часть полостей. Этот тип цемента отличается от друзовых спаритовых цементов, характерных для вмещающих пород, и, возможно, имеет более позднее происхождение (см. рис 3В, D, 4D).

Элемент типа 2 отмечается в слоях 15 и 16. Это более крупные палеопустоты (от 5.0 до 20.0 см) неправильной или трубкообразной формы, заполненные слоистым глинисто-карбонатным осадком (см. рис. 5Е, F). Этот осадок сложен тонкозернистым доломитом с редкими обломками кальцита с волоконистым погасанием. Слоистость обусловлена изменениями состава осадка (слойки по 0.2–5.0 мм): 1) внизу слой (0.2–2.0 мм) с фрагментами обломков пелитоморфных известняков (0.1–0.5 мм) и кристаллов кальцита (0.1–0.4 мм) с волнистым погасанием (обломки здесь имеют корродированные края), матриксом служит доломит с пелитоморфным кальцитом; 2) более толстые (0.4–1.0 мм) слои серого слабоглинистого тонкозернистого (0.025–0.05 мм) доломита, между которым развит пелитоморфный кальцит; 3) сверху темные глинистые слои с очень мелким доломитом (от <0.01 до 0.02 мм). Границы этих пакетов слоев обычно резкие, тогда как между слоями – постепенные.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ С И О ИЗУЧЕННЫХ ПОРОД

Значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ изученных пород варьируют в пределах $-0.2...-4.0$ и $22.4-26.4\%$ соответственно (табл. 1). В целом не наблюдается каких-либо хорошо заметных закономерностей соотношений

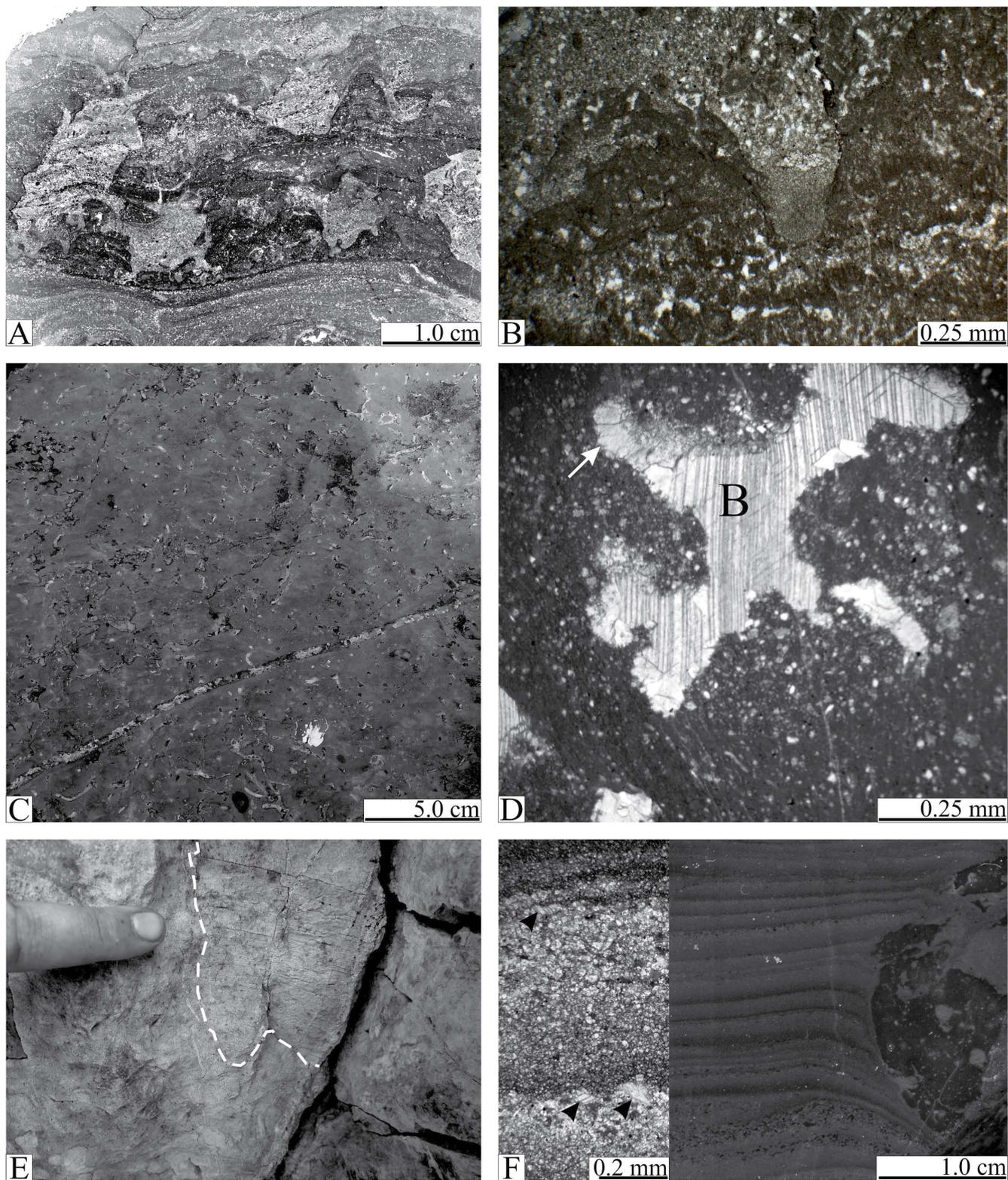


Рис. 5. Поверхность перерыва и палеокарст.

А. Поверхность перерыва с эрозийными карманами и кавернами в микробильных ламинитах. В. Деталь А. Заметно, что ламинация микробильных микритовых образований протягивается по разные стороны от эрозийного кармана. Шлиф П-ВК6/216-2019. С. Червеобразные, заполненные цементами, полости в пелитоморфных известняках слоя 17. Полное фото. Д. Полость в пелитоморфном известняке. Стрелка указывает на гравитационные кальциты с волнистым погасанием. В – блоковый спарит, залечивающий полость. Шлиф П-ВК6/16-2019. Е. Палеокарстовая полость, заполненная

слоистым осадком среди биогермных известняков в верхней части слоя 16. Полевое фото. F. Заполнение палеокарстовой полости тонкослоистым глинисто-карбонатным осадком. Стрелками указаны обломки кальцитов с волнистым погасанием. Слева – шлиф П-ВК6/11сл-2019. Справа – пришлифовка. Обр. П-ВК6/11сл-2019.

