

УДК 553.733.33(234.851)

DOI: 10.24930/2500-302X-2026-26-1-122-143

Отражение глобального среднелудфордского события Лау в разрезе силура на западном склоне Приполярного Урала

Т. М. Безносова, В. А. Матвеев

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

Поступила в редакцию 28.11.2024 г., принята к печати 10.06.2025 г.

Объект исследования. Изложены новые результаты изучения глинисто-карбонатных отложений сизимского горизонта среднего и верхнего лудлова (лудфордия) в опорном разрезе силура на западном склоне Приполярного Урала. **Материалы и методы.** Основой для исследований послужили детальные описания разрезов, представительные коллекции образцов осадочных пород с ископаемой фауной, собранные авторами из отложений верхнего силура в разные годы во время полевых работ на западном склоне Приполярного Урала, поднятиях Чернова и Чернышева, а также полученные новые С-изотопные данные. **Результаты.** Впервые установлен биостратиграфически датированный интервал с положительными значениями $\delta^{13}\text{C}$, маркирующий среднелудфордское изотопное событие Лау в разрезе лудлова на Приполярном Урале. Изотопная кривая имеет отчетливый положительный тренд в этом интервале. Ранее установленный положительный изотопный экскурс раннепржидольского события Клев в основании белушьянского горизонта пржидола фиксирует рубеж лудлова и пржидола в этом же разрезе на Приполярном Урале. **Выводы.** Проведенное комплексное изучение последовательного изменения фаций, состава биоты и поведения стабильных изотопов углерода в разрезе сизимского горизонта способствовало обоснованной идентификации стратиграфического интервала проявления глобального биотического и изотопного среднелудфордского события Лау на западном склоне Приполярного Урала.

Ключевые слова: лудлов, верхний силур, брахиоподы, конодонты, изотопы углерода

Источник финансирования

Исследования проведены в соответствии с темой № 122040600008-5 государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Traces of the global Ludford Lau event in a section of the Silurian Sizim horizon on the western slope of the Subpolar Urals

Tat'yana M. Beznosova, Vladimir A. Matveev

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

Received 28.11.2024, accepted 10.06.2025

Research subject. To present new results obtained when studying clayey-carbonate deposits of the Sizim Regional Stage of the Upper Ludlow in the Silurian reference section on the western slope of the Subpolar Urals. **Materials and methods.** Representative collections of sedimentary rock samples with fossil fauna collected by the authors from Upper Silurian deposits in different years during fieldwork on the western slope of the Subpolar Urals, the Chernov and Chernyshev Uplifts, as well as new C-isotope data, were used. **Results.** For the first time, a biostratigraphically dated interval with positive $\delta^{13}\text{C}$ values marking the Middle Ludford Lau isotope event in the Upper Ludlow section of the Subpolar Urals has been distinguished. The isotope curve has a stepped structure and records a distinct positive trend. The previously determined positive isotope excursion of the Early Pridolian Klev Event at the base of the Belush'ya Regional Stage of the Pridoli marks the boundary of the Ludlow and Pridoli in the same section of the Subpolar Urals. **Conclusions.** The conducted integral study of successive changes in facies, biota composition, and behavior of stable carbon isotopes in the Sizim Regional Stage section on the western slope of the Subpolar Urals made it possible to identify the manifestations of the global biotic and isotopic Middle Ludford Lau Event.

Для цитирования: Безносова Т.М., Матвеев В.А. (2026) Отражение глобального среднелудфордского события Лау в разрезе силура на западном склоне Приполярного Урала. *Литосфера*, 26(1), 122-143. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2026-26-1-122-143>. EDN: JGCVJQ

For citation: Beznosova T.M., Matveev V.A. (2026) Traces of the global Ludford Lau event in a section of the Silurian Sizim horizon on the western slope of the Subpolar Urals. *Lithosphere (Russia)*, 26(1), 122-143. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2026-26-1-122-143>. EDN: JGCVJQ

© Т.М. Безносова, В.А. Матвеев, 2026

Keywords: Ludlow, Upper Silurian, conodonts, brachiopods, carbon isotopes

Funding information

The work was conducted within the framework of the projects No. 122040600008-5 of the Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Scientific Centre UB, RAS

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to I.V. Smoleva, Head of the Isotope Geochemistry Group at the “Geo-science” laboratory of the Institute of Geology at the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, for determining the carbon isotopic composition of carbonate rocks, and to the engineers at the grinding shop of the Institute of Geology at the Komi Science Centre for producing thin sections. We would also like to express our sincere thanks to the two anonymous reviewers for their constructive comments, which helped us to improve this article.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение терригенно-карбонатных отложений средней и верхней частей сизимского горизонта в опорном разрезе верхнего силура на западном склоне Приполярного Урала является частью продолжающихся исследований крупных палеоэкосистемных перестроек, связанных с глобальными биотическими и изотопными событиями в силуре (Beznosova, Matveev, 2022). Цель исследований – установление интегративной истории биотических, экологических и С-изотопных изменений в силурийском Тимано-Североуральском палеобассейне, а также создание сводной региональной шкалы основных изотопных и биотических событий в позднем ордовике и силуре.

Отложения сизимского горизонта на р. Кожым (обн. 236), в котором сохранились следы глобального изотопного и биотического события Лау, в настоящее время являются единственными на западном склоне Приполярного Урала (рис. 1), где последовательно вскрываются отложения средней и верхней частей сизимского горизонта лудлова, а также белушьянского и карповского горизонтов пржидола верхнего силура (рис. 2) (Опорные разрезы..., 1983; Безносова, 2008). В этом же разрезе ранее установлены следы двух глобальных событий – раннепржидольского Клев в силуре (Безносова и др., 2020а) и раннедевонского события Клонк (Юрьева и др., 2002). Событие Лау впервые установлено в разрезе лудлова на о-ве Готланд в Швеции (Jeppsson, 1987). Это самое масштабное геохимическое и биотическое событие в силуре, связанное с кризисом в морской экосистеме и палеоклиматическими изменениями. Биотическое событие сопровождалось вымиранием конодонтов рода *Polygnathoides*, брахиопод отряда Pentamer-

ida, граптолитов и других представителей биоты, а также похолоданием климата (Talent et al., 1993; Urbanek, Teller, 1997; Lehnert et al., 2007a; Trotter et al., 2016).

Положительный изотопный углеродный экскурс и биотическое событие Лау прослежены в разрезах многих регионов – в Австралии (Jeppsson, 1987; Talent et al., 1993, Andrew et al., 1994; Kaljo et al., 1995; Štorch, 1995; Urbanek, Teller, 1997; Munnecke et al., 2003; Jeppsson et al., 2007, 2012; Calner, 2008; Eriksson, Calner, 2008; Frýda, Manda, 2013; Frýda et al., 2020), в США (Корень, 1993; Kaljo et al., 1995; Melchin et al., 1998; Jeppson, Aldridge, 2000; Barrick et al., 2010а, б), в Пражском бассейне (Lehnert et al., 2003, 2007б; Manda, Kříž, 2006; Manda et al., 2012; Frýda, Manda, 2013; Farkaš et al., 2016), в Карнийских Альпах (Wenzel, 1997; Histon, Schönlaub, 1999; Brett et al., 2009), в Англии (Loydell, Frýda, 2011), в разных областях Балтики (Wenzel, Joachimski, 1996; Kaljo et al., 1997; Samtleben et al., 2000; Martma et al., 2005; Calner, Eriksson, 2006; Jeppsson et al., 2007, 2012; Eriksson et al., 2009; Kozłowski, Sobieñ, 2012; Younes et al., 2017; и др.).

Впервые комплекс с конодонтами *Polygnathoides siluricus* Branson et Mehl, указывающий на возможность проявления следов события Лау в разрезе силура Североуральского региона, обнаружил В.Н. Пучков (1973, 1979) в бассейне р. Харуты на Полярном Урале (см. рис. 1). Позже сходный комплекс конодонтов установлен С.В. Мельниковым в отложениях лудлова на Приполярном Урале, в обн. 236 на р. Кожым (Опорные разрезы..., 1983). Первые результаты изучения изотопов углерода из толщи карбонатов в обн. 236, залегающих выше слоев *P. siluricus*, доложены нами на Всероссийском совещании “Геодинамика, вещество, рудоге-

нез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления” в 2017 г. (Безносова и др., 2017).

В этой статье впервые приводится изотопная характеристика средней части сизимского горизонта (сизимской свиты) верхнего лудлова на Приполярном Урале. Проведенные исследования дают основания считать, что ранее опубликованные материалы по среднелудфордскому событию Лау в разрезах верхней части сизимской свиты на Приполярном Урале, а также на поднятиях Чернова и Чернышева (Модзалевская, 1997; Modzalevskaya, Wenzel, 1999; Антошкина, 2018) в действительности соотносятся с проявлением раннепржидольского события Клев (Баранов, Блуджет, 2013; Баранов, 2015; Безносова и др., 2020а).

Основная задача настоящего исследования заключается в представлении новых данных по распределению $\delta^{13}\text{C}$ в стратиграфическом диапазоне проявления события Лау в разрезе средней части сизимского горизонта (лудфордия) верхнего силура на Приполярном Урале, а также в обосновании стратиграфического положения и возраста толщи, слагающей интервал разреза, в котором сохранились следы этого глобального лудфордского события.

Выявление следов глобальных изотопных и биотических событий в палеонтологически обоснованных стратиграфических подразделениях силура Североуральского региона (северо-востока палеоконтинента Балтика) служит инструментом для надежной региональной и глобальной корреляции разновозрастных отложений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для статьи послужили многочисленные коллекции образцов пород и остатков фауны, собранные в разные годы во время полевых работ Т.М. Безносовой, В.А. Матвеевым и П. Мянником. При послыном описании отложений сизимского горизонта в обн. 236 на р. Кожым вскрыты расчистками ранее не изученные интервалы этого разреза общей мощностью 35 м. Собранные коллекции содержат более 100 образцов осадочных пород с ископаемой макрофауной, 22 пробы для определения остатков микрофауны и 102 образца для определения изотопного состава углерода. Нами также учтены ранее опубликованные определения коллекций фаунистических остатков из этого обнажения: остракоды – А.Ф. Абушик (Abushik, 2000), брахиоподы – Т.М. Безносовой (2008) и Т.Л. Модзалевской (1985), конодонты – С.В. Мельникова (1999).

Следует отметить, что описание некоторых новых видов конодонтов из опорного разреза верхнего силура западного склона Приполярного Урала, сделанное С.В. Мельниковым (1999), оказалось незавершенным. Предположительно новые виды, отнесенные к тем или другим родовым таксонам, бы-

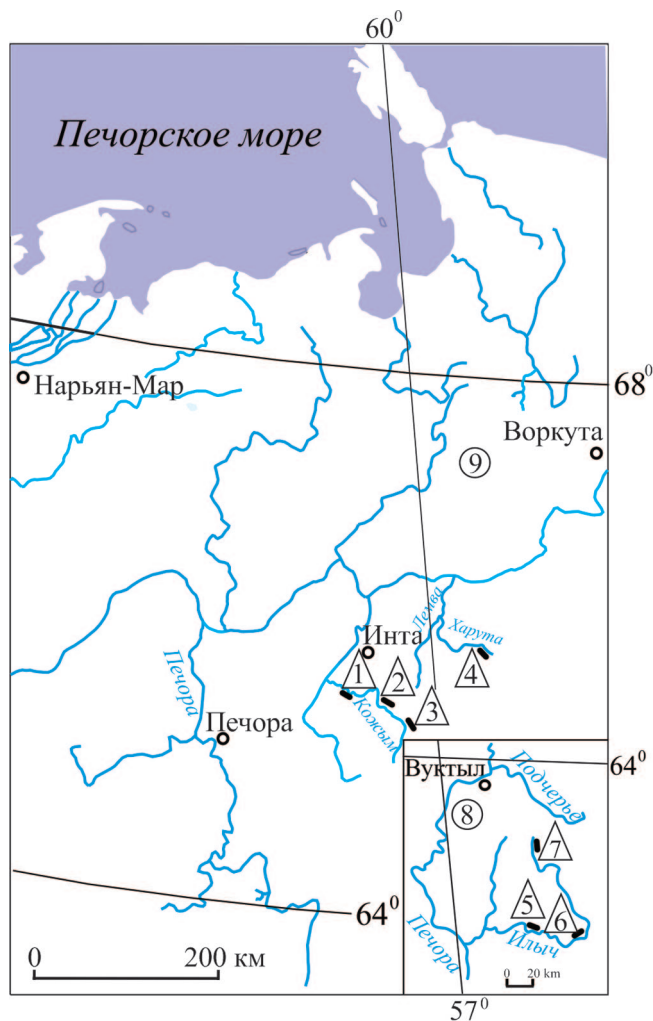


Рис. 1. Схема местонахождений фаунистически подтвержденных разрезов сизимского горизонта лудлова.

1 – обн. 236; 2 – обн. 110; 3 – обн. 74, р. Кожым, западный склон Приполярного Урала; 4 – обн. 15, р. Харута, Полярный Урал; 5 – обн. 107; 6 – обн. 121; 7 – обн. 23Т, р. Илыч, Северный Урал; 8 – скв. 42-Вуктыльская; 9 – скв. 3-Черпауская.

Fig. 1. Scheme of localities, faunally confirmed sections of the Sizim Regional Stage of the Ludlow.

1 – outcrop 236; 2 – outcrop 110; 3 – outcrop 74, the Kozhym River, Western slope of the Subpolar Urals; 4 – outcrop 15, the Kharuta River, Polar Urals; 5 – outcrop 107; 6 – outcrop 121; 7 – outcrop 23T, the Ilych River, Northern Urals; 8 – borehole 42-Vuktylskaya; 9 – borehole 3-Cherpayu.

ли пронумерованы автором, и ссылки на них представлены в нашей работе в авторской номенклатуре.

