

УДК 551.733.33(234.851)

DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-6-791-807

Перерыв в осадконакоплении на границе лудлова и пржидола в разрезе силура на Приполярном Урале

Т. М. Безносова¹, В. А. Матвеев¹, В. Н. Пучков², В. И. Силаев¹

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, e-mail: beznosova@geo.komisc.ru

²Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15

Поступила в редакцию 05.03.2020 г., принята к печати 24.06.2020 г.

Объект исследования. В статье рассматриваются результаты нового детального изучения опорного разреза верхнего силура на Приполярном Урале в связи с возникшими противоречиями в датировке возраста пограничных отложений лудлова и пржидола и определении рубежа лудлов–пржидол, основанном на изучении разных групп фауны. **Материалы и методы.** Вновь собранные коллекции содержат более 100 образцов осадочных пород с ископаемой макрофауной, 22 пробы на микрофауну и 198 проб на химический анализ, определения содержаний Ва, Sr и изотопного состава $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в карбонатах. Исследования подтверждены биоседиментологическими, палеоэкологическими и хемотратиграфическими авторскими данными. **Результаты.** Проведенные исследования позволили обосновать перерыв в осадконакоплении в конце лудлова, уточнить мощность сизимского горизонта в опорном разрезе, пополнить седиментологическую и хемотратиграфическую характеристики; проследить изменения биоразнообразия, обусловленные сменой режима осадконакопления, палеоэкологическим стрессовым воздействием на биоту в позднем лудлове, и восстановление биоты в раннем пржидоле; показать, что временные границы трансгрессивных и регрессивных этапов развития Североуральского морского бассейна и событийно-стратиграфический рубеж лудлов–пржидол непосредственно связаны с основными глобальными событиями в позднем силуре (Lau Event, Lower Pridolian Event), следы которых сохранились в изученном разрезе. **Выводы.** Усиление регрессивных тенденций на большей части Североуральского палеобассейна в позднелудловское время, широкое развитие микробиальной биоты, прекращение силурийского рифообразования и вымирание брахиопод отряда Pentamerida свидетельствуют о крупной экосистемной перестройке в позднем лудлове. Можно предположить, что отсутствие значительного позитивного отклонения $\delta^{13}\text{C}$ глобального лудфордского события в этом разрезе связано с перерывом, амплитуда которого соотносится с зонами Ozarkodina snajdri и Ozarkodina crispa, расположенными выше зоны Polygnathoides siluricus в конодонтовой последовательности верхнего лудлова.

Ключевые слова: лудлов, пржидол, верхний силур, перерыв в осадконакоплении, конодонты, брахиоподы, глобальные события, геохимическая характеристика, Приполярный Урал

Источник финансирования

Исследования проведены в соответствии с темами государственного задания № ГРАААА-А17-117121270038-1 ИГ Коми НЦ УрО РАН и № АААА-А18-118052590032-6 ИГГ УрО РАН

A gap in sedimentation in the Silurian section of the Subpolar Urals at the Ludlow-Pridoli boundary

Tatiana M. Beznosova¹, Vladimir A. Matveev¹, Viktor N. Puchkov², Valerii I. Silaev¹

¹N.P. Yushkin Institute of Geology, Komi Scientific Centre, UB RAS, 54 Pervomaiskaya st., Syktывkar 167982, Russia, e-mail: beznosova@geo.komisc.ru

²A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg 620016, Russia

Received 05.03.2020, accepted 24.06.2020

Research subject. The article discusses the results of a new detailed study of a reference section of the Upper Silurian in the Subpolar Urals. This study was undertaken to clarify the existing contradictions concerning the age of the Ludlow-Pridoli boundary deposits and the definition of the Ludlow-Pridoli boundary, which is based on the study of different fauna groups. **Materials and methods.** The newly collected collections contained more than 100 samples of sedimentary rocks with fos-

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

For citation: Beznosova T.M., Matveev V.A., Puchkov V.N., Silaev V.I. (2020) A gap in sedimentation in the Silurian section of the Subpolar Urals at the Ludlow-Pridoli boundary. *Litosfera*, 20(6), 791-807. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-6-791-807