Fig. 5. The sedimentation break surface and palaeokarst.

A. Break surface with erosional pockets and voids in the microbial laminites. B. Details of A. It is noticeable that the micritic microbial lamination extends on opposite sides of the erosional pockets. Thin-section P-VK6/21b-2019. C. Fenestral-like voids filled with cements in the lime mudstones of the bed 17. Field photo. D. Void in the lime mudstone. The arrow point to pendand calcites with wavy extinction. bc – blocky sparite that occluding the void. Thin-section P-VK6/16-2019. E. Palaeokarst cavity filled with laminated sediment among boundstones in the bed 16 top. Field photo. F. The palaeokarst void filled with laminated clayey-carbonate sediment. Arrows indicate calcite fragments with wavy extinction. Left – thin section P-VK6/11sl-2019. Right – slab. Sample P-VK6/11sl-2019.

Таблица 1. Значения $\delta^{13}\text{C}$ (V-PDB) и $\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW) для пород разреза П-ВК6, р. В. Косью, Северный Урал

Table 1. $\delta^{13}\text{C}$ (V-PDB) and $\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW) values for rocks of the P-VK6 section, Verkhnyaya Kos'yu River, Northern Urals

№ обр.	Пачка	Слой	Тип породы	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰
п-вк6/1	I	1	Известняк пелитоморфный с глинисто-доломитовыми ходами илоедов	-0.8	23.5
п-вк6/2		3	То же	-1.0	23.6
п-вк6/3		4	–“–	-0.2	23.8
п-вк6/4		6	Известняковый песчаник	-0.9	24.7
п-вк6/5		8	Известняк пелитоморфный с глинисто-доломитовыми ходами илоедов	-1.1	23.0
п-вк6/6		10	То же	-2.1	26.4
п-вк6/7		11	Известняковый песчаник	-3.5	24.3
п-вк6/8	II	12	Известняк биокластовый с пелитоморфным цементом	-1.7	25.3
п-вк6/9		13	Известняк биогермный с пелитоморфным цементом	-1.2	24.6
п-вк6/10		14	Известняковый песчаник	-2.6	24.0
п-вк6/11		15	Известняк биокластовый с пелитоморфным цементом	-1.2	24.4
п-вк6/11сл		15	Заполнение палеокарста типа 2	-2.0	25.9
п-вк6/12		15	Известняк пелитоморфный с глинисто-доломитовыми ходами илоедов	-0.7	24.3
п-вк6/13		16	Известняк биокластовый с пелитоморфным цементом	-0.9	24.9
п-вк6/14		16	Известняк биогермный с пелитоморфным цементом	-0.5	23.6
п-вк6/15		16	Заполнение палеокарста типа 2	-1.6	22.4
п-вк6/16		17	Известняк пелитоморфный с глинисто-доломитовыми ходами илоедов	-1.6	23.8
п-вк6/17	III	18	Известняк строматолит/кератолитовый	-2.4	23.6
п-вк6/18		19	Известняковый песчаник	-3.6	23.6
п-вк6/19		20	То же	-2.2	23.8
п-вк6/20		21	Известняк биокластовый с пелитоморфным цементом	-3.9	23.7
п-вк6/21a	IV	22	Микробильный ламинит с закарстованной поверхностью	-3.3	22.6
п-вк6/22		23	Известняковый песчаник	-4.0	22.6

стабильных изотопов С и О от типов пород. Однако здесь важно отметить, что породы выше уровня перерыва в осадконакоплении (обр. п-вк6/21 и п-вк6/22) имеют более легкие $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, а породы части разреза непосредственно ниже него (обр. п-вк6/16–п-вк6/20) характеризуются несколь-

ко более легкими, но значительно варьирующими $\delta^{13}\text{C}$ (-3.9...-1.6‰) и однообразными значениями $\delta^{18}\text{O}$ (23.6–23.8‰). Породы нижней части разреза (пачки I–II; обр. п-вк6/1–п-вк6/14) имеют изменчивые $\delta^{13}\text{C}$ (-3.5...-0.2‰) и $\delta^{18}\text{O}$ (23.0–26.4‰). Заполнение элементов палеокарста типа 2 характеризу-

ется $\delta^{13}\text{C}$ -2.0‰ – -1.6‰ , что в целом значительно легче значений вмещающих их пород на 0.8‰ – 1.1‰ , но они имеют существенный “разлет” по $\delta^{18}\text{O}$ (22.4 и 25.9‰).

БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ПО КОНОДОНТАМ

Конодонты из отложений нижнего силура р. В. Косью изучены впервые. По таксономическому составу в разрезе выделена последовательность из трех различных комплексов конодонтов. Первые элементы встречены на 3 м выше основания разреза (слои 3–6) и представлены *Panderodus Eitinghton* и *Aspelundia Savage*.

В интервале верхняя часть пачки I – пачка III установлен относительно разнообразный комплекс с *Apsidognathus* sp. n. Männik (см. рис. 2). Совместное присутствие в составе комплекса видов *Apsidognathus* sp. n. Männik (рис. 6, фиг. 5) и *Galerodus magalius* Melnikov (см. рис. 6, фиг. 3а, б; 6а, б) указывает на принадлежность вмещающих отложений к маршрутнинскому горизонту телического яруса (Männik et al., 2000).

Сходные по таксономическому составу комплексы, в составе которых встречаются виды *Apsidognathus* cf. *tuberculatus* Walliser (см. рис. 6, фиг. 4), *Apsidognathus* sp. n. Männik, *Ozarkodina kozhimica* Melnikov (см. рис. 6, фиг. 2а, б) и *Oulodus kozhimicus* Melnikov, известны из маршрутнинского горизонта западного склона Приполярного Урала (Жемчугова и др., 2001; Соколова, 2022), гряды Чернышева (Шеболкин, Мянник, 2014), из I и II пачек лландоверийско-венлокского интервала на гряде Чернова (Безносова и др., 2014) и средней свиты телического яруса архипелага Северная Земля (Männik et al., 2009).