Биостратиграфически привязанные образцы пород для определения изотопного состава углерода в карбонатных породах сизимского горизонта лудлова и пограничных с ним отложениях белушьянского горизонта пржидола анализировались дважды: в лаборатории изотопной палеоклимато-

ОСШ (2016)				Западный Урал		Североуральский регион		Биостратиграфические зоны					
				Субрегиональные стратиграфические подразделения		Предлагаемая схема							
				(Стратиграфические схемы...), 1993		по (Безносовой и др., 2020б) с дополнениями							
Система	Подсистема	Отдел	Ярус	Надгоризонт	Горизонт	Свита	Подсвита	Горизонт	Свита	Зоны по брахиоподам		Зоны по остракодам, (Abuhsik, 2000)	
Силурийская	Верхняя	Придольский	Горстийский							Гребенский	Гельюский		Гельюская свита
				Гребенской	Карповский	Устьсывьюская		Карповский	Устьсывьюская	<i>A. insignae</i> <i>Gr. parvula</i>	<i>C. canaliculata</i>	<i>C. canaliculata lata</i>	<i>K. katerinae</i> - <i>K. alata</i>
				Гребенской	Белушьянский	Целебейская		Белушьянский	Целебейская	<i>A. scheii</i> - <i>H. pseudogibosa</i>		<i>C. canaliculata trapezoideus</i> <i>C. canaliculata canaliculata</i>	<i>C. grebeni</i> - <i>E. bacata</i>
				Гельюский	Сизимский	Сизимская		Сизимский	Сизимская	<i>D. didyma</i>	<i>D. didyma</i>	<i>D. didyma</i>	?
				Гельюский	Падимейтывисский	Падимейтывисская		Падимейтывисский	Падимейтывисская	<i>Gr. uberis</i>		<i>Gr. uberis</i>	<i>L. paulus</i> - <i>B. posterior</i>
				Гельюский	Падимейтывисский	Падимейтывисская		Падимейтывисский	Падимейтывисская	<i>Gr. uberis</i>		<i>Gr. uberis</i>	<i>S. bicardinata</i> - <i>S. parva</i>

Рис. 2. Схема расчленения верхнесилурийских отложений Североуральского региона, принятая в этой статье.

Fig. 2. Stratigraphic scheme of the Upper Silurian deposits of the North Ural region adopted in this article.

логии Института геологии Таллинского технического университета в Эстонии и в ЦКП “Геонаука” Института геологии Коми НЦ УрО РАН на масс-спектрометре DELTA V Advantage с пробоподготовкой на линии Gas Bench II по стандартной методике. Результаты проведенных изотопно-геохимических анализов показали практически полное совпадение.

Значения $\delta^{13}\text{C}$ измерены в 102 образцах карбонатов и определялись относительно стандарта PDB (Pee Dee Belemnite). Точность определения $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ составляет $\pm 0.04\%$. При калибровке использованы международные стандарты МАГАТЭ NBS18 (calcite) и NBS19 (TS-limestone).

Образцы для литологических и изотопных исследований отбирались в зависимости от характера обнаженности и постседиментационных изменений. Шаг отбора образцов в первой толще разреза сизимского горизонта (40 м) составляет 2 м, во второй (верхней) толще этого разреза – 0.5 м. Материалом для изотопного анализа послужили порошки, полученные высверливанием из предварительно распиленных образцов наименее измененных карбонатных пород. Изготовление шлифов для детального изучения состава пород проводилось в Центре пробоподготовки и обработки каменного материала Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Фотографирование шлифов осу-

ществлялось при помощи программно-аппаратного комплекса оптической микроскопии на микроскопе Olympus VX53 с цифровой камерой EZIS PM.

Коллекции литологических образцов и шлифов – № 712, брахиопод – № 496 и №189/774 – хранятся в Геологическом музее им. А.А. Чернова Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

СТРОЕНИЕ РАЗРЕЗА СИЗИМСКОГО ГОРИЗОНТА

Наши исследования показали, что на Приполярном Урале самые древние отложения сизимского горизонта (нижнего лудфордия) вскрываются в бассейне р. Кожым, в верхней части мощной рифогенной толщи нижнего лудлова, в обн. 74 (рис. 1, 3). Эта толща включает ракушняки с брахиоподами *Conchidium novosemelicum* Nalivkin отряда Pentamerida и немногочисленные отдельные раковины *Didymothyris didyma* (Dalman) хорошей сохранности (Безносова, 2008).

Толща I и верхняя толща II сизимского горизонта в обн. 236 вскрываются в терригенно-карбонатном разрезе, на левом береговом склоне р. Кожым, в 1.3 м ниже устья р. Сывью (см. рис. 1, 3). По нашим данным, общая мощность средней и верхней частей сизимского горизонта в этом разрезе

1 – доломиты; 2–7 – известняки: 3 – доломитизированные, 4 – комковатые, 5 – тонкослоистые, 6 – алевритистые; 7 – глинистые; 8 – аргиллиты; 9 – оолиты; 10 – плоскогалечный конгломерат; 11 – брекчии; 12 – трещины усыхания; 13 – строматолиты; 14 – ракушники; 15 – брахиоподы, 15а – пентамериды; 16 – остракоды; 17 – строматопороиды; 18 – рифогенная толща; 19 – перерыв; 20 – черные углеродистые сланцы. Распространение конодонтов приведено по С.В. Мельникову (Мельников, 1999; Жемчугова и др., 2001), остракод – по А.Ф. Абушику (Опорные разрезы..., 1983).

Fig. 3. Distribution of the main faunal groups in outcrops 236 and 74 in the Kozym River basin, as well as the distribution of $\delta^{13}\text{C}$ values in outcrop 236.

1 – dolomites; 2–7 – limestones: 3 – dolomitized, 4 – lumpy, 5 – thin-layered, 6 – siltstone; 7 – clayey; 8 – mudstones; 9 – oolites; 10 – flat-pebble conglomerate; 11 – breccias; 12 – desiccation cracks; 13 – stromatolites; 14 – shell rock; 15 – brachiopods, 15a – Pentamerids; 16 – ostracods; 17 – stromatoporoids; 18 – reef member; 19 – hiatus; 20 – black carbonaceous shales. The distribution of conodonts is given according to S.V. Mel'nikov (Mel'nikov, 1999; Zhemchugova et al., 2001), ostracods according to A.F. Abushik (Reference sections..., 1983).

зе составляет 86 м, из которых 35 м вскрыты расчистками и ранее не изучались. Интервал разреза в этом обнажении мощностью 45.1 м отвечает средней толще сизимского горизонта (см. рис. 3, толща I). Описание верхней толщи II этого горизонта в этом разрезе опубликовано ранее (Безносова и др., 2020а). В путеводителе полевого семинара (Опорные разрезы..., 1983) приведено описание отложений верхнего лудлова (гердьюского горизонта) в обн. 236 мощностью 51.75 м.

В нижней части обн. 236 известняки темно-серые, серые, тонкоплитчатые, горизонтально-слоистые с брахиоподами *Didymothyris didyma* – зональным видом сизимского горизонта, конодонтами *Polygnathoides siluricus* и комплексом лудловских остракодов перекрывают известняки темно-серые, до черных, со скоплениями брахиопод *Greenfieldia uberis* – зональным видом падимейтывисского горизонта нижнего лудлова (Опорные разрезы..., 1983).

Описание толщи I сизимского горизонта начато от слоев, вскрывающихся в залесенной части левого берега р. Кожым (рис. 4).

1. Известняки серые, микрозернистые, тонкослойчатые, переслаиваются с известняками доломитизированными, микрозернистыми, биокластовыми с брахиоподами *D. didyma* и конодонтами *Adoulodus* sp. 27 Melnikov, 1999. Верхняя граница слоя четкая, ровная. Мощность 7.5 м.

2. Доломиты серые, мелкозернистые (рис. 5а), чередуются с прослоями известняков глинистых, микрозернистых, заключающих отдельные створки раковин брахиопод *D. didyma* и известняков биокластовых с фрагментами мелких раковин остракод. Верхняя граница слоя четкая, ровная. Мощность 8.5 м.

3. Известняки серые, микрозернистые, алевритовые, переслаиваются с доломитами глинистыми, тонкослойчатыми (рис. 5б). Отдельные прослои заключают мелкие перекристаллизованные створки остракод и брахиопод. Верхняя граница слоя четкая, слабоволнистая. Мощность 2.3 м.

4. Известняки серые, микрозернистые, глинистые, комковатые, с прослоями известняков се-

рых, алевритовых, слоистых, переслаиваются с известняками биокластовыми. В шлифах различимы обломки раковин остракод, брахиопод, членики криноидей. Органические остатки не сортированы и не окатаны. Также наблюдается мелкообломочный окатанный материал (до 0.2 мм), сложенный пелитоморфным кальцитом с примесью зерен кварца алевритовой размерности (рис. 5в). Отмечаются прослои известняков (2–3 см) с остракодами *Leiocyamus paulus* Zenkova, *L. variabilis* Abushik, с многочисленными брахиоподами *D. didyma* и скоплениями пелеципод. Выше залегают известняки доломитизированные, серые, микрозернистые, без видимых остатков фауны, с прослойками мелкообломочного материала (до 0.1 мм). Слой завершают доломиты серые, строматопоратовые (0.3 м). Верхняя граница слоя четкая, бугристая. Мощность 6.3 м.

5. Известняки серые, микро- и мелкозернистые, с прослоями известняков биокластовых остракодовых (до 2 см) (рис. 5г) и брахиоподовых (до 4–5 см) с *D. didyma*, переслаиваются с известняками глинистыми полосчатыми. Биокластовый материал слабо сортирован и представлен перекристаллизованными фрагментами брахиопод толсто- и тонкостворчатыми раковинами остракод. В слое определены конодонты *Polygnathoides siluricus*. Верхняя граница слоя четкая, ровная. Мощность 1.75 м.

6. Известняки серые, микрозернистые, тонкослоистые, глинистые, заключают прослои известняков с брахиоподами *D. didyma* и конодонтами *Actenognathodus* sp. 28 Melnikov, 1999. Верхняя граница слоя четкая ровная. Мощность 4.0 м.

7. Доломиты известковистые, голубовато-серые, толстослоистые, с прослоями известняков серых, глинистых, с остракодами *L. paulus* Zenkova и *Beyrichia snoderiana* Martinson. Верхняя граница слоя четкая, ровная. Мощность 3.0 м.

8. Известняки серые, мелкозернистые, полосчатые, заключают целые раковины и отдельные створки брахиопод *D. didyma*, остракод *L. paulus*, *Tollitia minuta* Abushik, *Schrenckia grandis* (F. Schmidt), *Herrmannina hebes*, *B. snoderiana* Martinson, а также конодонты *Actenognathodus* sp.



Рис. 4. Выходы отложений сизимского горизонта на береговом склоне (обн. 236, р. Кожым).

Fig. 4. Outcrops of deposits of the Sizim Regional Stage on the riverside bank slope (outcrop 236, the Kozhym River).

28 Melnikov, 1999, *Stenognathodus* sp. 21 Melnikov, 1999, *Oulodus* sp. 29 Melnikov, 1999. Верхняя граница слоя четкая, ровная. Мощность 7.0 м.

9. Известняки серые, микрозернистые, чередующиеся с известняками глинистыми, алевроитовыми, тонкослоистыми, известняками органогенно-детритовыми с ракушками с брахиоподами *D. didyma*, остракодами *H. hebes*, *S. grandis*, *L. paulus* Zenkova, *L. variabilis* Abushik, *B. snoderiana* и конодонтами *Oulodus* sp. 29 Melnikov 1999. Верхняя граница слоя четкая, слабоволнистая. Мощность 3.7 м.

10. Доломиты известковые, серые, желтовато-серые, мелкозернистые, массивные (рис. 5д), чередуются с прослоями известняков микрокристаллических, тонкоплитчатых, глинистых (0.5 м) с бугристой верхней поверхностью (рис. 6). Верхнюю часть слоя (0.13 м) составляют известняки серовато-коричневые, микрокристаллические, глинистые, био- и литокластовые. Биокластовый материал перекристаллизован и представлен преимущественно фрагментами брахиопод и тонкостенных раковин остракод *H. hebes* (до 0.5 мм). Литокласты окатанной формы состоят из обломков пелитоморфно-

го известняка (до 0.2 мм). Количество остатков фауны в слое увеличивается снизу вверх. На выветрелой поверхности породы наблюдается неясная тонкая полосчатость. В слое определены конодонты *P. siluricus*, *Adoulodus* sp. 32 Melnikov 1999. Верхняя граница слоя четкая мелкобугристая. Мощность 0.9 м.