© Т.М. Безносова, В.А. Матвеев, В.Н. Пучков, В.И. Силаев, 2020

sil macro fauna, 22 tests on microfauna, 198 tests on chemical analysis for determining the content of Ba, Sr and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ isotopes in carbonates. The results of experiments were confirmed by the authors' bio-sedimentological, paleo-ecological and chemostratigraphic data. *Results.* The conducted research confirmed the existence of a gap in sedimentation at the end of Ludlow; clarified the thickness of the Sizim stage in the reference section; elucidated its sedimentological and chemostratigraphic characteristics; allowed changes in biodiversity due to a change in the sedimentation regime, paleoecological impact on biota in the late Ludlow and restoration of biota in the early Pridoli to be traced. The study also demonstrated that the time boundaries of the transgressive and regressive stages in the development of the Northern Ural sea basin and the event-stratigraphic boundary of the Ludlow-Pridoli were directly related to the main global events in the Late Silurian (Lau Event, Lower Pridolian Event), the traces of which are preserved in the studied section. *Conclusions.* The intensification of regressive tendencies across the largest part of the Northern Ural paleobasin in the Late Ludlow, widespread development of microbial biota, cessation of the Silurian reef formation, as well as the extinction of Pentamerida brachiopods – exclusively, indicate a significant ecosystematic restructuring in the late Ludlow. It can be assumed that the absence of a significant positive deviation of the $\delta^{13}\text{C}$ global Lau Event in this section is associated with the identified gap, the amplitude of which correlates with the Ozarkodina snajdri and Ozarkodina crispa zones located above the Polygnathoides siluricus zone in the conodont sequence of the Upper Ludlow.

Keywords: Ludlow, Pridoli, Upper Silurian, gap in sedimentation, conodonts, brachiopods, global events, geochemical characteristics, Subpolar Urals

Funding information

The work was conducted within the framework of the projects of the Institute of Geology No. ГПАААА-А17-117121270038-1 Federal Research Centre Komi Scientific Centre, UB RAS and No. АААА-А18-118052590032-6 IGG UB RAS

Acknowledgements

The authors are grateful to P. Männik for joint field work and discussions of the results, T. Märss for determining vertebrates, and L.V. Sokolova for determining conodonts in the deposits of the Ludlow-Pridoli boundary, A.V. Zhuravlev for his valuable recommendations, I.V. Smoleva, an engineer of the “Geoscience” laboratory of the Institute of Geology, Komi Science Centre, for determining the carbon isotopic composition of carbonate rocks.

ВВЕДЕНИЕ

В “Объяснительной записке к Унифицированной стратиграфической схеме Урала (докембрий, палеозой)” (1994) отмечено, что основой биостратиграфического расчленения пограничных толщ лудлова и пржидола является эволюционная смена брахиопод *Didymothyris didyma* Dalman и *Collarothyris canaliculata* Wenjukov, а также обновление таксономического состава и увеличение разнообразия биоты в основании белушьянского горизонта пржидола, наблюдаемые в опорных разрезах Михайловско-Вайгачской фациальной зоны. В этих опорных разрезах, которые находятся на западном склоне Приполярного Урала (р. Кожым), на поднятиях Чернышева и Чернова, а также в центральной части Уфимского амфитеатра, на о-вах Долгий и Вайгач, граница лудлова и пржидола принята в основании характерных комковатых известняков белушьянского горизонта (гребенского надгоризонта), где повсеместно различима терригенная или карбонатно-терригенная пачка. На Вайгаче и Долгом это – алевролиты и аргиллиты с прослоями и линзами брахиоподовых ракушняков, в разрезе западного склона Приполярного Урала (р. Кожым, обн. 236) – аргиллиты, алевролиты, известняки с ракушняками брахиопод. Терригенно-карбонатная пачка в основании белушьянского горизонта в опорном разрезе на западном склоне Приполярного Урала отвечает новому циклу осадконакопления в пржидоле. Аналогичные изменения на рубеже лудлова и пржидола характерны для всей

Новоземельско-Пайхойской провинции (Черкесова, 1970; Нехорошева, Патрунов, 1981; Опорные разрезы..., 1983; Объяснительная записка..., 1994) и за ее пределами на Европейском Северо-Востоке России (Мельников, 1999; Жемчугова и др., 2001; Патрунов, Шурыгина, 2002; Безносова, 2008; Баранов, Блоджетт, 2013; и др.).