Конодонты из отложений, непосредственно подстилающих эрозионную поверхность, в настоящий момент не установлены.

В основании пачки IV, над эрозионной поверхностью, установлен крайне обедненный по таксономическому составу комплекс с *Ozarkodina kozhimica* Melnikov. Нижняя граница комплекса не определена и ограничена поверхностью перерыва в осадконакоплении.

В составе третьего комплекса в средней части пачки IV совместно с региональным видом *Oz. kozhimica* Melnikov определен вид широкого географического распространения *Ozarkodina bohemica* (Walliser), представленный единичной ювенильной формой (см. рис. 6, фиг. 1а, б).

Появление, расцвет и вымирание регионально-го вида *Oz. kozhimica* Melnikov связаны с Тимано-Североуральским палеобассейном. Наиболее древние находки этого таксона установлены в верхней части филиппельского горизонта лландоверийского отдела (Sokolova, 2018). Широкое распростра-

нение *Oz. kozhimica* Melnikov характеризует отложения войвывского горизонта венлокского отдела (Мельников, 1999). Последние находки *Oz. kozhimica* Melnikov известны в основании падимейтывисского горизонта лудловского отдела силура немного выше первых находок зональных брахиопод *Greenfieldia uberis* T. Modzalevskaya (Matveev et al., 2020; Матвеев, Безносова, 2023).

Развитие второго вида *Ozarkodina bohemica* (Walliser) не связано с Тимано-Североуральским регионом, и его появление здесь, предположительно, определяется периодами трансгрессий. Наиболее древние экземпляры *Oz. bohemica* (Walliser) известны из зоны *Ozarkodina sagitta sagitta* (верхи шейнвудского яруса и нижняя часть гомерского яруса) о-ва Готланд (Jeppsson, 1997). Широкое распространение вид получает с середины гомерского яруса венлокского отдела (Calner, Jeppsson, 2003), пересекает границу венлок – лудлов и встречается в нижней части лудловского яруса вплоть до конодонтовой интервал-зоны *Kockelella variabilis variabilis* включительно (Slavik, 2014). В Тимано-Североуральском регионе находки элементов этого вида известны в составе лудловского комплекса конодонтов с *Oz. densidentata* Viira и *Wurmiella* cf. *excavata* (Branson et Mehl) из разреза р. Падимейтывис гряды Чернова (Антропова, Соколова, 2016; коллекция ИГ ФИЦ КомиНЦ УрО РАН № 716).

С учетом изложенных данных пачка IV по совместным находкам *Oz. kozhimica* Melnikov и *Oz. bohemica* (Walliser) отнесена к войвывскому горизонту. Возраст отложений датирован как поздневенлокский (гомерский).

В образцах, представляющих заполнение палеокарста, конодонтовые элементы или не обнаружены (обр. П-ВК 6/15) или представлены единичными экземплярами родов *Panderodus* Eitinghton и *Ozarkodina* Branson et Mehl (обр. П-ВК 6/11сл.), не определенных до вида.

ОБСУЖДЕНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Обнаруженная поверхность перерыва в осадконакоплении (слой 21) и самые нижние элементы подземного палеокарста в слое 15 позволяют предположить, что глубина растворения карбонатных пород составляла не менее 5 м. Однако сначала необходимо обсудить время формирования перерыва.

Время перерыва в осадконакоплении

Биостратиграфический анализ показывает, что карстованию подверглись породы маршрутнинского горизонта телического яруса (см. рис. 2). Небольшая видимая мощность отложений (~2.0 м), перекрывающих эрозионную поверхность, с признаками палеокарста и одновременное присутствие