11. Известняки серые, биокластовые, глинистые, слойчатые. В нижней части слоя известняки микрокристаллические (0.47 м), биокластовые. Органогенный материал (до 70 %) представлен раковинами брахиопод *D. didyma* и остракод *H. hebes*, *S. grandis*, *K. elegans* Abushik, *T. minuta* Abushik, *L. paulus*, *L. variabilis* Abushik, *B. snoderiana* Martinson, а также фрагментами раковин гастропод, члениками криноидей и мелкообломочным материалом (до 5 %). Мелкие фрагменты раковин ориентированы параллельно поверхностям напластования. Более крупные остатки раковинной фауны расположены без ориентировки. В крупных фрагментах раковин наблюдаются комки заполнения. В средней части слоя (0.2 м) известняк темный, серовато-коричневый, микро- и скрытокристаллический, мелкокомковатый, с обилием целых створок остракод (до

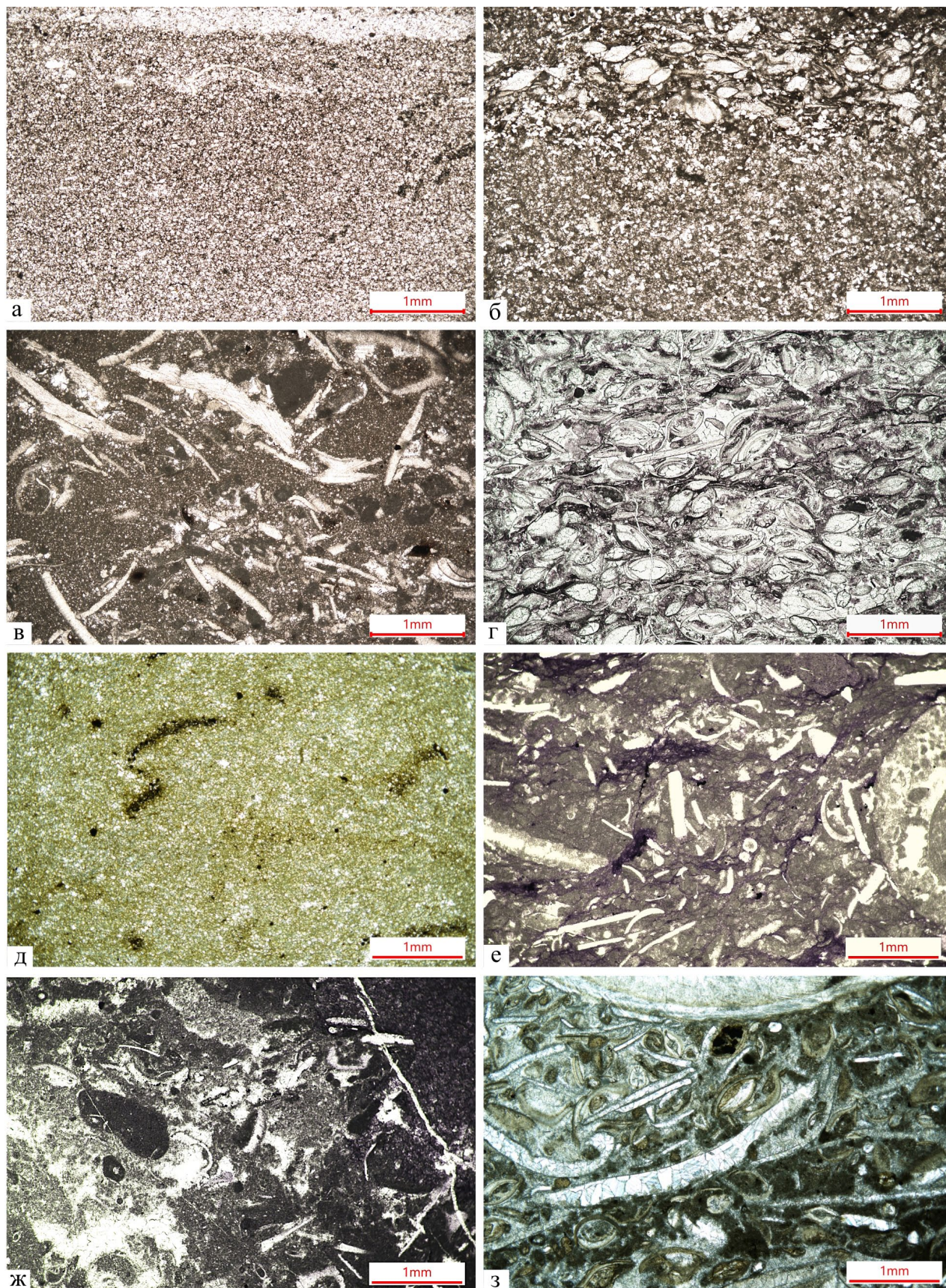


Рис. 5. Основные типы пород первой толщи сизимского горизонта в обн. 236.

а – доломит мелкозернистый, полосчатый (слой 2); б – доломит разномзернистый с линзовидными скоплениями остракод (слой 3); в – известняк биокластовый с обломками пелитоморфного известняка (слой 4); г – известняк биокластовый, остракодовый (слой 5); д – доломит мелкозернистый с неравномерным распределением глинистого вещества (слой 10); е – известняк биокластовый (слой 12); ж – известняк литокластовый (слой 13); з – известняк биокластовый с фрагментами раковин брахиопод и остракод (слой 13).

Fig. 5. Main rock types of the first stratum of the Sizim Regional Stage in outcrop 236.

а – fine-grained, banded dolomite (layer 2); б – inequigranular dolomite with lenticular clusters of ostracods (layer 3); в – bioclastic limestone with fragments of pelitomorph limestone (layer 4); г – bioclastic ostracod limestone (layer 5); д – fine-grained dolomite with uneven distribution of clay matter (layer 10); е – bioclastic limestone (layer 12); ж – lithoclastic limestone (layer 13); з – bioclastic limestone with fragments of brachiopod and ostracod shells (layer 13).

0.7 мм), а также их фрагментов и крупных створок раковин пелеципод *Megalomus* sp. (до 4.5 см). Выше находится прослой известняков остракодовых, в которых раковины ориентированы параллельно поверхности напластования (0.1 м). Слой завершают известняки (0.85 м) темно-коричневые, микро- и скрытокристаллические, тонкослойчатые, с ходами илоедов, выполненными глинистым желтовато-коричневым материалом. Верхняя граница слоя четкая, ровная. Мощность 1.6 м.

12. Известняки темно-серые, биокластовые, остракодовые, в нижней части слоя массивные, с прослоями известняков тонкоплитчатых. Биокласты представлены целыми мелкими раковинами остракод *K. crassa* Abushik, *L. paulus* (до 1 мм), немногочисленными раковинами брахиопод *D. didyma* и гастропод. Створки раковин ориентированы преимущественно параллельно поверхностям напластования. Верхняя часть слоя (1 м) сложена известняками доломитизированными, серовато-коричневыми, тонкокристаллическими, тонкослойчатыми, биокластовыми, с пелоидами. Биокласты (до 40%) представлены целыми створками раковин остракод (до 0.5 мм) и их фрагментами, члениками криноидей (рис. 5е). Наблюдается линзовидная сортировка зернистого материала. Вверх по слою количество органических остатков уменьшается. Верхняя граница слоя четкая, бугристая. Мощность 1.35 м.

13. Известняки голубовато-серые, лито- и биокластовые, глинистые. слойчатые, в нижней части слоя известняки микрокристаллические биокластовые. Органогенный материал (до 70 %) представлен раковинами брахиопод *D. didyma*, крупными раковинами пелеципод *Megalomus* sp. (до 4.5 см), остракод, гастропод, немногочисленными члениками криноидей и мелкообломочным материалом (до 5%) (рис. 5ж). Створки мелких раковин остракод ориентированы параллельно поверхностям напластования, а более крупные биокласты расположены без ориентировки. В средней части слоя (0.3 м) прослой известняков темных, серовато-коричневых, микро-, скрытокристаллических, мелкокомковатых заключают обилие целых несортированных створок остракод (до 0.7 мм) и их фрагментов, ориентированных параллельно по-



Рис. 6. Доломиты серые мелкокристаллические глинистые, слой 10.

Fig. 6. Dolomites are grey fine-crystalline clayey, layer 10.

верхностям напластования. Верхняя часть слоя (0.85 м) сложена известняками темно-коричневыми микро-, скрытокристаллическими, тонкослойчатыми, с ходами илоедов, заполненных желтовато-коричневым глинистым материалом, отдельными створками брахиопод и остракод (рис. 5з). Верхняя граница слоя четкая, ровная и является границей между толщей I и толщей II сизимского горизонта (рис. 7). Мощность 1.6 м.

БИОТА

В лудловское время морская биота существовала в основном в условиях двух экосистем – рифов и ровного дна (Безносова, 2008). Филогенетические преобразования брахиопод ровного дна отряда *Athyridida* в лудлове и пржидоле прослежены Т.Л. Модзалевской (1985).

Небольшие глубины и сходные фациальные обстановки на значительной территории североуральского палеобассейна в лудлове обусловили эволюционную направленность в развитии позднесилурийских брахиопод этого отряда, составлявших основу монотаксонных сообществ. Сообщество *Greenfieldia uberis*, существовавшее

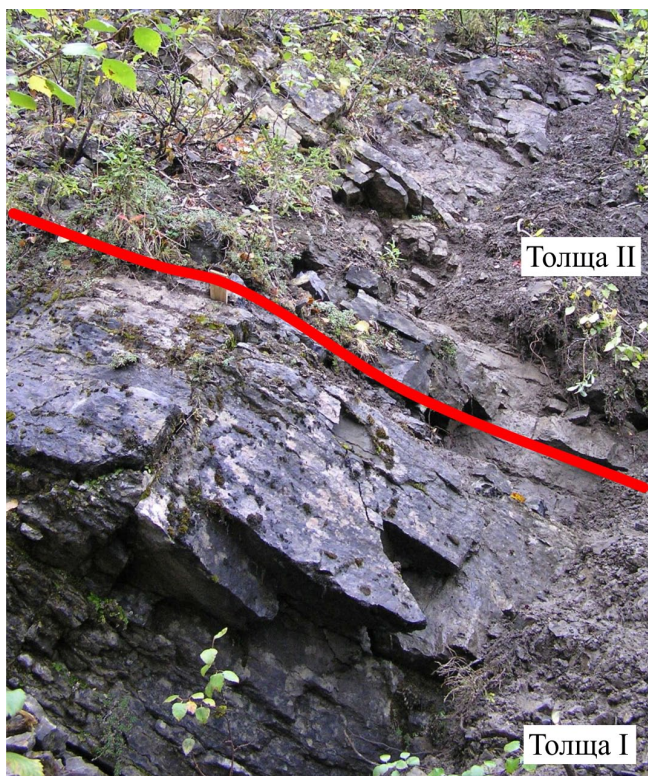


Рис. 7. Граница толща I и толща II сизимского горизонта в обн. 236, вскрытая расчистками.

Fig. 7. The boundary of the first and second strata of the Sizim Regional Stage exposed by cuts in outcrop 236.

в раннем лудлове (падимейтывисский горизонт), сменилось сообществом *Didymothyris didyma* (сизимский горизонт). Начало пржидола (белушьинский горизонт) ознаменовалось появлением сообществ *Hemitoechia distincta* Nikiforova, *Pseudohomeospira polaris* Nikiforova, *Collarothyris canaliculata* (Wenjukov), *Atrypoidea sheii* (Holtedah), *Howellella pseudogibbosa* (Wenjukov). Ракушники с этими брахиоподами образуют четкие маркирующие слои в разрезах белушьинского горизонта пржидола и прослеживаются на Приполярном Урале, Северном Урале, поднятиях Чернова и Чернышева и в многочисленных разрезах, вскрытых скважинами Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (Безносова, 2008). Смена сообществ брахиопод имеет исключительное значение для расчленения и корреляции верхнесилурийских отложений в естественных разрезах и разрезах скважин на территории Тимано-Североуральского региона и арктических регионов России (Объяснительная записка..., 1994).

Терригенно-карбонатный разрез сизимского горизонта в обн. 236 (р. Кожым) включает прослой известняков с захоронениями монотаксонного со-

общества брахиопод *D. didyma*, приуроченные преимущественно к интервалам разреза, которые характеризуются пиковыми изотопными значениями (см. рис. 3). В известняках, слагающих нижнюю половину толщи I, преобладают аллохтонные скопления целых раковин брахиопод. Вверх по разрезу чаще наблюдаются скопления отдельных створок раковин этого вида. Распространение брахиопод *D. didyma*, составлявших основную часть бентосной ассоциации ровного дна сизимского горизонта, связано с широким спектром биотопов – от отмельной части лагуны до внутренней части открытого шельфа с охватом позиции второго бентосного комплекса (БК-2), по (Voucot, 1979). Терригенно карбонатные отложения сизимского горизонта включают также многочисленные линзовидные скопления и прослой остракод. По заключению А.Ф. Абушик, комплекс остракод лудлова (падимейтывисской и сизимской свит), не разделенный на горизонты в разрезах Приполярного Урала (в бассейнах рек Кожым и Щугор), представляют 15 видов, относящихся к 10 родам (Abushik, 2000).

Рифогенные отложения лудлова в обн. 74 включают массовые захоронения брахиопод *Conchidium novosemelicum* Nalivkin отряда Pentamerida, принадлежащих к третьему бентосному комплексу (БК-3), и единичные раковины брахиопод *D. didyma* хорошей сохранности в верхней части толщи. Вымирание брахиопод отряда Pentamerida, связанное с событием Лау, получило название Pentamerid Event (Talent et al., 1993). Брахиоподы лудлова отличались низким разнообразием и монотаксонными сообществами (Jeppsson, 1993; Talent et al., 1993).

Комплекс конодонтов лудлова в обн. 236 включает два эндемичных рода – *Actenognathodus* Melnikov, 1999 и *Adoulodus* Melnikov, 1999 – и важный корреляционный таксон *Polygnathoides siluricus*. Известно, что глобальное событие Лау сопровождалось постепенным сокращением разнообразия биоты, поэтапным вымиранием конодонтов *P. siluricus*, брахиопод отряда Pentamerida, пелеципод *Megalomus* (рис. 8) и других представителей рифовой биоты – ругоз, криноидей, гастропод.

По заключению С.В. Мельникова (1999), редкость находок конодонтов *P. siluricus* объясняется неподходящими мелководными условиями для их существования в шельфовой лагуне, в которой формировались отложения лудлова на большей части Тимано-Североуральского региона. Но при этом отмечается большое разнообразие “фоновых” родов: *Stenognathodus*, *Oulodus*, *Ozarkodina*. В опорном разрезе верхнего силура Приполярного Урала С.В. Мельников (1997) выделил (под номерами) более 30 видов конодонтов, относящихся к этим родам. Комплекс конодонтов

нижнего лудлова (падимейтивисского горизонта) практически не содержит руководящих видов (Жемчугова и др., 2001). Раннелудловский возраст отложений этого горизонта, как уже отмечалось, датируют брахиоподы *Gr. uberis* (Модзалевская, 1985; Безнослова, 2008). Находки конодонтов *P. siluricus* известны в отложениях сизимского горизонта на Полярном Урале (Пучков, 1973, 1979; Колесник, 1994), в разрезах скважин 42-Вуктыльская (инт. 6012–6023 м) и 3-Черпаюская (инт. 3100–3109, 2 м) (Мельников, 1999). В керне этих скважин в разрезах пород с конодонтами *P. siluricus* присутствуют брахиоподы *D. didyma*. В рассматриваемом интервале разреза сизимского горизонта выше слоев с *P. siluricus* в конодонтовой последовательности не обнаружен зональный вид *Ozarkodina crispa* (Walliser) (Безнослова и др., 2018, 2020a), который присутствует в глубоководных разрезах харотской свиты лудлова на Полярном Урале (Колесник, 1994). К сожалению, в разрезах мелководных фаций комплексы конодонтов практически не содержат руководящих видов и не позволяют провести детальную корреляцию разрезов Тимано-Североуральского региона с другими районами. И только появление в разрезе конодонтов *P. siluricus* уверенно датирует среднюю часть сизимской свиты. Здесь же получают распространение брахиоподы зоны *Didymothyris didyma* (см. рис. 3).