Д.К. Патрунов и М.В. Шурыгина в 2002 г. опубликовали результаты детальных исследований и нового послыонного описания осадочных толщ силура по берегам Михайловского пруда и в центральной части Уфимского амфитеатра (Патрунов, Шурыгина, 2002). В настоящей публикации приведены данные детального стратиграфического расчленения, а также палеонтологические и литологические характеристики кубинских слоев сизимского горизонта лудлова и демидских слоев пржидола в соответствии с существующей региональной стратиграфической схемой Урала (Объяснительная записка..., 1994).

Другой подход к определению рубежа лудлова и пржидола в опорном разрезе верхнего силура на западном склоне Урала и в разрезе на поднятии Чернова предложили Т.Л. Модзалевская и Т. Мярсс (1991) на основе определений позвоночных и брахиопод в кубинских и демидских слоях Уфимского амфитеатра. В результате возраст нижней части гребенского надгоризонта (белушьянского горизонта пржидола) был ими определен как средний лудфордий лудлова. В дальнейшем с этим интервалом разреза было соотнесено событие Лау (Lau Event), зафиксированное в разрезах на Припо-

лярном Урале и поднятии Чернова (Модзалевская, 1997; Modzalevskaya, Wenzel, 1999). С таких же позиций А.И. Антошкина (2012) рассматривает отложения целебейской свиты пржидола в опорном разрезе на Приполярном Урале как верхнелудловские: "...в основании целебейской свиты верхнего лудфордия мощностью 3.92 м, с прослоями черных аргиллитов...". Далее она отмечает, что "...впервые в биосферной истории палеозоя на Приполярном Урале установлено позднелудфордское аноксическое событие, которое совпало со среднелудфордским биотическим событием Лау..." (там же, с. 3). В другой статье приводится описание контакта "...среднелудфордских слоев мощностью 3.2 м и нижней части целебейских слоев (8.9 м)" (Антошкина, 2018), которые, согласно рисунку на с. 19 ее статьи, соответствуют верхнему лудфордию. При этом ни в одной публикации не приведены какие-либо палеонтологические данные с точной привязкой к разрезу, указывающие на лудловский возраст нижней части целебейской свиты. Раннепржидольский возраст целебейской свиты, напротив, обоснован многочисленными остатками разнообразной фауны (Объяснительная записка..., 1994; Мельников, 1999; Abushik, 2000; Жемчугова и др., 2001; и др.).

Учитывая возникшее противоречие в определении возраста верхней части сизимского горизонта лудлова, нижней части белушинского горизонта пржидола и, соответственно, в определении рубежа лудлов-пржидол, мы провели новое послойное изучение опорного разреза в бассейне р. Кожым на Приполярном Урале (Матвеев, Канев, 2016; Безносова и др., 2017). Первые результаты изучения строения осадочной толщи, фаунистической последовательности, а также изотопной характеристики этого разреза, позволившие сделать предположение о существовании перерыва в осадконакоплении в конце лудлова, были доложены нами на Всероссийской научной конференции с международным участием в Сыктывкаре "Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления" и опубликованы в кратких статьях (Безносова и др., 2017; Безносова и др., 2018; Beznosova et al., 2019).

Рассматриваемый разрез (обн. 236) расположен на западном склоне Приполярного Урала в бассейне р. Кожым (рис. 1). В этом разрезе наиболее полно вскрываются сизимский горизонт (лудфордий) лудлова и белушьянский горизонт пржидола, а также седиментологически и палеонтологически обоснованная граница между ними (Безносова и др., 2017, 2018). Уникальность этого разреза состоит еще и в том, что в отложениях сизимского горизонта были найдены пандемичные конодонты *Polygnathoides siluricus* Branson et Mehl, указывающие на возможность обнаружения следов глобального события Лау. Впервые комплекс с таки-