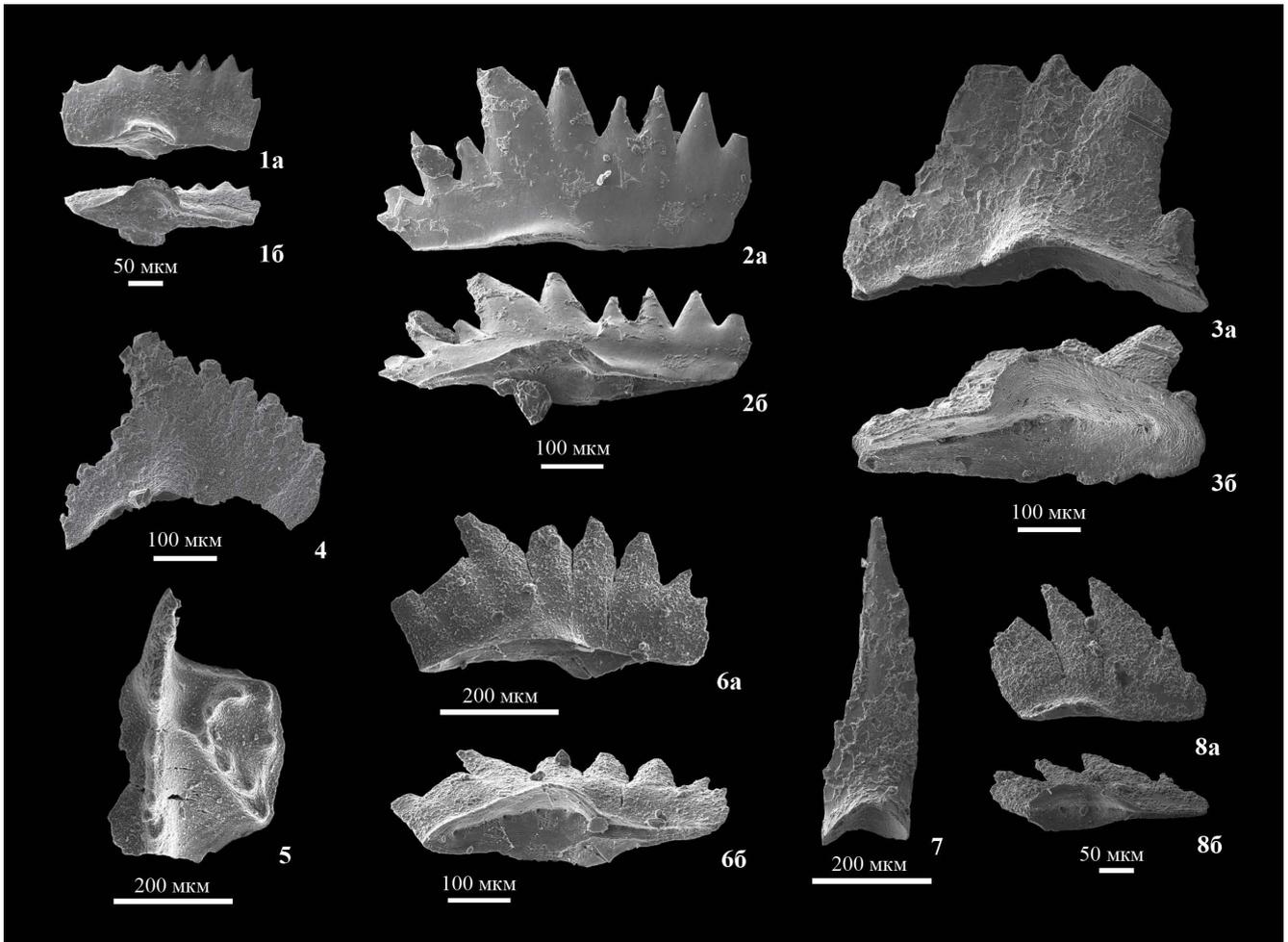


Рис. 6. Стратиграфически важные виды конодонтов из пограничных отложений маршрутинского горизонта лландоверийского отдела и войвывского горизонта венлокского отдела разреза П-ВК 6 р. В. Косью. Музейная коллекция № 730.

Фиг. 1 – *Ozarkodina bohémica* (Walliser, 1964), обр. П-ВК 6/22: 1а – Ра-элемент, вид сбоку, 1б – вид со стороны базальной полости, музейный номер 730/2; фиг. 2 – *Ozarkodina kozhimica* Melnikov, 1999, обр. П-ВК 6/22: 2а – Ра-элемент, вид сбоку, 2б – вид со стороны базальной полости, музейный номер 730/3; фиг. 3 – *Galerodus cf. magalius* Melnikov, 1987, обр. П-ВК 6/20: 3а – Рb-элемент, вид сбоку, 3б – вид со стороны базальной полости, музейный номер 730/11; фиг. 4 – *Apsidognathus cf. tuberculatus* Walliser, 1964, обр. П-ВК 6/5: Рb-элемент, вид сбоку, музейный номер 730/29; фиг. 5 – *Apsidognathus* sp. n. Männik, обр. П-ВК 6/5: Ра-элемент, вид сверху, внешняя часть платформы частично обломана, музейный номер 730/35; фиг. 6 – *Galerodus magalius* Melnikov, 1987, обр. П-ВК 6/13: 6а – Ра-элемент, вид сбоку, 6б – вид со стороны базальной полости, музейный номер 730/34; фиг. 7 – Gen. et sp. indet., обр. П-ВК 6/5, конусовидный-элемент, вид с внутренней стороны, музейный номер 730/27; фиг. 8 – Gen. et sp. indet., обр. П-ВК 6/5, листовидный элемент: 8а – вид сбоку, 8б – вид со стороны базальной полости, музейный номер 730/28.

Fig. 6. Stratigraphically important conodont species from boundary deposits throughout the Marshrut regional stage of the Llandovery and Vojvyv regional stage of the Wenlock from the P-VK6 section, Verkhnyaya Kos'yu River. Museum collection No. 730.

1 – *Ozarkodina bohémica* (Walliser, 1964), sample P-VK6/22: 1a – Pa-element, side view, 1b – view from the basal cavity, museum no. 730/2; 2 – *Ozarkodina kozhimica* Melnikov, 1999, sample P-VK6/22: 2a – Pa-element, side view, 2b – view from the basal cavity, museum no. 730/3; 3 – *Galerodus cf. magalius* Melnikov, 1987, sample P-VK6/20: 3a – Pb-element, side view, 3b – view from the basal cavity, museum no. 730/11; 4 – *Apsidognathus cf. tuberculatus* Walliser, 1964, sample P-VK6/5: Pb-element, side view, museum no. 730/29; 5 – *Apsidognathus* sp. n. Männik, sample P-VK6/5: Pa-element, top view, the outer part of the platform is partially broken, museum no. 730/35; 6 – *Galerodus magalius* Melnikov, 1987, sample P-VK6/13: 6a – Pa-element, side view, 6b – view from the basal cavity, museum no. 730/34; 7 – Gen. et sp. indet., sample P-VK6/5, cone-shaped element, view from the inside, museum no. 730/27; 8 – Gen. et sp. indet., sample P-VK6/5, leaf-shaped element: 8a – side view, 8b – view from the basal cavity, museum no. 730/28.

видов *Oz. kozhimica* Melnikov и *Oz. bohémica* (Walliser) позволяют предположить отсутствие в изученном разрезе отложений по крайней мере шейнвудского яруса венлокского отдела.

Так, мощность отложений венлокского возраста в стратотипическом разрезе войвывского горизонта в бассейне р. Щугор на западном склоне Урала составляет 62 м (Безносова и др., 2016), в полном мелководном разрезе венлока на р. Изьяю гряды Чернышева – 30 м (Шеболкин, Мянник, 2014; Шеболкин, 2023). В бассейне р. Кожым западного склона Приполярного Урала, где установлен перерыв в осадконакоплении на границе лландовери и венлока, мощность отложений венлокского возраста составляет ~50 м (Безносова, 2008).