Как показывают исследования, первые появления некоторых зональных видов конодонтов и граптолитов, а также брахиопод не всегда происходят синхронно во всем мире (Cramer et al., 2011; The geologic..., 2012). Возникающие существенные изменения фаций и фауны, вызванные колебаниями уровня моря, оказывали значительное влияние на расселение биоты, особенно в мелководных частях бассейна, где событийный интервал нередко представлен неполной изотопной и биоэкологической последовательностью. Разные по продолжительности пробелы в осадконакоплении, соответствующие временному интервалу события Лая, установленные во многих разрезах мира, показывают, что корреляция глобальных эвстатических колебаний и вымираний фауны значительно осложнена локальными колебаниями глубины в бассейнах, различной тектонической стабильностью и другим воздействием на события вымирания фауны в разных средах и палеоширотах (Slavík et al., 2010; Slavík, Carls, 2012). Известно, что в разрезе лудлова и пржидола в Чехии, в Италии силурийские комплексы конодонтов появились в верхнем лудфорде – после седиментационного трансгрессивного события Лая (Slavík, Carls, 2012; Slavík et al., 2014; Corrigan et al., 2009; Corradini, Corrigan, 2010). Применение хемотратиграфического метода повышает надежность биостратиграфического расчленения лудловских отложений, которое ограничено низким разнообразием конодонтов и брахиопод (Жем-

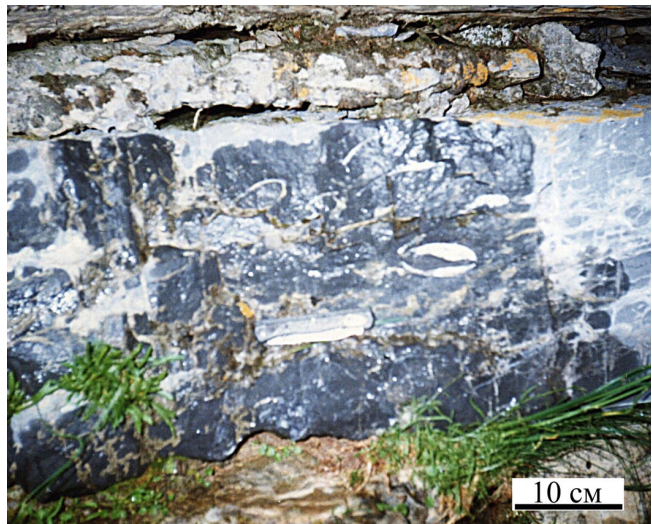


Рис. 8. Известняк голубовато-серый с крупными раковинами пелеципод *Megalomus* в толще средней части сизимского горизонта (обн. 110, р. Кожым).

На поверхности подстилающего слоя – следы размыва. Подобный прослой голубовато-серых известняков с крупными створками пелеципод наблюдается в пачке I сизимского горизонта в обн. 236 (слой 13).

Fig. 8. Bluish-gray limestone with large pelecypod shells *Megalomus* in the Sizim Regional Stage (outcrop 110, the Kozhym River).

There are traces of erosion on the surface of the underlying layer. A similar layer of bluish-gray limestone with large pelecypod shells is observed in the Sizim Stage in outcrop 236 (layer 13).

чугова и др., 2001; Безнослова, 2008; Slavík, Carls, 2012; Slavík et al., 2014; Corrigan et al., 2009; Corradini, Corrigan, 2010).

Изотопы углерода

Построенная вариационная кривая $\delta^{13}\text{C}$ показывает значительные колебания по всему разрезу сизимского горизонта в сторону как отрицательных, так и положительных значений. Полный набор значений изотопного углерода в толщах I и II сизимского горизонта приведен в табл. 1.

В толще I сизимского горизонта изотопная кривая имеет отчетливый положительный тренд (см. рис. 3). Значения $\delta^{13}\text{C}$ лежат в пределах от -7.9 до 1.6 ‰, составляя в среднем 4.0 ‰. Максимальное положительное значение $\delta^{13}\text{C}$ до $+1.6$ ‰ с амплитудой 3.6 ‰ наблюдается в средней части слоя 2. Вверх по разрезу изотопная кривая демонстрирует два пика со значениями $\delta^{13}\text{C}$ -1.3 и -0.6 ‰ и два отрицательных экскурса со значениями $\delta^{13}\text{C}$ -6.4 и -7.9 ‰. Далее изотопная кривая демонстрирует постепенный положительный тренд $\delta^{13}\text{C}$ вблизи кровли толщи I. Изотопная характеристика тол-

Таблица 1. Изотопный состав углерода в карбонатных породах сизимского горизонта (обн. 236, р. Кожым)

Table 1. Isotopic composition of carbon in carbonates of the Sizim Regional Stage (outcrop 236, the Kozhym River)

№ п. п.	№ обр.	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, ‰	№ п. п.	№ образца	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, ‰
1	236/00-1	-3.3	53	И-236/31	-4.8
2	236/00-3	-0.8	54	И-236/32А	-3.7
3	236/00-4	-5.2	55	И-236/32Б	-3.9
4	236/00-5	1.6	56	И-236/33	-3.6
5	236/00-6	-6.4	57	И-236/34	-3.7
6	236/00-7	-1.3	58	И-236/35	-5.4
7	236/00-8	-3.6	59	И-236/36	-5.8
8	236/00-9	-4.8	60	И-236/37	-6.3
9	236/00-10	-0.6	61	И-236/38	-4.8
10	236/00-11	-5.9	62	И-236/39	-6.3
11	236/00-12	-7.9	63	И-236/40	-5.2
12	236/00-13	-7.2	64	И-236/41	-7.4
13	236/00-14	-3.9	65	И-236/42	-6.7
14	236/00-15	-5.9	66	И-236/43	-6.1
15	236/00-16	-3.9	67	И-236/44	-5.6
16	236/00-17	-3.6	68	И-236/45	-5.5
17	И-236/1	-2.8	69	И-236/46	-4.2
18	И-236/2	-2.9	70	И-236/47	-4.4
19	И-236/3	-5.3	71	И-236/48	-3.7
20	И-236/4	-3.7	72	И-236/49	-3.1
21	И-236/5	-4.6	73	И-236/50	-3.4
22	И-236/6	-4.1	74	И-236/51	-3.4
23	И-236/7	-5.9	75	И-236/8	-3.2
24	И-236/8А	-5.8	76	И-236/52	-3.4
25	И-236/8Б	-4.8	77	И-236/9	-3.4
26	И-236/9А	-4.8	78	И-236/10	-3.4
27	И-236/9Б	-4.8	81	И-236/53	-3.4
28	И-236/10	-4.6	82	И-236/54	-3.3
29	И-236/11А	-4.2	83	И-236/55	-3.4
30	И-236/11Б	-4.6	84	И-236/56	-2.9
31	И-236/12А	-4.8	85	И-236/57А	-3.0
32	И-236/12Б	-4.8	86	И-236/57Б	-2.4
33	И-236/13	-6.6	87	И-236/58А	-2.6
34	И-236/14	-5.2	88	И-236/58Б	-2.4
35	И-236/15	-5.7	89	И-236/59	-2.9
36	И-236/16	-6.2	90	И-236/60	-3.0
37	И-236/17А	-6.6	91	И-236/61	-3.3
38	И-236/17Б	-6.2	92	И-236/62А	-3.4
39	И-236/18	-7.8	93	И-236/62Б	-3.4
40	И-236/19	-6.2	94	И-236/63	-3.0
41	И-236/20	-6.1	95	И-236/64	-3.1
42	И-236/21	-5.2	96	И-236/65	-2.4
43	И-236/22	-4.4	97	И-236/66	-2.1
44	И-236/23	-4.3	98	И-236/67	-2.6
45	И-236/24	-4.0	99	И-236/68	-3.2
46	И-236/25А	-4.0	100	И-236/69	-2.3
47	И-236/25Б	-4.1	101	И-236/71	-3.6
48	И-236/26	-4.3	102	И-236/72	-1.7
49	И-236/27	-4.3	103	236/00-31	-0.8
50	И-236/28	-4.5	104	236/00-32	-2.1
51	И-236/29	-4.0	105	236/00-33	-1.8
52	И-236/30	-4.6			

щи II и интервал события Клев на рубеже лудлова и пржидола приведены в ранее опубликованной статье (Безносова и др., 2020а).

Положительные значения $\delta^{13}\text{C}$ с амплитудой 3.6 ‰ в основании толщи I, которые обнаружены впервые в разрезе силура на западном склоне Приполярного Урала, – это, возможно, проявление изотопного события Лау, которое коррелирует с положительным изотопным экскурсом, приведенным на глобальной хемотратиграфической кривой для силура (Cramer et al., 2011). Последующее понижение значений $\delta^{13}\text{C}$ совпадает с падением уровня моря (см. рис. 3 и табл. 1). Глобальное падение уровня моря в конце лудфордского времени отмечается и в других регионах мира: в Польше (Kozłowski, 2003), в Балтике (Kaljo et al., 2003), Австралии (Jerpsson et al., 2007, 2012; Lehnert et al., 2007a; Eriksson, Calner, 2008; Gocke et al., 2013; Frýda, Manda, 2013), в США (Kozłowski, Munnecke, 2010; Barrick et al., 2010b).

Низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ карбонатных пород верхнего лудлова прослежены также в разрезах на западном склоне Приполярного Урала, поднятиях Чернова и Чернышева (Безносова и др., 2017, 2020а, б; Безносова, Матвеев, 2024; Beznosova, Matveev, 2022), а также в разрезах скважин (Анищенко и др., 2011). Принимая во внимание, что рассматриваемые нами карбонатные отложения формировались в мелководных условиях, можно предположить, что отрицательные значения $\delta^{13}\text{C}$ связаны с привнесением изотопно-легких пресных вод, насыщенных растворенной углекислотой, и влиянием постседиментационных преобразований пород (Кулешов, 2001; Виноградов, 2009; Юдович, Кетрис, 2010). Низкие значения объясняются и возможными региональными океанографическими или климатическими различиями между палеобассейнами (Modzalevskaya, Wenzel, 1999). Несмотря на это, существующий тренд С-изотопной кривой в силуре (Cramer et al., 2011) прослеживается и в наших исследуемых разрезах (Beznosova, Matveev, 2022).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Граница лудлова и пржидола на Европейском Северо-Востоке установлена в кровле маломощного прослоя аргиллитов и глин, который перекрывается комковатыми известняками, слагающими нижнюю часть белушьянского горизонта и заключающими ракушняка с брахиоподами *H. distincta*, *P. polaris*, *C. canaliculata*, *A. sheii*, *H. pseudogibbosa* (рис. 9 – 1, 1а). Такое положение границы зафиксировано в принятых Стратиграфических схемах Урала... (1993). Эта граница определяется по обновленному составу раковинной фауны, заключенной в глинистых комковатых известняках. Отложения, подстилающие прослой аргиллитов и глин, вмещают скопления одного вида брахиопод *D.*

didyma, которые определяют их позднелудловский возраст (Объяснительная записка..., 1994).

Резкие и значительные изменения в таксономическом составе биоты и составе пород на рубеже сизимского и белушьянского горизонтов в разрезах Урало-Новоземельского региона рассматриваются нами как палеоэкологическая перестройка, которая имеет большое значение при сопоставлении разрезов и совершенствовании региональных и межрегиональных стратиграфических схем, являясь отложением масштабных биотических событий.

Результаты многолетних исследований новоземельских и тимано-североуральских разрезов верхнего силура в естественных выходах, скважинах глубокого бурения и собранных представительных коллекций фаунистических остатков внесли большой вклад в определение и обоснование рубежа лудлова и пржидола, а также региональной границы, принятой в Уральской стратиграфической схеме (Никифорова, 1970; Модзалевская, 1985; Першина и др., 1971; Патрунов и др., 1980; Чернов, 1972; Опорные разрезы..., 1983; Антошкина и др., 1989; Мельников, 1999; Abushik, 2000; Melnikov, Zhemchugova, 2000; Патрунова, Шурыгина 2002; Жемчугова и др., 2001; Постановления..., 2008; Безносова, 1994, 2008; Баранов, Блоджетт, 2013; Баранов, 2015; Безносова и др., 2020а).

Сомнения в определении рубежа лудлова и пржидола в уральских разрезах изначально возникли в результате совместной находки зонального пржидольского вида брахиопод *Collarothyris canaliculata* и чешуи лудловских позвоночных, которые определены как *Andreolepis hedei* Gross, обнаруженные в толще пограничных отложений лудлова и пржидола только в разрезе силура Уфимского амфитеатра (Модзалевская, Мярсс, 1991). Позже досадная неточность в определении этих остатков чешуи позвоночных и стратиграфического интервала их распространения повлияла на интерпретацию результатов проведенного геохимического анализа раковин брахиопод из отложений верхнего лудлова и нижнего пржидола в разрезах Приполярного Урала и поднятия Чернова. Полученные значения $\delta^{13}\text{C}$ показали небольшой положительный сдвиг на изотопной кривой в основании пржидола, который авторы описали как среднелудфордское изотопное событие (Modzalevskaya, Wenzel, 1999).