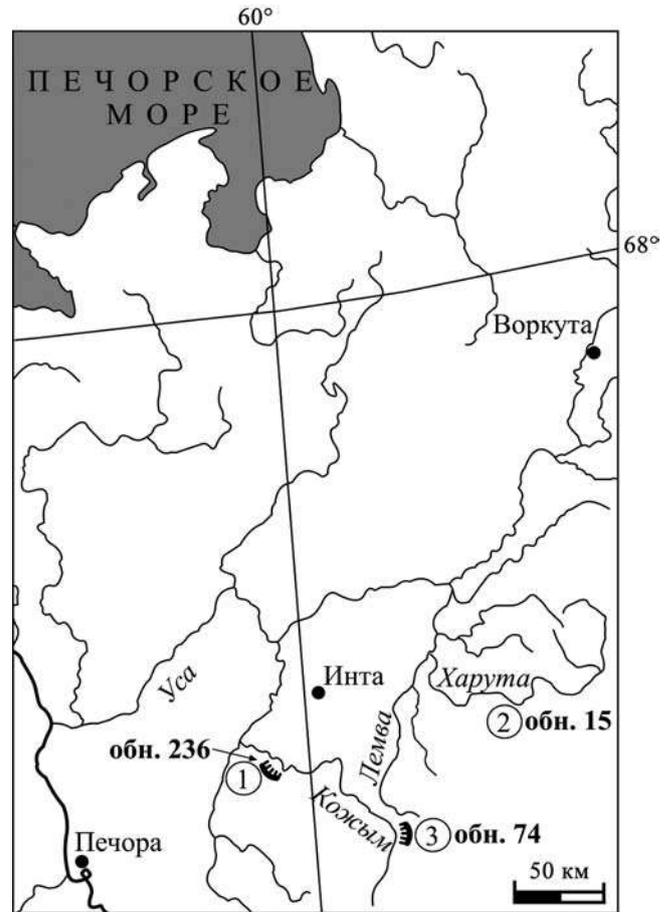


Рис. 1. Схема местонахождения фаунистически подтвержденных разрезов верхнего силура.

Цифры в кружках: 1, 2 – конодонты *Polygnathoides siluricus*; 3 – брахиоподы *Pentamerida*.

Fig. 1. The location of the sections, faunistically confirmed of the Upper Silurian.

Numbers in circles: 1, 2 – location of the conodonts *Polygnathoides siluricus*; 3 – of the brachiopods – *Pentamerida*.

ми конодонтами в Североуральском регионе обнаружил В.Н. Пучков (1979) на р. Харута (обн. 15) Позже С.В. Мельников встретил этот вид в отложениях сизимского горизонта в кожымском разрезе, в обн. 236 (Опорные разрезы..., 1983; Мельников, 1999). К настоящему времени на территории Тимано-Североуральского региона известны лишь эти два местонахождения конодонтов *P. siluricus*. Branson et Mehl. Находки конодонтов этого вида зафиксированы и в более южных районах Урала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Послойное изучение опорного разреза верхнего силура в бассейне р. Кожым было проведено В.А. Матвеевым и сотрудником Института геологии Таллинского технического университета

П. Мянником в 2012 г. На залесенном участке берегового склона ими была сделана расчистка задернованного интервала разреза верхнего лудлова мощностью более 16 м, который ранее никем не изучался. В результате мощность обнаженного сизимского горизонта в опорном разрезе достигла 72 м. Вновь собранные коллекции содержат более 100 образцов осадочных пород с ископаемой макрофауной, 22 пробы на микрофауну и 198 проб на содержание Ba, Sr и определения изотопного состава углерода и кислорода в карбонатах. Кроме того, были учтены полученные ранее определения фауны А.Ф. Абушик (остракоды), Т.М. Безносовой и Т.Л. Модзалевской (брахиоподы), С.В. Мельниковым, П. Мянником и Л.В. Соколовой (конодонты).

Образцы на определение изотопного состава углерода и кислорода в карбонатных породах сизимского горизонта лудлова и белушьянского горизонта пржидола отбирались дважды – в 2000 и 2012 гг. Коллекция, собранная П. Мянником и Т. Мартма в 2000 г., анализировалась в лаборатории изотопной палеоклиматологии Института геологии Таллинского технического университета. Коллекция 2012 г. анализировалась в ЦКП “Геонаука” Института геологии Коми НЦ УрО РАН на масс-спектрометре DELTAV Advantage. Значения изотопных коэффициентов определялись по стандартам PDBNBS18 и NBS19 (TS-limestone) для углерода и SMOW – для кислорода. Погрешность определения обоих коэффициентов не превышала $\pm 0.1\%$. Всего было сделано 76 определений (шаг отбора проб из разреза – 50 см). Материалом для изотопного анализа послужили карбонатные породы, наименее подвергшиеся вторичным преобразованиям. Образцы получали с помощью алмазного сверла диаметром 3.5 мм.