Детальные литологические и геохимические исследования разреза венлока на р. Изьяю гряды Чернышева показали, что самыми мелководными являются отложения шейнвудского яруса (Шеболкин, 2023). Этот факт, а также отсутствие нижевенлокских отложений на западном склоне Приполярного Урала (Безносова и др., 2020; Безносова, Матвеев, 2024) регистрирует снижение относительного уровня моря в это время. По всей видимости, установленный в настоящей работе перерыв в осадконакоплении также был связан с этим событием.

Изотопные индикаторы перерыва в осадконакоплении

Поверхность перерыва в осадконакоплении, как было показано, имеет бугристую поверхность с эрозионными карманами. Эта поверхность подчеркивается также изотопными данными. Дж.Р. Аллан и Р.К. Мэттьюс (Allan, Matthews, 1982) при изучении изотопных сигнатур под важными субэаральными поверхностями разного возраста (карбон, мел) установили следующую закономерность: изменчивость значений $\delta^{13}\text{C}$ при неизменных значениях $\delta^{18}\text{O}$. Впоследствии К. Лохманн (Lohmann, 1988) назвал этот тренд линией метеорного кальцита (Meteoritic Calcite Line), которая охватывает большинство вариаций, представленных в системе метеорных вод. Так как состав метеорных вод может варьировать как географически, так и со временем, обладая уникальными значениями, $\delta^{18}\text{O}$ линии метеорного кальцита для каждого разреза и изученной локации определяется отдельно (Lohmann, 1988). Им же была предложена закономерность обратной (inverted) 'J', описывающая диагенетический путь метеорного диагенеза (Lohmann, 1988), где более утяжеленные $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ будут близки к первичным значениям осадка.

Применительно к разрезу П-ВК6 предполагаемая линия метеорного кальцита (рис. 7, ЛМК) хорошо определяется непосредственно ниже уста-

новленной поверхности перерыва (слои 17–21, см. рис. 2). Этот интервал характеризуется изменчивыми значениями $\delta^{13}\text{C}$ (–3.9...–1.6‰) и однообразными – $\delta^{18}\text{O}$ (23.6–23.8‰). Однако в целом по разрезу тренд типа обратной 'J' заметен слабо. На рис. 7 он выделен с достаточной долей условности, так как $\delta^{18}\text{O}$ ЛМК несколько тяжелее ожидаемых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, во время исследований установлено следующее.

1. Впервые в разрезе западного склона Северного Урала (разрез р. В. Косью, бассейн р. Ильч) литологическими, палеонтологическими и геохимическо-изотопными методами обоснован ранневенлокский перерыв в осадконакоплении. Диапазон перерыва по совместным находкам *Ozarkodina kozhimica* Melnikov и *Ozarkodina bohémica* (Walliser) в перекрывающих отложениях предположительно соответствует объему шейнвудского яруса венлокского отдела. Этот вывод согласуется с данными из более северных разрезов (западный склон Приполярного Урала, гряда Чернышева), изученных ранее другими авторами.

2. В строении разреза П-ВК6 на р. В. Косью, бассейн верхнего течения р. Ильч, выделены четыре пачки, отвечающие постепенному падению относительного уровня моря (пачки I–III), перерыву в осадконакоплении и развитию палеокарста, а также покрывающие их отложения литорали и супралиторали (пачка IV).

3. Биостратиграфический анализ показал, что карстованию подверглись отложения маршрутинского горизонта лландоверийского отдела, что устанавливается по присутствию родов конодонтов *Apsidognathus* Walliser и *Galerodus* Melnikov. Отложения войвывского горизонта венлокского отдела перекрывающие поверхность перерыва палеокарста включают поздневенлокский комплекс конодонтов с *Ozarkodina bohémica* (Walliser) и *Ozarkodina kozhimica* Melnikov.

4. Поверхность перерыва представляет собой изрезанную и бугристую поверхность микробиальных ламинитов. Развитие палеокарста интерпретируется из нахождения субвертикальных палеополостей с остатками ранних гравитационных цементов с волокнистым погасанием. Они отмечаются на глубине до 2.5 м ниже поверхности перерыва, тем самым отмечая вероятную глубину вадозной зоны. Литологические наблюдения также подтверждаются изотопными данными: изменчивые значения $\delta^{13}\text{C}$ (–3.9...–1.6‰) и неизменные значения $\delta^{18}\text{O}$ (23.6–23.8‰) ниже поверхности перерыва повторяют линию метеорного кальцита – одну из универсальных изотопных закономерностей, позволяющих успешно диагностировать вадозный диагенез.

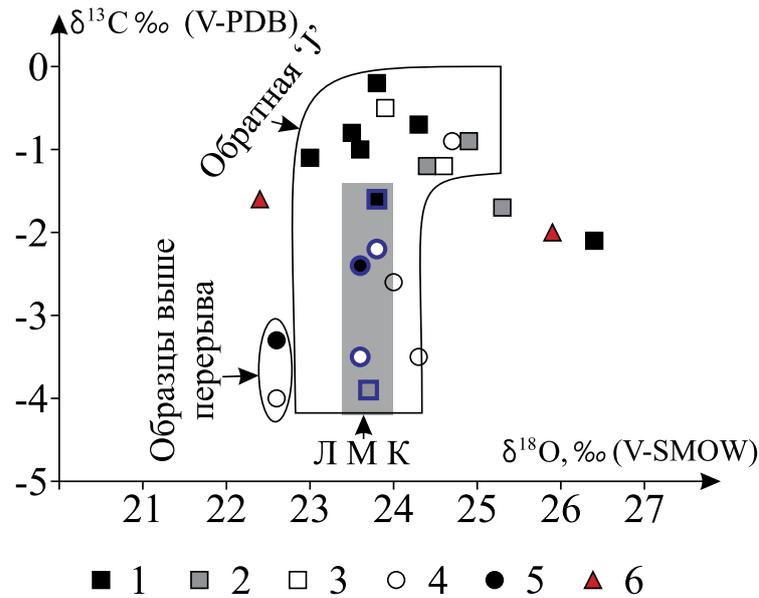


Рис. 7. График значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ нижнесилурийских пород в разрезе П-ВК6, р. В. Косью, Северный Урал.