Описанию проявления среднелудфордского события Лау в тех же разрезах верхнего силура на Приполярном Урале и поднятии Чернова посвящена и статья А.И. Антошкиной (2018). В ней приведены определения фаунистических остатков и значения $\delta^{13}\text{C}$ карбонатных пород в небольшом по мощности интервале разреза (рис. 9 – 2а) пограничных отложений сизимской и целебейской свит (сизимского горизонта лудлова и белушьянского горизонта пржидола, согласно Стратиграфическим схемам Урала... (1993). В приведенном спи-

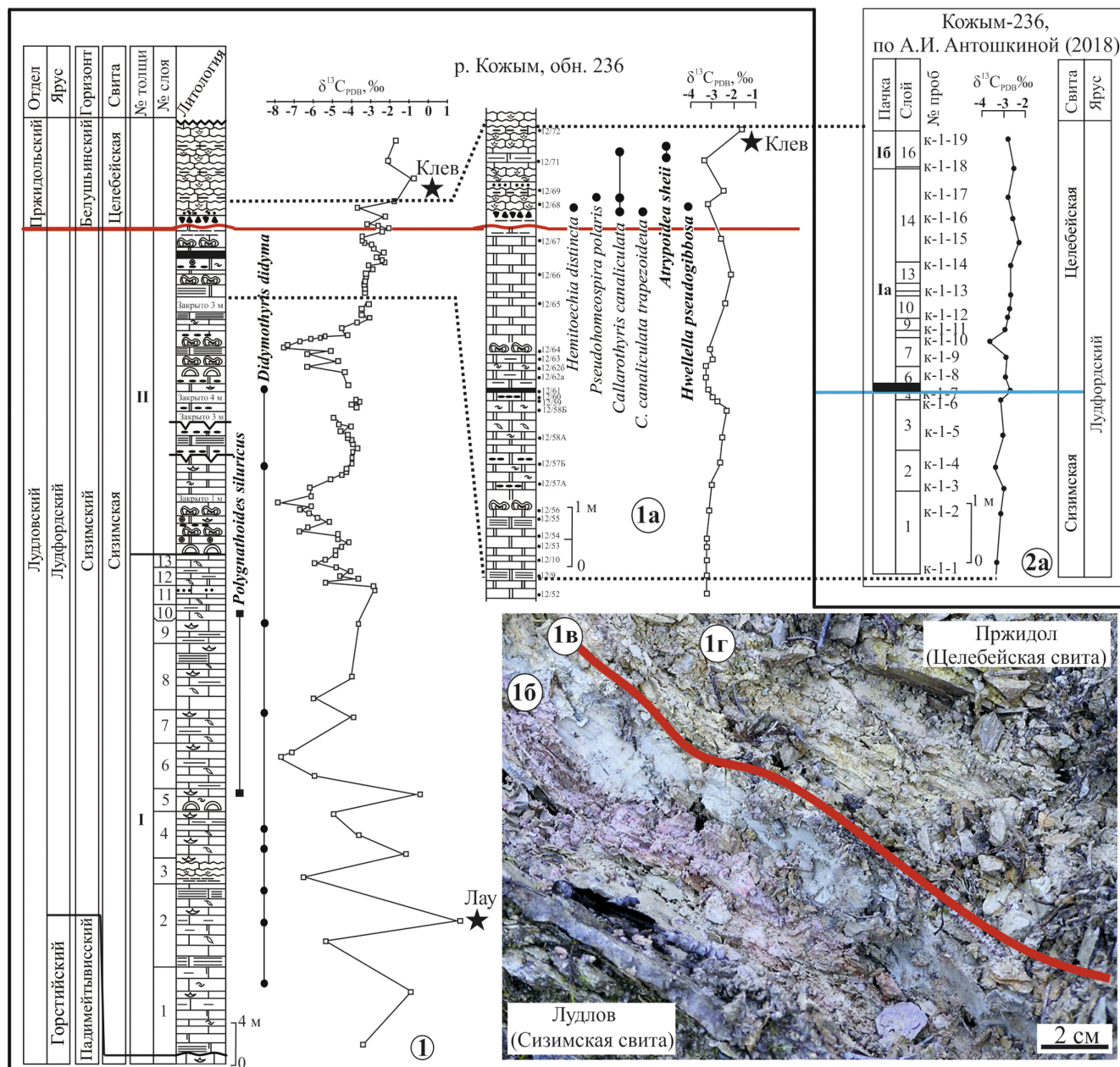


Рис. 9. Стратиграфическое положение событийных интервалов Лау (Lau Event) и Клев (Klev Event) в разрезе верхнего силура на Приполярном Урале (р. Кожым, обн. 236) и сопоставление пограничного интервала сизимской и целебейской свит с аналогичным интервалом в этом же разрезе по А.И. Антошкиной (2018, с. 28, рис. 8).

1, 1а – распределение значений $\delta^{13}C$ и распространение зональных видов брахиопод в разрезе верхней части сизимского горизонта лудлова и пограничных с ним отложениях белушьянского горизонта пржидола (обн. 236, р. Кожым); 1б – прослой пестроцветных глин; 1в – граница лудлова и пржидола (сизимской и целебейской свит) в обн. 236; 1г – брекчии расстрескивания. На фрагменте 2а – распределение в разрезе Кожым-236 изотопов углерода в карбонатах среднелудфордского интервала по А.И. Антошкиной (2018, стр. 28, рис. 8).

1 – доломиты; 2–7 – известняки: 3 – доломитизированные, 4 – комковатые, 5 – тонкослоистые, 6 – алевритистые, 7 – глинистые; 8 – аргиллиты; 9 – оолиты; 10 – плоскогалечный конгломерат; 11 – брекчии; 12 – трещины усыхания; 13 – строматолиты; 14 – ракушники; 15 – брахиоподы; 16 – остракоды; 17 – строматопоридеи; 18 – перерыв; 19 – черные углеродистые сланцы.

Fig. 9. Stratigraphic position of the Lau Event and Klev Event intervals in the Upper Silurian section of the Subpolar Urals (the Kozhym River, outcrop 236) and comparison of the boundary interval of the Sizim and Tselebei formations in this section based on the results of our studies with the data given in the article by A.I. Antoshkina (2018).

1, 1a – distribution of $\delta^{13}\text{C}$ values and occurrence of zonal brachiopods species in the section of the Sizim Regional Stage of the Ludlow and in the adjacent Belush'ya Regional Stage of the Pridoli (outcrop 236, the Kozhym River); 1b – interlayers of variegated clays, 1b – Ludlow-Pridoli boundary (Sizim and Tselebei formations) in outcrop 236, 1r – crackle breccia; 2 – distribution of carbon isotopes in carbonates of the Middle Ludfordian interval in the Kozym-236 section according to A.I. Antoshkina (2018, p. 28, Fig. 8).

1 – dolomites; 2–7 – limestones: 3 – dolomitized, 4 – lumpy, 5 – thin-layered, 6 – siltstone; 7 – clayey; 8 – mudstones; 9 – oolites; 10 – flat-pebble conglomerate; 11 – breccias; 12 – desiccation cracks; 13 – stromatolites; 14 – shell rock; 15 – brachiopods; 16 – ostracods; 17 – stromatoporoids; 18 – hiatus; 19 – black carbonaceous shales.

ске распространения фауны в отложениях сизимской и целебейской свит на с. 29, в табл. 1, указан вид *Andreolepis hedei* и его местонахождение в разрезе пржидола Уфимского амфитеатра (по, (Модзалевская, Мярсс, 1991)), а ссылка дана на статью (Märss, 2001). Но Т. Мярсс (Märss, 2001) в публикации приводит совершенно новые результаты более детального изучения коллекций, которое выявило различия чешуй позвоночных, ошибочно отнесенных ранее к виду *A. hedei*, при их сравнении с типовым видом *A. hedei* из слоев Хемсе на о-ве Готланд (Märss, 2001). В результате проведенной ревизии остатков позвоночных ранее относимые к виду *A. hedei* из разреза Уфимского амфитеатра Т. Мярсс описала как новый вид *Andreolepis petri* Märss и стратиграфический интервал распространения как лудлов и пржидол (Märss, 2001). Позже также пересмотрены зоны позвоночных и их границы (Märss, Männik, 2013).

Таким образом, описание нового вида *A. petri* и указанный интервал его распространения (Märss, 2001) полностью устраняют причину, которая вызвала желание пересмотреть положение региональной границы лудлова и пржидола и других стратиграфических подразделений в принятой стратиграфической схеме Урала (Стратиграфические схемы..., 1993).

В тимано-североуральских разрезах отложения лудлова и пржидола разделяет перерыв в осадконакоплении, который проявляется субэаральным размывом верхней части лудлова, отчетливой сменной условий седиментации и таксономического состава бентосной фауны (Мартынов, 1998; Жемчугова и др., 2001; Безносова и др., 2020а). Такие перерывы в осадконакоплении нередко являются четкими рубежами, по которым устанавливаются границы местных стратиграфических подразделений. Трансгрессия в самом начале пржидола способствовала переотложению и захоронению разных по возрасту остатков фауны в изученных нами разрезах (Мартынов, 1998; Безносова и др., 2020а). Находки разновозрастных остатков фауны (часто микрофауны) известны и в других разрезах палеозоя (Аристов, 1994; Барабошкин и др., 2002; Горожанина и др., 2010).

В отложениях верхней части сизимского горизонта (толща II) в обн. 236 отчетливо проявляются седиментационные признаки постепенного обмеления. Появляются прослой известняков сгустковых, оолитовых, микробиальных, увеличивает

ся количество слоев со строматолитами и их мощность, а также прослоев глин и мергелей, известняков литобиокластовых, плоскогалечных конгломератов с трещинами усыхания и поверхностями перерывов. Обмеление бассейна в середине лудфордия сопровождалось разрушением рифовых построек, вымиранием сообществ брахиопод отряда пентамерида и другой рифоволюбивой биоты. Переход от лудлова к пржидолу в этом разрезе фиксирует пестроцветный карбонатно-глинистый прослой, который перекрывается известняками с брекчией растрескивания (см. рис. 9 – 1b, 1r). Изменение условий седиментации обусловили смену состава биоты.

Приведенное нами описание проявлений глобальных биогеологических событий в разрезе верхнего силура, основанное на комплексных литологических, палеонтологических, событийно-стратиграфических и изотопно-геохимических данных (Безносова и др., 2020а; Безносова, Матвеев, 2024), подтверждают обоснованность принятых в существующей стратиграфической схеме Урала объемов сизимского и белушинского горизонтов силура, а также положение границы лудлова и пржидола (Объяснительная записка..., 1994).

Относительно распространения конодонтов в отложениях лудлова в Североуральском регионе С.В. Мельников отмечал важность находок *P. siluricus* для определения события Лау, а также разнообразие “фоновых” родов в нижнем лудлове (Мельников, 1999; Жемчугова и др., 2001).

В глубоководных фациях харотской свиты верхнего лудлова, в “петельчатых” известняках Л.С. Колесник (1994) определила комплексы конодонтов *Ozarkodina excavata excavata* (Branson Mehl), *Kockelella variabilis* Walliser, *Polygnathoides siluricus* Branson et Mehl, *Ozarkodina crispa* (Walliser), а в известняках пржидола – конодонты *Ozarkodina eosteinhornensis* (Walliser), которые являются зональными видами.

Как отмечал Д.К. Лойделл (Loydell, 1998), основная причина неточности в определении событийного интервала заключается в погрешностях биостратиграфического сопоставления, что может привести к неправильной корреляции, особенно между различными фациями в разных регионах. Первое появление зональных видов конодонтов, граптолитов и брахиопод во всем мире не всегда происходило одновременно, как и проявления события. Это во многом зависит от разных темпов

развития биот и региональных тектонических и других процессов. Несоответствие между изотопными и биостратиграфическими данными отмечается в некоторых регионах планеты, которые касаются не только события Лау, но и других событий, например, Мульде (Salzman, 2001).

По данным Дж.А. Таллента (Talent et al., 1993), вымирание брахиопод отряда пентамерид во всем мире связано с прекращением рифообразования. В исследуемых нами разрезах на Северном, Приполярном и Полярном Урале рифообразование прекратилось в раннем лудфордии.

Определение событийных интервалов в мелководных разрезах еще более затруднительно, так как в них отсутствуют граптолиты и недостаточно изучены конодонты и даже присутствие этих групп фауны не всегда решает эту задачу (Jerrison, 2006).

Впервые установленный в разрезе сизимского горизонта стратиграфический С-изотопный интервал с проявлением среднелудфордского события Лау в обн. 236 на Приполярном Урале с наблюдаемыми последовательными изменениями условий седиментации и таксономического состава основных групп фауны может послужить хроностратиграфическим репером для глобальной стратиграфической корреляции разнофациальных отложений.

Рассматриваемый разрез сизимского горизонта в обн. 236 на западном склоне Приполярного Урала предлагается нами в качестве гипостратотипического разреза. Стратотип этого горизонта находится в бассейне р. Падимейтивис на поднятии Чернова.

Благодарности

Авторы благодарят И.В. Смолеву, руководителя группы изотопной геохимии ЦКП “Геонаука” Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, за определение изотопного состава углерода в карбонатных породах и инженером шлифовальной мастерской Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН за изготовление шлифов. Особая благодарность двум анонимным рецензентам за конструктивные замечания, которые помогли улучшить эту статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антошкина А.И. (2018) Проявление лудфордского события Лау (верхний силур) на Северо-Востоке европейской части России. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 26(6), 15-40.

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.

Анищенко Л.А., Клименко С.С., Процько О.С., Силаев В.И. (2011) Результаты изотопно-геохимических исследований карбонатолитов в пределах нефтегазоносных Хорейверской и Денисовской впадин. *Геология и*

геохимия горючих ископаемых европейского Севера России, 26-44. (Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН, 128).

Аристов В.А. (1994) Конодонты девона–нижнего карбона Евразии: сообщества, зональное расчленение, корреляция разнофациальных отложений. М.: Наука, 192 с.

Барабашкин Е.Ю., Веймарн А.Б., Копаевич Л.Ф., Найдин Д.П. (2002) Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки. Методические рекомендации. М.: МГУ, 163 с.

Баранов В.В. (2015) Глобальные события в среднем палеозое северо-востока Евразии на сопредельных территориях. *Наука и образование*, 3(79), 33-37.

Баранов В.В., Блоджетт Р.Б. (2013) Корреляция пржидольских отложений (верхний силур) арктических регионов Евразии и Северной Америки. *Отчет геология*, (5), 52-57.

Безносова Т.М. (1994) Биостратиграфия и брахиоподы силура Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 128 с.