1 – Известняк пелитоморфный с глинисто-доломитовыми ходами илоедов; 2 – известняк биокластовый с пелитоморфным цементом; 3 – известняк биогермный с пелитоморфным цементом; 4 – известняковый песчаник; 5 – строматолит/кератолит; 6 – заполнение элементов палеокарста типа 2. Значки с синей жирной окантовкой – образцы из разреза непосредственно ниже палеокарста (предполагаемой метеорной зоны).

Fig. 7. Graph of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of the Lower Silurian rocks of the P-VK6 section, Verkhnyaya Kos'yu River, Northern Urals.

1 – lime mudstones with clayey-dolostone burrows; 2 – bioclastic wacke-packstones; 3 – boundstones with micritic matrix; 4 – calcareous sandstones; 5 – stromatolite/keratolite; 6 – paleokarst features fill of type 2. Icons with blue bold rims are samples from the interval immediately below the palaeokarst (putative meteoric zone).

5. В нижней части развития палеокарстовых полостей (до 5.0 м ниже поверхности перерыва) отмечается заполнение внутренними осадками. Эти осадки представляют собой большей частью нерастворимый остаток вмещающих пород: глинистые минералы, доломиты, конодонты, с незначительной примесью обломков ранних гравитационных цементов с волнистым погасанием и мелких фрагментов пелитоморфных известняков.

Благодарности

Во время полевых исследований неоценимую помощь оказали С.Т. Неверов и В.М. Михайлов. Качественная съемка конодонтовых элементов на электронном микроскопе была проведена В.А. Радаевым и И.Л. Потаповым. Анализ изотопного состава С и О был сделан И.В. Смолевой. Всем этим лицам авторы выражают свою благодарность. Кроме того, авторы глубоко признательны А.И. Антошкиной, Т.В. Майдль, А.В. Журавлеву, А.Н. Сандуле и А.Н. Шадрину за консультации, рекомендации и сомнения. Это значительно помогло при работе со статьей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антошкина А.И., Афанасьев А.К., Безносова Т.М. (1989) Новая стратиграфическая схема верхнего ордовика и силура севера Урала (елецкая зона). Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 16 с.
- Антропова Е.В., Соколова Л.В. (2016) Новые данные о силурийских строматопороидеях и конодонтах разреза р. Падиметывис (поднятие Чернова). Структура, вещество, история литосферы Тимано-Северорусского сегмента: материалы XV Геол. съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар: Геопринт, 1-7.
- Безносова Т.М. (2008) Сообщества брахиопод и био-стратиграфия верхнего ордовика, силура и нижнего девона северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия. Екатеринбург: УрО РАН, 217 с.
- Безносова Т.М., Лукин В.Ю. (2009) Войвывский горизонт – новое стратиграфическое подразделение. Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: материалы XV Геол. съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 15-18.
- Безносова Т.М., Матвеев В.А. (2024) Стратотипический разрез войвывского горизонта венлока (западный склон Приполярного Урала). Литосфера, 24(1), 81-97.

- <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2024-24-1-81-97>
Безносова Т.М., Мянник П. (2005) Граница лландовери и венлока на севере палеоконтинента Балтия. *Докл. АН*, **401**(5), 1-4.
- Безносова Т.М., Лукин В.Ю., Мянник П. (2016) Возраст горизонтов нижнего силура Европейского Северо-Востока. *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*, **263**(11), 10-14. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2016-11-10-14>
- Безносова Т.М., Матвеев В.А., Шамсутдинова Л.Л. (2020) Новые данные по стратиграфии и обновленная схема корреляции верхнего ордовика и силура Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции и Севера Урала. *Изв. Коми НЦ УрО РАН. Сер.: Науки о Земле*, **46**(6), 75-89. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2020-6-75-89>
- Безносова Т.М., Мянник П., Майдль Т.В., Лукин В.Ю., Матвеев В.А. (2014) Условия осадконакопления и биота на рубеже лландовери и венлока (поднятие Чернова). *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*, **231**(3), 14-18.
- Беляева Н.В., Юдин В.В., Корзун А.Л., Беляев А.А., Родыгин В.Р., Гринько Т.Г., Безносова Т.М., Антошкина А.И., Михайлова З.П., Степанчук Я.В. (1997) Глубинное строение западного склона Урала в районе Сочьинской антиклинали (по данным бурения параметрической скважины 1-Верхняя Сочь). Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 80 с.
- Варсанюфьева В.А. (1940) Геологическое строение территории Печоро-Ильчского государственного заповедника. *Тр. Печоро-Ильчского гос. заповедника*, вып. 1, 5-214.
- Жемчугова В.А., Мельников С.В., Данилов В.Н. (2001) Нижний палеозой Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия образования, нефтегазоносность). М.: Академия горных наук, 110 с.
- Иванов К.С. (1987) Методы поисков и выделения конодонтов. Методические рекомендации. Свердловск, УНЦ АН СССР, 117 с.
- Матвеев В.А., Безносова Т.М. (2023) Характеристика отложений верхнего венлока и нижнего лудлова в опорном разрезе силура на поднятии Чернова (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция). *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, **18**(4). https://doi.org/10.17353/2070-5379/46_2023
- Мельников С.В. (1999) Конодонты ордовика и силура Тимано-Североуральского региона. СПб.: ВСЕГЕИ, 136 с.
- Объяснительная записка к стратиграфическим схемам Урала (докембрий, палеозой) (1994) (Сост. Н.Я. Анцыгин). Екатеринбург. 95 с.
- Опорные разрезы верхнего силура и нижнего девона Приполярного Урала (1983) (Отв. ред. В.С. Цыганко, В.А. Черных). Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 74 с.
- Опорные разрезы верхнего ордовика и нижнего силура Приполярного Урала (1987) (Отв. ред. В.С. Цыганко, В.А. Черных). Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1987, 94 с.
- Соколова Л.В. (2022) Конодонты лландовери (нижний силур) обнажения 229 на р. Кожым (западный склон Приполярного Урала). *Региональная геология и металлогения*, **91**, 45-51. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2022_91_45-51
- Шеболкин Д.Н. (2023) Особенности состава, строения и условий формирования венлокских отложений южной части гряды Чернышева (Тимано-Североуральский регион). *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, **18**(1). https://doi.org/10.17353/2070-5379/9_2023
- Шеболкин Д.Н., Мянник П. (2014) Венлокские отложения южной части гряды Чернышева (Тимано-Североуральский регион). *Литосфера*, (1), 33-40.
- Юдин В.В. (1983) Варисциды Северного Урала. Л.: Наука, 173 с.
- Юдин В.В. (1994) Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: УИФ "Наука", 286 с.
- Allan J.R., Matthews R.K. (1982) Isotope signatures associated with early meteoric diagenesis. *Sedimentology*, **29**, 797-817.
- Calner M., Jeppsson L. (2003) Carbonate platform evolution and conodont stratigraphy during the middle Silurian Mulde Event, Gotland, Sweden. *Geol. Mag.*, **140**(2), 173-203. <https://doi.org/10.1017/S0016756802007070>
- Flügel E. (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks, analysis, interpretation and application*. Berlin: Springer, 984 p.
- Jeppsson L. (1997) A new latest Telychian, Sheinwoodian and Early Homerian (Early Silurian) Standard Conodont Zonation. *Transactions Royal Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, **88**, 91-114.
- Lee J.-H., Riding R. (2021) Keratolite-stromatolite consortia mimic domical and branched columnar stromatolites. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **571**, 110288. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110288>
- Lohmann K.C. (1988) Geochemical Patterns of Meteoric Diagenesis System and their Application to studies of Paleokarst. *Paleokarst*. Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong: Springer Verlag, 58-80.
- Luo C., Pei Y., Richoz S., Li Q., Reitner J. (2022) Identification and Current Palaeobiological Understanding of "Keratosa"-Type Nonspicular Demosponge Fossils in Carbonates: With a New Example from the Lowermost Triassic, Armenia. *Life*, **12**, 1348. <https://doi.org/10.3390/life12091348>
- Männik P., Antoshkina A.I., Beznosova T.M. (2000) The Llandovery-Wenlock boundary in the Russian Arctic. *Proc. Estonian Academy of Sciences. Geology*, **49**(2), 104-112.
- Männik P., Bogolepova O.K., Põldevere A., Gubanov A.P. (2009) New data on Ordovician-Silurian conodonts and stratigraphy from the Severnaya Zemlya Archipelago, Russian Arctic. *Geol. Mag.*, **146**(4), 497-516.
- Matveev V.A., Beznosova T.M., Gömze L.A. (2020) Wenlock-Ludlow boundary sediments on Chernov uplift (Arctic region of Russia). *Épitoanyag – J. Silicate Based and Composite Materials*, **72**(5), 169-173. <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2020.28>
- Neuwieler F., Kershaw S., Boulvain F., Matysik M., Sendino C., McMeamin M., Munnecke A. (2023) Keratose sponges in ancient carbonates - A problem of interpretation. *Sedimentology*, **70**, 927-969. <https://doi.org/10.1111/sed.13059>
- Slavik L. (2014) Revision of the conodont zonation of the Wenlock-Ludlow boundary in the Prague Synform. *Estonian J. Earth Sci.*, **63**(4), 305-311. <https://doi.org/10.3176/earth.2014.35>
- Sokolova L.V. (2018) The Early Silurian Ozarkodina kozhimica group (Conodonta) from the Subpolar Urals.

Vestnik of Institute of Geology of Komi Science Center of Ural Branch RAS, **286**(10), 30-34. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-10-30-34>