Безносова Т.М. (2008) Сообщества брахиопод и биостратиграфия верхнего ордовика, силура и нижнего девона северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия. Екатеринбург: УрО РАН, 217 с.

Безносова Т.М., Матвеев В.А. (2024) Раннепржидольское событие в разрезе силура на поднятии Чернова. *Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России*. Мат-лы XVIII Геол. съезда Республики Коми. Сыктывкар, 120-123.

Безносова Т.М., Матвеев В.А., Пучков В.Н., Силаев В.И. (2020а) Перерыв в осадконакоплении на границе лудлова и пржидола в разрезе силура на Приполярном Урале. *Литосфера*, 20(6), 791-807. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-6-791-807>

Безносова Т.М., Матвеев В.А., Шамсутдинова Л.Л. (2020б) 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*, 6(46), 75-89. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2020-6-75-89>

Безносова Т.М., Матвеев В.А., Соколова Л.В. (2018) Биостратиграфический и событийно-стратиграфический рубеж лудлова и пржидола на западном склоне Приполярного Урала. *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*, (11), 31-37.

Безносова Т.М., Матвеев В.А., Соколова Л.В., Канев Б.И. (2017) Региональное проявление глобального лудфордского события (Lau Event) в разрезе западного склона Урала. *Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления*. Мат-лы Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 19-21.

Виноградов В.И. (2009) Возможности и ограничения изотопной хеостратиграфии. *Литол. и полезн. ископ.*, 3, 270-283.

Горожанина Е.Н., Пазухин В.Н., Пучков В.Н. (2010) Палеогеодинамические условия переотложения конодонтов в осадках позднего девона–раннего карбона Южного Урала. *Докл. РАН*, 432(2), 210-214.

Жемчугова В.А., Мельников С.В., Данилов В.Н. (2001) Нижний палеозой Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия образования, нефтега-

- зоносность). М.: Изд-во Академии горных наук, 110 с.
- Колесник Л.С. (1994) К палеонтологической характеристике харотской свиты (S-D₁) Лемвинской СФЗ. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Европейского Северо-Востока СССР*. Тез. докл. XII Всес. геол. конф. Сыктывкар, II, 41-42.
- Корень Т.Н. (1993) Основные рубежи в эволюции лудловских граптолитов. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 1(5), 44-52.
- Кулешов В.Н. (2001) Эволюция изотопных углекислотно-водных систем в литогенезе. Сообщ. 1. Седиментогенез и диагенез. *Литология и полезн. ископаемые*, (5), 491-508.
- Мартинов А.В. (1998) Литолого-фашиальные критерии прогноза нефтегазоносности ордовикско-нижнедевонских отложений Тимано-Печорской провинции. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., 27 с.
- Мельников С.В. (1997) Конодонты нижнего палеозоя Тимано-Североуральского региона. *Биостратиграфия нефтегазоносных бассейнов*. СПб., 151-158.
- Мельников С.В. (1999) Конодонты ордовика и силура Тимано-Североуральского региона. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургской картограф. фабрики ВСЕГЕИ, 136 с.
- Модзалевская Т.Л. (1985) Брахиоподы силура и раннего девона европейской части СССР. Отряд Athyridida. М.: Наука, 128 с.
- Модзалевская Т.Л. (1997) Среднелудфордское событие в эволюции силурийских брахиопод Европейской провинции. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, (3), 3-9.
- Модзалевская Т.Л., Мярсс Т. (1991) О возрасте подошвы гребенского горизонта Урала. *Изв. АН Эстонии. Геол.*, 40(3), 100-103.
- Никифорова О.И. (1970) Брахиоподы гребенского горизонта Вайгача (поздний силур). *Стратиграфия и фауны силурийских отложений Вайгача*. Л.: Севморгеология, 91-149.
- Объяснительная записка к стратиграфическим схемам Урала (докембрий, палеозой)*. (1994) (Отв. ред. Н.Я. Анцыгин). Екатеринбург: Уральская геологосъемочная экспедиция, 152 с.
- Опорные разрезы пограничных отложений силура и девона Приполярного Урала. (1983) (Ред. В.С. Цыганко, В.А. Чермных). Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 136 с.
- Патрунов Д.К., Шурыгина М.В. (2002) Силур и ранний девон в уфимском амфитеатре. *Литосфера*, (2), 96-111.
- Патрунов Д.К., Шурыгина М.В., Черкесова С.В. (1980) Силур и нижний девон на острове Долгом. *Силурийские и нижнедевонские отложения острова Долгого*. (Отв. ред. В.П. Сапельников). Свердловск: УНЦ АН СССР, 3-26.
- Першина А.И., Цыганко В.С., Щербаков Э.С., Боринцева Н.А. (1971) Биостратиграфия силурийских и девонских отложений Печорского Урала. Л.: Наука, 130 с.
- Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. (2008) СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 38, 131 с.
- Пучков В.Н. (1979) Батинальные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М.: Наука, 21-24.
- Пучков В.Н. (1973) Находки конодонтов в палеозое севера Урала и их стратиграфическое значение. *ДАН СССР*, 209(3), 669-671.
- Силурийские и нижнедевонские отложения острова Долгого. Сб. ст. (1980) Свердловск: УНЦ АН СССР, 141 с.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). (1993) Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, Уралгеолом, 151 с.
- Чернов Г.А. (1972) Палеозой Большеземельской тундры и перспективы его нефтегазоносности. М.: Наука, 318 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2010) Соотношения изотопов углерода в стратосфере и биосфере: четыре сценария. *Биосфера*, 2, 231-246.
- Юрѳева З.П., Деулин Ю.В., Безносова Т.М., Цыганко В.С., Мянник П., Мартма Т. (2002) Карбонатные секвенции пограничных отложений силура и девона европейского северо-востока. *Геология девонской системы*. Мат-лы Междунар. симпоз. Сыктывкар, Республика Коми, Россия. Сыктывкар: Геопринт, 320-321.
- Abushik A.F. (2000) Silurian – earliest Devonian ostracode biostratigraphy of the Timan-Northern Ural region. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.*, 49(2), 112-125.
- Andrew A.S., Hamilton P.J., Mawson R., Talent J.A., Whitford D.J. (1994) Isotopic correlation tools in the mid-Palaeozoic and their relation to extinction events. *Aust. Petrol. Explor. Assoc. (APEA) J.*, 34, 268-277.
- Barrick J.E., Klapper G., Kleffner M.A., Karlsson H.R. (2010a) Conodont biostratigraphy and stable isotope chemostratigraphy of the lower Henryhouse Formation (Gorstian-early Ludfordian, Ludlow, Silurian), southern Oklahoma, USA. *Mem. Assoc. Aust. Palaeontol.*, 39, 51-70
- Barrick J.E., Kleffner M.A., Gibson M.A., Peavey F.N., Karlsson H.R. (2010b) The mid-Ludfordian Lau Event and Carbon Isotope Excursion (Ludlow, Silurian) in southern Laurentia – Preliminary Results. *Boll. Soc. Paleontol. Ital.*, 49, 13-33.
- Beznosova T.M., Matveev V.A. (2022) Regional carbon isotope curve and biotic events in the Silurian of the Western slope of the Subpolar Urals and Chernov Uplift. *Vestn. Geosci.*, 9(333), 31-36. DOI: 10.19110/geov.2022.9.4
- Boucot A.J. (1975) Evolution and Extinction Rate Controls. Elsevier, Amsterdam, 427 p.
- Brett C.E., Ferretti A., Histon K., Schönlaub H.P. (2009) Silurian sequence stratigraphy of the Carnic Alps, Austria. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 279, 1-2.
- Calner M. (2008) Silurian global events – At the tipping point of climate change. *Elewa A.M.T. (Ed.) Mass Extinctions*. Springer-Verlag, Berlin, 21-57.
- Calner M., Eriksson M.J. (2006) Evidence for rapid environmental changes in low latitudes during the Late Silurian Lau Event: the Burgen-1 drillcore, Gotland, Sweden. *Geol. Mag.*, 143, 15-24.
- Corradini C., Corriga M.G. (2010) Silurian and lowermost Devonian conodonts from the Passo Volaja area (Carnic Alps, Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 49(3), 237-253.
- Corriga M.G., Corradini C., Ferretti A. (2009) Silurian conodonts from Sardinia: an overview *rendicontidella. Soc. Paleontol. Ital.*, 3(1), 95-107.
- Cramer B.D., Brett C.E., Melchin J.M., Männik P., Kleffner M.A., McLaughlin P.I., Loydell D.K., Munnecke A., Jeppsson L., Corradini C., Brunton F.R., Saltzman M.R. (2011) Revised correlation of Silurian Provincial Series of North America with global and regional chrono-

- nostratigraphic units and $\delta^{13}\text{C}$ chemostratigraphy. *Leithaia*, **44**, 185-202. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1502-3931.2010.00234.x>
- Eriksson M.J., Calner M. (2008) A sequence stratigraphical model for the late Ludfordian (Silurian) of Gotland, Sweden: implications for timing between changes in sea level, palaeoecology, and the global carbon cycle. *Facies*, **54**, 253-276.
- Eriksson M.E., Nilsson E.K., Jeppsson L. (2009) Vertebrate extinctions and reorganizations during the Late Silurian Lau event. *Geol.*, **37**, 739-74.
- Farkaš J., Frýda J., Holmden C. (2016) Calcium isotope constraints on the marine carbon cycle and CaCO_3 deposition during the late Silurian positive $\delta^{13}\text{C}$ excursion. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **451**, 31-40.
- Frýda J., Lehnert O., Frýdová B., Farkaš J., Kubajko M. (2020) Carbon and sulfur cycling during the mid-Ludfordian anomaly and the linkage with the late Silurian Lau/Kozłowski Bioevent. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **564**(6), 110-152.
- Frýda J., Manda S. (2013) A long-lasting steady period of isotopically heavy carbon in the later Silurian ocean: evolution of the $\delta^{13}\text{C}$ record and its significance for an integrated $\delta^{13}\text{C}$, graptolite and conodont stratigraphy. *Bull. Geosci.*, **88**, 463-482.
- Gocke M., Lehnert O., Frýda J. (2013) Facies development and palynomorphs during the Lau Event (Late Silurian) in a non-tropical carbonate environment: shallow and deep water examples from the Barrandian Area (Czech Republic). *Facies*, **59**, 611-630.
- Histon K., Schönlaub H.P. (1999) The Palaeozoic of the Southern Alps. *Ber. Geol. Bundesanstalt*, **47**, 6-30.
- Jeppsson L. (2006) Conodont-based revisions of the Late Ludfordian on Gotland, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, **127**, 273-282.
- Jeppsson L. (1987) Lithological and conodont distributional evidence for episodes of anomalous oceanic conditions during the Silurian. *Aldridge R.J. (Ed.) Palaeobiology of Conodonts*. Ellis Horwood, Chichester, West Sussex., 129-145.
- Jeppsson L. (1993) Silurian events: the theory and the conodonts. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.*, **42**, 23-27.
- Jeppsson L., Aldridge R.J. (2000) Ludlow (late Silurian) oceanic episodes and events. *J. Geol. Soc.*, **157**, 1137-1148.
- Jeppsson L., Talent J.A., Mawson R., Andrew A., Corradini C., Simpson A.J., Wigforss-Lange J., Schönlaub H.P. (2012) Late Ludfordian correlation and the Lau Event. *Talent J.A. (Ed.) Earth and Life, International Year of Planet Earth*. Springer Science, 653-675.
- Jeppsson L., Talent J.A., Mawson R., Simpson A.J., Andrew A., Calner M., Whitford D., Trotter J.A., Sandström O., Caldon H.J. (2007) High-resolution Late Silurian correlations between Gotland, Sweden, and the Broken River region, NE Australia: lithologies, conodonts and isotopes. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **245**, 115-137.
- Jeppsson L., Viira V., Männik P. (1994) Silurian conodont-based correlations between Gotland (Sweden) and Saaremaa (Estonia). *Geol. Mag.*, **131**(2), 201-218.
- Kaljo D., Boucot A.J., Corfield R.M., Le Herisse A., Koren T.N., Kříž J., Männik P., Märss T., Nestor V., Shaver R.H., Siveter D.J., Viira V. (1995) Silurian bioevents. *Walliser O.H. (Ed.) Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*. Springer-Verlag, 173-224.
- Kaljo D., Kiipli T., Martma T. (1997) Correlation of carbon isotope event markers through the Wenlock-Pridoli sequence at Ohesaare (Estonia) and Priekule (Latvia). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **132**, 211-223.
- Kaljo D., Martma T., Männik P., Viira V. (2003) Implications of Gondwana glaciations in the Baltic late Ordovician and Silurian and a carbon isotopic test of environmental cyclicity. *Bulletin de la Société 'Geologique de France*, **174**, 59-66.
- Kozłowski W. (2003) Age, sedimentary environment and palaeogeographical position of the Late Silurian oolitic beds in the Holy Cross Mountains (Central Poland). *Acta Geol. Pol.*, **53**, 341-35.
- Kozłowski W., Munnecke A. (2010) Stable carbon isotope development and sea-level changes during the Late Ludlow (Silurian) of the Łysog'ory region (Rzepin section, Holy Cross Mountains, Poland). *Facies*, **56**, 615-633.
- Kozłowski W., Sobień K. (2012) Mid-Ludfordian coeval carbon isotope, natural gamma ray and magnetic susceptibility excursions in the Mielnik IG-1 borehole (Eastern Poland)-Dustiness as a possible link between global climate and the Silurian carbon isotope record. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **339-341**, 74-97.
- Lehnert O., Eriksson M.J., Calner M., Joachimski M., Buggisch W. (2007a) Concurrent sedimentary and isotopic indications for global climatic cooling in the Late Silurian. *Acta Palaeontol. Sin.*, **46**, 249-255.
- Lehnert O., Frýda J., Buggisch W., Manda S. (2003) A first report of the Ludlow Lau event from the Prague Basin (Barrandian, Czech Republic). *Insugeo, Ortega, G., Aceñolaza, G.F. (Eds.) Ser. Correl. Geol.*, **18**, 139-144.
- Lehnert O., Frýda J., Buggisch W., Munnecke A., Nützel A., Kříž J., Manda S. (2007b) $\delta^{13}\text{C}$ records across the late Silurian Lau event: New data from middle palaeolatitudes of northern peri-Gondwana (Prague Basin, Czech Republic). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **245**, 227-244.
- Loydell D.K. (1998) Early Silurian sea-level changes. *Geol. Mag.*, **135**, 447-471.
- Loydell D.K., Frýda J. (2011) At what stratigraphical level is the mid Ludfordian (Ludlow, Silurian) positive carbon isotope excursion in the type Ludlow area, Shropshire, England? *Bull. Geosci.*, **86**(2), 197-208.
- Manda S., Kříž J. (2006) Environmental and biotic changes in subtropical isolated carbonate platforms during the Late Silurian Kozłowski Event, Prague Basin. *GFF*, **128**, 161-168.
- Manda S., Štorch P., Slavík L., Frýda J., Kříž J., Tasáryová A. (2012) The graptolite, conodont and sedimentary record through the late Ludlow Kozłowski event (Silurian) in the shale-dominated succession of Bohemia. *Geol. Mag.*, **149**(3), 507-531.
- Märss T. (2001) *Andreolepis* (Actinopterygll) in the Upper Silurian of northeastern Eurasia. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.*, **(50)3**, 174-189.
- Märss T., Männik P. (2013) Revision of Silurian vertebrate biozones and their correlation with the conodont succession. *Eston. J. Earth Sci.*, **62**(4), 181-204.
- Martma T., Brazauskas A., Kaljo D., Kaminskas D., Musteikis P. (2005) The Wenlock-Ludlow carbon isotope trend in the Vidukle core, Lithuania, and its relations with oceanic events. *Geol. Quart.*, **49**, 223-234.
- Melchin M.J., Koren T.N., Storch P. (1998) Global Diversity and Survivorship Patterns of Silurian graptoloids. *Land-*