REFERENCES

- Allan J.R., Matthews R.K. (1982) Isotope signatures associated with early meteoric diagenesis. *Sedimentology*, **29**, 797-817.
- Antoshkina A.I., Afanas'ev A.K., Beznosova T.M. (1989) New stratigraphic scheme of the Upper Ordovician and Silurian of the north of the Urals (Yelets zone). Syktyvkar, Komi NTs UrO AN SSSR, 16 p. (In Russ.)
- Antropova E.V., Sokolova L.V. (2016) New data on the Silurian stromatoporoids and conodonts of the Padymejtyvis River section (Chernov Uplift). *Structure, matter, history of the lithosphere of the Timan-Northern Urals segment. Materials of the 25th scientific conference*. Syktyvkar, Geoprint, 1-7. (In Russ.)
- Belyaeva N.V., Yudin V.V., Korzun A.L., Belyaev A.A., Rudygin V.R., Grin'ko T.G., Beznosova T.M., Antoshkina A.I., Mikhailova Z.P., Stepanchak Ya.V. (1997) Deep structure of the western slope of the Urals in the Soch'inskaya anticline (according to parametric well 1-Verkhnyaya Soch' drilling). Syktyvkar, IG Komi NTs URO RAN, 80 p. (In Russ.)
- Beznosova T.M. (2008) Brachiopod communities and biostratigraphy of the Upper Ordovician, Silurian and Lower Devonian of the northerneastern margin of the Baltica palaeocontinent. Ekaterinburg, UrO RAN, 2017 p. (In Russ.)
- Beznosova T.M., Lukin V.Yu. (2009) Vojvyv regional stage - a new stratigraphic division. *Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: Materials of the XV Geological Congress of the Komi Republic. V. II*. Syktyvkar, IG Komi NTc UrO RAN, 15-18. (In Russ.)
- Beznosova T.M., Matveev V.A. (2024) Stratotypic section of the Wenlockian Vojvyv horizon (western slope of the Subpolar Urals). *Lithosphere (Russia)*, **24**(1), 81-97. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2024-24-1-81-97>
- Beznosova T.M., Männik P. (2005) The Llandovery and Wenlock boundary in the north of the Baltic paleocontinent. *Dokl. AN*, **401**(5), 1-4. (In Russ.)
- Beznosova T.M., Lukin V.Yu., Mannik P. (2016) Age of horizons of the Lower Silurian of the European Northeast. *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN*, **263**(11), 10-14. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2016-11-10-14>. (In Russ.)
- Beznosova T.M., Matveev V.A., Shamsytdinova L.L. (2020) New data on stratigraphy and an updated correlation scheme for the Upper Ordovician and Silurian of the Timan-Pechora oil and gas province and the northern Urals. *Izv. Komi NTs UrO RAN. Ser.: Nauki o Zemle*, **46**(6), 75-89. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2020-6-75-89>. (In Russ.)
- Beznosova T.M., Männik P., Maydl' T.V., Lukin V.Yu., Matveev V.A. (2014) Depositional conditions and biota at the Llandovery/Wenlock boundary. *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN*, **231**(3), 14-18. (In Russ.)
- Calner M., Jeppsson L. (2003) Carbonate platform evolution and conodont stratigraphy during the middle Silurian Mulde Event, Gotland, Sweden. *Geol. Mag.*, **140**(2), 173-203. <https://doi.org/10.1017/S0016756802007070>
- Explanatory note to the stratigraphic scheme of the Urals (Precambrian, Paleozoic) (1994) (Ed. by N.Ya. Antsygin). Ekaterinburg, 95 p. (In Russ.)
- Flügel E. (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks, analysis, interpretation and application*. Berlin, Springer, 984 p.
- Ivanov K.S. (1987) *Methods for searching and isolating conodonts*. Guidelines. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 117 p. (In Russ.)
- Jeppsson L. (1997) A new latest Telychian, Sheinwoodian and Early Homerian (Early Silurian) Standard Conodont Zonation. *Transactions Royal Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, **88**, 91-114.
- Lee J.-H., Riding R. (2021) Keratolite-stromatolite consortia mimic domical and branched columnar stromatolites. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **571**, 110288. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110288>
- Lohmann K.C. (1988) *Geochemical Patterns of Meteoric Diagenesis System and their Application to studies of Paleokarst*. Paleokarst. Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong, Springer Verlag, 58-80.
- Luo C., Pei Y., Richoz S., Li Q., Reitner J. (2022) Identification and Current Palaeobiological Understanding of "Keratosa"-Type Nonspicular Demosponge Fossils in Carbonates: With a New Example from the Lowermost Triassic, Armenia. *Life*, **12**, 1348. <https://doi.org/10.3390/life12091348>
- Männik P., Antoshkina A.I., Beznosova T.M. (2000) The Llandovery-Wenlock boundary in the Russian Arctic. *Proc. Estonian Academy of Sciences. Geology*, **49**(2), 104-112.
- Männik P., Bogolepova O.K., Põldevere A., Gubanov A.P. (2009) New data on Ordovician-Silurian conodonts and stratigraphy from the Severnaya Zemlya Archipelago, Russian Arctic. *Geol. Mag.*, **146**(4), 497-516.
- Matveev V.A., Beznosova T.M. (2023) Characterization of Upper Wenlock and Lower Ludlow deposits in the Silurian reference's section on the Chernov Uplift (Timan-Pechora Oil and Gas Province). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, **18**(4). https://doi.org/10.17353/2070-5379/46_2023. (In Russ.)
- Matveev V.A., Beznosova T.M., Gömze L.A. (2020) Wenlock-Ludlow boundary sediments on Chernov uplift (Arctic region of Russia). *Épité anyag – J. Silicate Based and Composite Materials*, **72**(5), 169-173. <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2020.28>
- Mel'nikov S.V. (1999) Conodonts of the Ordovician and Silurian of the Timan-Northern Urals region. Saint Petersburg, VSEGEI, 136 p. (In Russ.)
- Neuwieler F., Kershaw S., Boulvain F., Matysik M., Sendino C., McMeamin M., Munnecke A. (2023) Keratose sponges in ancient carbonates - A problem of interpretation. *Sedimentology*, **70**, 927-969. <https://doi.org/10.1111/sed.13059>
- Reference sections of the Upper Silurian and Lower Devonian of the Subpolar Urals (1983) (Ed. by V.S. Tsyganko, V.A. Chermnykh). Syktyvkar, Komi filial AN SSSR, 74 p. (In Russ.)
- Reference sections of the Upper Ordovician and Lower Silurian of the Subpolar Urals (1987) (Ed. by V.S. Tsyganko, V.A. Chermnykh). Syktyvkar, Komi filial AN SSSR, 94 p. (In Russ.)
- Shebolkin D.N. (2023) Features of the composition, structure and conditions of Wenlock deposits formation in the southern part of the Chernyshev Ridge (Timan-Northern

- Urals region). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, **18**(1). https://doi.org/10.17353/2070-5379/9_2023. (In Russ.)
- Shebolkin D.N., Mannik P. (2014) Wenlock deposits of the southern part of the Chernyshev Ridge (Timan-Northern Urals region). *Lithosphere (Russia)*, **1**, 33-40. (In Russ.)
- Slavik L. (2014) Revision of the conodont zonation of the Wenlock-Ludlow boundary in the Prague Synform. *Estonian J. Earth Sci.*, **63**(4), 305-311. <https://doi.org/10.3176/earth.2014.35>
- Sokolova L.V. (2018) The Early Silurian Ozarkodina kozhimica group (Conodonta) from the Subpolar Urals. *Vestnik of Institute of Geology of Komi Science Center of Ural Branch RAS*, **286**(10), 30-34. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-10-30-34>
- Sokolova L.V. (2022) Conodonts of the Llandovery (Lower Silurian) of the outcrop-229 on the Kozhym River (western slope of the Subpolar Urals). *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, **91**, 45-51. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2022_91_45-51. (In Russ.)
- Varsanof'eva V.A. (1940) Geologic construction of Pechora-Ilych national reserve. *Tr. Pechoro-Ilychskogo gos. zapovednika*, vyp. 1, 1-214. (In Russ.)
- Yudin V.V. (1983) Variscides of the Northern Urals. Leningrad, Nauka Publ., 173 p. (In Russ.)
- Yudin V.V. (1994) Orogenesis of the northern part of Urals and Pai-Khoi. Ekaterinburg, UIF "Nauka", 286 p. (In Russ.)
- Zhemchugova V.A., Mel'nikov S.V., Danilov V.N. (2001) Lower Paleozoic Pechora oil and gas basin (structure, conditions of formation, oil and gas content). Moscow, Akademiya gornykh nauk, 110 p. (In Russ.)