- ing E., Jonson M.E. (Eds.) *Silurian Cycles Linkages of Dynamic Stratigraphy with Atmospheric, Oceanic and Tectonic Changes*, 165-182. (*N. Y. State. Mus. Bull.*, **491**).
- Melnikov S.V., Zhemchugova V.A. (2000) Lower Silurian stratigraphy of the Timan-Northern Ural region and eustatic fluctuation. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.*, **49**(2), 85-103.
- Modzalevskaya T.L., Wenzel B. (1999) Biostratigraphy and geochemistry of Upper Silurian brachiopods from the Timan-Pechora region (Russia). *Acta Geol.*, **(40)**2, 145-157.
- Munnecke A., Samtleben C., Bickert T. (2003) The Ireviken Event in the lower Silurian of Gotland, Sweden – relation to similar Palaeozoic and Proterozoic events. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **195**(1-2), 99-124.
- Salzman M. R. (2001) Silurian $\delta^{13}\text{C}$ stratigraphy: a view from North America. *Geology*, **29**, 671-674.
- Samtleben C., Munnecke A., Bickert T. (2000) Development of facies and C/O-isotopes in transects through the Ludlow of Gotland: evidence for global and local influences on a shallow-marine environment. *Facies*, **43**, 1-38.
- Slavík L., Carls P. (2012) Post-Lau Event (late Ludfordian, Silurian) recovery of conodont faunas of Bohemia. *Bull. Geosci.*, **87**(4), 815-832.
- Slavík L., Kříž J., Carls P. (2010) Reflection of the mid-Ludfordian Lau Event in conodont faunas of Bohemia. *Bull. Geosci.*, **85**(3), 395-414.
- Slavik L., Storch P., Manda S., Fryda J. (2014) Integrated stratigraphy of the Ludfordian in the Prague Synform. *GFF*, **136**(1), 238-242.
- Štorch P. (1995) Biotic crisis and post-crisis recoveries recorded by Silurian planktonic graptolite faunas of the Barrandian Area (Czech Republic). *Geolines*, **3**, 59-70.
- Talent J.A., Mawson R., Andrew A.S., Hamilton P.J., Whitford D.J. (1993) Middle Palaeozoic extinction events: faunal and isotopic data. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **104**, 139-152.
- The geologic Time Scale. (2012) (Eds F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg). Boston, Elsevier, 1144 p.
- Trotter J.A., Williams I.S., Barnes Ch.R., Männik P., Simpson A. (2016) New conodont $\delta^{18}\text{O}$ records of Silurian climate change: implications for environmental and biological events. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **443**, 34-48.
- Urbanek A., Teller L. (1997) Graptolites and stratigraphy of Wenlock and Ludlow Series in the East European Platform. *Urbanek A., Teller L. (Eds.) Silurian Graptolite Faunas of the East European Platform: Stratigraphy and Evolution*, 87-231. (*Palaeontol. Polon.*, **56**).
- Wenzel B. (1997) Isotopen stratigraphische Untersuchungen an silurischen Abfolgen und deren paläoozeanographische Interpretation. *Erlanger Geol. Abh.*, **129**, 1-117.
- Wenzel B., Joachimski M.M. (1996). Carbon and oxygen isotopic composition of Silurian brachiopods (Gotland/Sweden): Palaeoceanographic implications. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **122**, 143-166.
- Younes H., Calner M., Lehnert O. (2017) The first continuous $\delta^{13}\text{C}$ record across the Late Silurian Lau Event on Gotland, Sweden. *GFF*, **139**, 63-69.
- Andrew A.S., Hamilton P.J., Mawson R., Talent J.A., Whitford D.J. (1994) Isotopic correlation tools in the mid-Palaeozoic and their relation to extinction events. *Aust. Petrol. Explor. Assoc. (APEA) J.*, **34**, 268-277.
- Anishchenko L.A., Klimenko S.S., Prots'ko O.S., Silaev V.I. (2011) Results of isotopic-geochemical studies of carbonatolites within the oil-and-gas-bearing Khoreyverskaya and Denisovskaya depressions. *Geology and geochemistry of combustible fossils of the European North of Russia*, 26-44. (*Tr. IG Komi NTs UrO RAN*, vyp. 128). (In Russ.)
- Antoshkina A.I. (2018) The Ludfordian Lau Event (Upper Silurian) in the Northeastern Regions of European Russia. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **(26)**6, 15-40. (In Russ.)
- Antoshkina A.I., Afanas'ev A.K., Beznoсова T.M. (1989) New stratigraphic scheme of the Upper Ordovician and Silurian of the north of the Urals (Yelets zone). *Sykt'yvkar, Komi NTs UrO AN SSSR Publ.*, 16 p. (In Russ.)
- Aristov V.A. (1994) Conodonts of the Devonian – Carboniferous of Eurasia: associations, zonation, interfacial correlation. Moscow, Nauka Publ., 192 p. (In Russ.)
- Baraboshkin E.Yu., Veimarn A.B., Kopaevich L.F., Naidin D.P. (2002) Study of stratigraphic breaks in the production of geological surveys. Moscow, MGU Publ., 135 p. (In Russ.)
- Baranov V.V. (2015) Global events (Lower Pridolian and Klonk) in the Middle Paleozoic in the northeast of Eurasia and in adjacent territories. *Nauka i Obrazovanie*, **(3)**79, 33-37. (In Russ.)
- Baranov V.V., Blodzhett R.B. (2013) Correlation of the Pridolian beds (upper Silurian) of the Arctic regions of Eurasia and North America. *Otech. Geol.*, **5**, 52-57. (In Russ.)
- Barrick J.E., Klapper G., Kleffner M.A., Karlsson H.R. (2010a) Conodont biostratigraphy and stable isotope chemostratigraphy of the lower Henryhouse Formation (Gorstian-early Ludfordian, Ludlow, Silurian), southern Oklahoma, USA. *Mem. Assoc. Aust. Palaeontol.*, **39**, 51-70.
- Barrick J.E., Kleffner M.A., Gibson M.A., Peavey F.N., Karlsson H.R. (2010b) The mid-Ludfordian Lau Event and Carbon Isotope Excursion (Ludlow, Silurian) in southern Laurentia – Preliminary Results. *Boll. Soc. Paleontol. Ital.*, **49**, 13-33.
- Beznoсова T.M. (1994) Biostratigraphy and brachiopods of Silurian European North East of Russia. St.Petersburg, Nauka Publ., 128 p. (In Russ.)
- Beznoсова T.M. (2008) Brachiopod communities and biostratigraphy of Upper Ordovician, Silurian and Lower Devonian of North-Eastern margin of Baltia paleocontinent. Ekaterinburg, 218 p. (In Russ.)
- Beznoсова T.M., Matveev V.A. (2022) Regional carbon isotope curve and biotic events in the Silurian of the Western slope of the Subpolar Urals and Chernov Uplift. *Vestn. Geosci.*, **9**(333), 31-36. DOI: 10.19110/geov.2022.9.4.
- Beznoсова T.M., Matveev V.A. (2024) The Early Pridolian Event in the Silurian section on the Chernov uplift. In the collection: *Geology and mineral resources of the European North-East of Russia*. Proc. of the XVIII Geological Congress of the Komi Republic. Sykt'yvkar, 120-123.
- Beznoсова T.M., Matveev V.A., Puchkov V.N., Silaev V.I. (2020a) A gap in sedimentation in the Silurian section of the Subpolar Urals at the Ludlow-Pridoli boundary. *Lithosphere (Russia)*, **20**(6), 791-807. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-6-791-807>
- Beznoсова T.M., Matveev V.A., Sokolova L.V. (2018) Bio-

REFERENCES

Abushik A.F. (2000) Silurian – earliest Devonian ostracode biostratigraphy of the Timan-Northern Ural region. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.* **49**(2), 112-125.

- stratigraphical and event-stratigraphical boundary of the Ludlow and Pridoli on the Western slope of Subpolar Urals. *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN*, 11, 31-37. (In Russ.)
- Beznosova T.M., Matveev V.A., Shamsutdinova L.L. (2020b) New data on stratigraphy and an updated correlation scheme of the upper Ordovician and Silurian of the Timan-Pechora oil and gas province and the North of the Urals. *Izv. Komi NTs UrO RAN. Ser. Nauki o Zemle*, 6(46), 75-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2020-6-75-89>
- Beznosova T.M., Matveev V.A., Sokolova L.V., Kanev B.I. (2017) Regional traces of the global Ludfordian Event (Lau Event) from the outcrop of the Western slope of the Subpolar Urals. *Geodinamics, substance, ore genesis of the East European Platform and its folder framing: Extended of scientific conference reports*. Syktyvkar, IG Komi NTs UrO RAN Publ., 19-21. (In Russ.)
- Boucot A.J. (1975) *Evolution and Extinction Rate Controls*. Elsevier, Amsterdam, 427 p.
- Brett C.E., Ferretti A., Histon K., Schönlaub H.P. (2009) Silurian sequence stratigraphy of the Carnic Alps, Austria. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 279, 1-2.
- Calner M. (2005) Silurian carbonate platforms and extinction events – ecosystem changes exemplified from Gotland, Sweden. *Facies*, 51, 584-591.
- Calner M. (2008) Silurian global events—At the tipping point of climate change. *Elewa A.M.T. (Ed.) Mass Extinctions*. Springer-Verlag, Berlin, 21-57.
- Calner M., Eriksson M.J. (2006) Evidence for rapid environmental changes in low latitudes during the Late Silurian Lau Event: the Burgen-1 drillcore, Gotland, Sweden. *Geol. Mag.*, 143, 15-24.
- Calner M., Jeppsson L., Munnecke A. (2004) The Silurian of Gotland—Part I: Review of the stratigraphic framework, event stratigraphy, and stable carbon and oxygen isotope development. *Erlanger Geologische Abhandlungen. Sonderband*, 5, 113-131.
- Chernov G.A. (1972) Paleozoic of the Bolshezemelskaya tundra and prospects of its oil and gas bearing sections. Moscow, Nauka Publ., 318 p.
- Corradini C., Corrigan M.G. (2010) Silurian and lowermost Devonian conodonts from the Passo Volaja area (Carnic Alps, Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 49(3), 237-253.
- Corrigan M.G., Corradini C., Ferretti A. (2009) Silurian conodonts from Sardinia: an overview *rendicontidella. Società Paleontologica Italiana*, 3(1), 95-107.
- Cramer B.D., Brett C.E., Melchin J.M., Männik P., Kleffner M.A., McLaughlin P.I., Loydell D.K., Munnecke A., Jeppsson L., Corradini C., Brunton F.R., Saltzman M.R. (2011) Revised correlation of Silurian Provincial Series of North America with global and regional chronostratigraphic units and $\delta^{13}\text{C}$ chemostratigraphy. *Leithaia*, 44, 185-202. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1502-3931.2010.00234.x>
- Eriksson M.J., Calner M. (2008) A sequence stratigraphical model for the late Ludfordian (Silurian) of Gotland, Sweden: implications for timing between changes in sea level, palaeoecology, and the global carbon cycle. *Facies*, 54, 253-276.
- Eriksson M.E., Nilsson E.K., Jeppsson L. (2009) Vertebrate extinctions and reorganizations during the Late Silurian Lau event. *Geol.*, 37, 739-74.
- Explanatory note to Ural stratigraphic maps*. (1994) (Ed. N.Ya. Antsygin). Ekaterinburg, Ural'skaya geologos'emochnaya ekspeditsiya Publ., 95 p. (In Russ.)
- Farkaš J., Frýda J., Holmden C. (2016) Calcium isotope constraints on the marine carbon cycle and CaCO_3 deposition during the late Silurian positive $\delta^{13}\text{C}$ excursion. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 451, 31-40.
- Frýda J., Lehnert O., Frýdová B., Farkaš J., Kubajko M. (2020) Carbon and sulfur cycling during the mid-Ludfordian anomaly and the linkage with the late Silurian Lau/Kozłowski Bioevent. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 564(6), 110-152.
- Frýda J., Manda S. (2013) A long-lasting steady period of isotopically heavy carbon in the later Silurian ocean: evolution of the $\delta^{13}\text{C}$ record and its significance for an integrated $\delta^{13}\text{C}$, graptolite and conodont stratigraphy. *Bull. Geosci.*, 88, 463-482.
- Gocke M., Lehnert O., Frýda J. (2013) Facies development and palynomorphs during the Lau Event (Late Silurian) in a non-tropical carbonate environment: shallow and deep water examples from the Barrandian Area (Czech Republic). *Facies*, 59, 611-630.
- Gorozhanina E.N., Pazukhin V.N., Puchkov V.N. (2010) The paleogeodynamic conditions of redeposition of conodont elements in the Late Devonian–Early Carboniferous sediments of the Southern Urals. *Dokl. Earth Sci.*, 432(1), 560-564.
- Histon K., Schönlaub H.P. (1999) The Palaeozoic of the Southern Alps. *Ber. Geol. Bundesanstalt*, 47, 6-30.
- Jeppsson L. (2006) Conodont-based revisions of the Late Ludfordian on Gotland, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 127, 273-282.
- Jeppsson L. (1987) Lithological and conodont distributional evidence for episodes of anomalous oceanic conditions during the Silurian. *Aldridge R.J. (Ed.) Palaeobiology of Conodonts*. Ellis Horwood, Chichester, West Sussex, 129-145.
- Jeppsson L. (1993) Silurian events: the theory and the conodonts. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.*, 42, 23-27.
- Jeppsson L., Aldridge R.J. (2000) Ludlow (late Silurian) oceanic episodes and events. *J. Geol. Soc.*, 157, 1137-1148.
- Jeppsson L., Talent J.A., Mawson R., Andrew A., Corradini C., Simpson A.J., Wigforss-Lange J., Schönlaub H.P. (2012) Late Ludfordian correlation and the Lau Event. *Talent J.A. (Ed.) Earth and Life, International Year of Planet Earth*. Springer Science, 653-675.
- Jeppsson L., Talent J.A., Mawson R., Simpson A.J., Andrew A., Calner M., Whitford D., Trotter J.A., Sandström O., Caldron H.J. (2007) High-resolution Late Silurian correlations between Gotland, Sweden, and the Broken River region, NE Australia: lithologies, conodonts and isotopes. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 245, 115-137.
- Jeppsson L., Viira V., Männik P. (1994) Silurian conodont-based correlations between Gotland (Sweden) and Saaremaa (Estonia). *Geol. Mag.*, 131(2), 201-218.
- Kaljo D., Boucot, A.J., Corfield R.M., Le Herisse A., Korén T.N., Kříž J., Männik P., Märss T., Nestor V., Shaver R.H., Siveter D.J., Viira V. (1995) Silurian bioevents. *Walliser O.H. (Ed.) Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*. Springer-Verlag, 173-224.
- Kaljo D., Kiipli T., Martma T. (1997) Correlation of carbon isotope event markers through the Wenlock-Pridoli sequence at Ohesaare (Estonia) and Priekule (Latvia). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 132, 211-223.

- Kaljo D., Martma T., Männik P., Viira V. (2003) Implications of Gondwana glaciations in the Baltic late Ordovician and Silurian and a carbon isotopic test of environmental cyclicality. *Bulletin de la Société Géologique de France*, **174**, 59-66.
- Kolesnik L.S. (1994) On the paleontological characteristics of the Kharot suite (S-D₁) of the Lemva SFZ. *Geology and mineral resources of the European North-East of the USSR*. Abstracts of reports of the XII All-Union geological conference. Syktyvkar, **II**, 41-42. (In Russ.)
- Koren' T.N. (1993) Main event levels in the evolution of the Ludlow graptolites. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **1**(5), 44-52. (In Russ.)
- Kozłowski W. (2003) Age, sedimentary environment and palaeogeographical position of the Late Silurian oolitic beds in the Holy Cross Mountains (Central Poland). *Acta Geol. Pol.*, **53**, 341-357.
- Kozłowski W., Munnecke A. (2010) Stable carbon isotope development and sea-level changes during the Late Ludlow (Silurian) of the Lysog'ory region (Rzepin section, Holy Cross Mountains, Poland). *Facies*, **56**, 615-633.
- Kozłowski W., Sobięń K. (2012) Mid-Ludfordian coeval carbon isotope, natural gamma ray and magnetic susceptibility excursions in the Mielnik IG-1 borehole (Eastern Poland)-Dustiness as a possible link between global climate and the Silurian carbon isotope record. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **339-341**, 74-97.
- Kuleshov V.N. (2001) Evolution of isotopic carbon dioxide-water systems in lithogenesis. Report 1. Sedimentogenesis and diagenesis. *Litol. Polezn. Iskopaemye*, (5), 491-508. (In Russ.)
- Lehnert O., Eriksson M.J., Calner M., Joachimski M., Buggisch W. (2007a) Concurrent sedimentary and isotopic indications for global climatic cooling in the Late Silurian. *Acta Palaeontol. Sin.*, **46**, 249-255.
- Lehnert O., Frýda J., Buggisch W., Manda S. (2003) A first report of the Ludlow Lau event from the Prague Basin (Barrandian, Czech Republic). *Insugeo, Ortega, G., Aceñolaza, G.F. (Eds.) Ser. Correl. Geol.*, **18**, 139-144.
- Lehnert O., Frýda J., Buggisch W., Munnecke A., Nützel A., Kříž J., Manda S. (2007b) $\delta^{13}\text{C}$ records across the late Silurian Lau event: New data from middle palaeolatitudes of northern peri-Gondwana (Prague Basin, Czech Republic). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **245**, 227-244.
- Loydell D.K. (1998) Early Silurian sea-level changes. *Geol. Mag.*, **135**, 447-471.
- Loydell D.K., Frýda J. (2011) At what stratigraphical level is the mid Ludfordian (Ludlow, Silurian) positive carbon isotope excursion in the type Ludlow area, Shropshire, England? *Bull. Geosci.*, **86**(2), 197-208.
- Manda S., Kříž J. (2006) Environmental and biotic changes in subtropical isolated carbonate platforms during the Late Silurian Kozłowski Event, Prague Basin. *GFF*, **128**, 161-168.
- Manda S., Storch P., Slavík L., Frýda J., Kříž J., Tasáryová A. (2012) The graptolite, conodont and sedimentary record through the late Ludlow Kozłowski event (Silurian) in the shale-dominated succession of Bohemia. *Geol. Mag.*, **149**(3), 507-531.
- Märss T. (2001) *Andreolepis* (Actinopterygii) in the Upper Silurian of northeastern Eurasia. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.*, (50)3, 174-189.
- Märss T., Männik P. (2013) Revision of Silurian vertebrate biozones and their correlation with the conodont succession. *Eston. J. Earth Sci.*, **62**(4), 181-204.
- Martma T., Brazauskas A., Kaljo D., Kaminskas D., Mus-teikis P. (2005) The Wenlock-Ludlow carbon isotope trend in the Vidukle core, Lithuania, and its relations with oceanic events. *Geol. Quart.*, **49**, 223-234.
- Martynov A.V. (1993) Lithological and facies criteria for prognosis the oil and gas content of the Ordovician-Lower Devonian deposits of the Timan-Pechora province. Cand. geol. and min. sci. diss. St.Petersburg, 29 p. (In Russ.)
- Melchin M.J., Koren T.N., Storch P. (1998) Global Diversity and Survivorship Patterns of Silurian graptoloids. *Landing E., Jonson M.E. (Eds) Silurian Cycles Linkages of Dynamic Stratigraphy with Atmospheric, Oceanic and Tectonic Changes*, 165-182. (N. Y. State Mus. Bull., **491**).
- Mel'nikov S.V. (1997) Conodonts of the Lower Paleozoic of the Timan-North Urals region. *Biostratigraphy of oil and gas bearing basins*. St.Petersburg, 151-158.
- Mel'nikov S.V. (1999) Ordovician and Silurian conodonts of the Timan-Sever Ural region. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 136 p. (In Russ.)
- Melnikov S.V., Zhemchugova V.A. (2000) Lower Silurian stratigraphy of the Timan-Northern Ural region and eustatic fluctuation. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.*, **49**(2), 85-103.
- Modzalevskaya T.L. (1997) Middle Ludfordian event in evolution of Silurian brachiopods of the European province. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **5**(3), 3-9.
- Modzalevskaya T.L. (1985) Silurian and the Early Devonian brachiopods from the European part of the USSR. Order Athyridida. Moscow, Nauka Publ., 128 p. (In Russ.)
- Modzalevskaya T.L., Märss T. (1991) On the age of the lower boundary of the Greben' Regional Stage of the Urals. *Proc. Eston. Acad. Sci. Geol.* (40)3, 100-103.
- Modzalevskaya T.L., Wenzel B. (1999) Biostratigraphy and geochemistry of Upper Silurian brachiopods from the Timan-Pechora region (Russia). *Acta Geol.*, (40)2, 145-157.
- Nikiforova O.I. (1970) Brachiopods of Greiben horizon of Vaigach (Late Silurian). Stratigraphy and fauna of Silurian deposits of Vaigach. Leningrad, Sevmorgeologiya Publ., 97-149.
- Patrunov D.K., Shurygina M.V. (2002) Silurian and Early Devonian deposits of the Ufa Amphitheater. *Litosphera (Russia)*, **2**, 96-111. (In Russ.)
- Patrunov D.K., Shurygina M.V., Cherkesova S.V. (1980) Silurian and Lower Devonian deposits on Dolgiy Island. Silurian and Lower Devonian deposits on the Dolgiy Island. (Ed. V.P. Sapelnikov). Sverdlovsk, UNTs AN SSSR Publ., 3-26. (In Russ.)
- Pershina A.I., Tsyganko V.S., Shcherbakov E.S., Borintseva N.A. (1971) Biostratigraphy of Silurian and Devonian Deposits of the Pechora Urals. Leningrad, Nauka Publ., 130 p. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (1979) Batial complexes of passive margins of geosynclinal regions. Moscow, Nauka, 242 p. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (1973) Finds of conodonts in the Paleozoic of the Northern Urals and their stratigraphic significance. *Dokl. Akad. Nauk*, (209)3, 668-670. (In Russ.)
- Reference sections of the Silurian/Devonian Boundary Deposits of Subpolar Urals*. (1983) (Eds V.S. Tsyganko, V.A. Chermnykh). Syktyvkar, Komi fil. AN SSSR Publ., 136 p. (In Russ.)
- Resolution of the Interagency Stratigraphic Committee and its standing commissions*. (2008) St.Petersburg, Vseross.

- Nauch.-Issled. Geol. Inst, 38, 131 p. (In Russ.)
- Samtleben C., Munnecke A., Bickert T. (2000) Development of facies and C/O-isotopes in transects through the Ludlow of Gotland: Evidence for global and local influences on a shallow-marine environment. *Facies*, **43**, 1-38.
- Silurian and Lower Devonian deposits of the Dolgiy Island: Col. articles. (1980) Sverdlovsk, UNTs AN SSSR Publ., 141 p.
- Slavík L., Carls P. (2012) Post-Lau Event (late Ludfordian, Silurian) recovery of conodont faunas of Bohemia. *Bull. Geosci.*, **87**(4), 815-832.
- Slavík L., Kříž J., Carls P. (2010) Reflection of the mid-Ludfordian Lau Event in conodont faunas of Bohemia. *Bull. Geosci.*, **85**(3), 395-414.
- Slavik L., Storch P., Manda S., Fryda J. (2014) Integrated stratigraphy of the Ludfordian in the Prague Synform. *GFF*, **136**(1), 238-242.
- Štorch P. (1995) Biotic crisis and post-crisis recoveries recorded by Silurian planktonic graptolite faunas of the Barrandian Area (Czech Republic). *Geolines*, **3**, 59-70.
- Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic)*. (1993) Ekaterinburg, IGG UrO RAN Publ., Uralgeolkom Publ., 151 p.
- Talent J.A., Mawson R., Andrew A.S., Hamilton P.J., Whitford D.J. (1993) Middle Palaeozoic extinction events: faunal and isotopic data. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **104**, 139-152.
- The geologic Time Scale. (2012) (Eds F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg). Boston, Elsevier, 1144 p.
- Trotter J.A., Williams I.S., Barnes Ch.R., Männik P., Simpson A. (2016) New conodont $\delta^{18}\text{O}$ records of Silurian climate change: implications for environmental and biological events. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **443**, 34-48.
- Urbanek A., Teller L. (1997) Graptolites and stratigraphy of Wenlock and Ludlow Series in the East European Platform. *Urbanek A., Teller L. (Eds). Silurian Graptolite Faunas of the East European Platform: Stratigraphy and Evolution*, 87-231. (*Palaeontol. Polon.*, **56**).
- Vinogradov V.I. (2009) Possibilities and limitations of isotope chemostratigraphy. *Litol. Polezn. Iskop.*, **3**, 270-283. (In Russ.)
- Wenzel B. (1997) Isotopen stratigraphische Untersuchungen an silurischen Abfolgen und deren paläoozeanographische Interpretation. *Erlanger Geol. Abh.*, **129**, 1-117.
- Wenzel B., Joachimski M.M. (1996). Carbon and oxygen isotopic composition of Silurian brachiopods (Gotland/Sweden): Palaeoceanographic implications. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **122**, 143-166.
- Younes H., Calner M., Lehnert O. (2017) The first continuous $\delta^{13}\text{C}$ record across the Late Silurian Lau Event on Gotland, Sweden. *GFF*, **139**, 63-69.
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2010) Correlation of carbon isotopes in the stratosphere and biosphere: four scenarios. *Biosfera*, **2**, 231-246. (In Russ.)
- Yur'eva Z.P., Deulin Y.V., Beznosova T.M., Tsyganko V.S., Männik P., Martma T. (2002) Calcareous sequences in the Silurian–Devonian boundary beds in the Timan-Northern Ural region. *Geology of the Devonian System. Proc. of the International Symposium, Syktyvkar, Komi Republic. Syktyvkar, Geoprint Publ.*, 321-324. (In Russ.)
- Zhemchugova V.A., Mel'nikov S.V., Danilov V.N. (2001) Lower Paleozoic of the Pechora oil basin: structure and conditions of formation. Moscow, Izd-vo Akademii gornykh nauk, 109 p. (In Russ.)