Биостратиграфически привязанные изотопно-геохимические данные по образцам, собранным в 2000 и 2012 гг., показали почти полное совпадение. Коллекции литологических образцов, шлифов и остатков фауны хранятся в Геологическом музее им. А.А. Чернова Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Сизимский горизонт верхнего лудлова на западном склоне Приполярного Урала слагают преимущественно терригенно-карбонатные породы, а также массивные биогермные толщи рифов, разделяющие отложения мелководного шельфа и континентального склона в краевой части шельфа на востоке Тимано-Североуральского морского палеобассейна (территория современного Предуральского краевого прогиба и западного склона Урала). Рифовые постройки активно влияли на дифференциацию экологических ниш. В результате в лудлов-

ское время обособились две разные экосистемы – ровного дна и рифов (Опорные разрезы..., 1983; Объяснительная записка..., 1994; Безносова, 2008). Рифогенная толща, заключающая в себе захоронения многих сотен раковин брахиопод *Conchidium novosemelicum* Nalivkin – последних силурийских представителей отряда Pentamerida, вскрывается в бассейне р. Кожым в обн. 74, расположенном в 57 км вверх по реке от рассматриваемого здесь терригенно-карбонатного разреза. Это захоронение на Приполярном Урале является наиболее ярким свидетельством массовой гибели брахиопод сообщества пентамерид, а также обильной и разнообразной биоты лудловских рифов. Разрушение рифовых экосистем и вымирание пентамерид в конце лудлова в морских бассейнах разных континентов, связанное с событием Лау, получили название “Pentamerid Event” (Talent et al., 1993).

Терригенно-карбонатный разрез сизимского горизонта лудлова в обн. 236 мощностью 72 м по условиям осадконакопления и распространению органических остатков разделен нами на две толщи. Нижняя часть разреза сизимского горизонта (толща 1) мощностью 28 м формировалась преимущественно в сублиторально-литоральных обстановках. Эта толща содержит многочисленные остатки остракод, пелеципод, единичные ругозы, брахиоподы *D. Didyma* (Dalman) и конодонты *P. siluricus*. Branson et Mehl. Описание этой нижней толщи разреза и определения фауны в ней приведены в путеводителе (Опорные разрезы..., 1983) и здесь не рассматриваются.

В настоящей статье приводится описание верхней части сизимского горизонта (толща 2) мощностью 44 м и пограничных с ним отложений белушьянского горизонта пржидола мощностью 25 м. Формирование толщи 2 сизимского горизонта происходило в более мелководных условиях литорали и супралиторали в отличие от подстилающей ее нижней толщи 1. В средней части толщи 2 отчетливо проявляются седиментационные признаки постепенного обмеления – появление оолитовых, микробиальных сгустковых известняков, увеличение вверх по разрезу слоев со строматолитами, прослоев глин и мергелей, известняков литобиокластовых с плоскогалечными конгломератами, трещинами усыхания и поверхностями перерывов. В известняках и пропластках глин, разделяющих прослойки строматолитов, присутствуют единичные створки раковин брахиопод, *D. didyma* (Dalman), остатки позвоночных *Phlebolepis elegans* Pander, мелких остракод, гастропод, пелеципод, фрагменты криноидей и перекристаллизованный биокластовый материал.

Наблюдаемое сокращение таксономического разнообразия биоты завершилось исчезновением лудловских брахиопод, остракод и другой фауны и замещением ее строматолитообразующими

организмами (Матвеев, Канев, 2016). Венчает сизимский горизонт слой пластичной пестроцветной (красной, светло-зеленой, голубой) глины мощностью до 4–5 см. В кровле этих пестроцветных глин проводится литологическая граница между сизимским горизонтом лудлова и белушшинским горизонтом пржидола.

Переход от лудловских отложений к пржидольским фиксируется появлением в основании белушшинского горизонта карбонатно-глинистой толщи с прослоями аргиллитов, алевролитов и известняков с ракушкой брахиопод. Этот интервал разреза верхнего силура на территории Урало-Новоземельской области отвечает новому циклу осадконакопления в пржидоле (Черкесова, 1970; Нехорошева, Патрунов, 1981; Объяснительная записка..., 1994; Мельников, 1999; Жемчугова и др., 2001; Патрунов, Шурыгина, 2002; Баранов, Блуджетт, 2013; и др.).

ПОСЛОЙНОЕ ОПИСАНИЕ ПОГРАНИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЛУДЛОВА И ПРЖИДОЛА

Сизимский горизонт лудлова

1. Известняки светло- и темно-серые, коричневатые скрытокристаллические тонкослоистые со скоплениями остракод (рис. 2а) *Herrmannina hebes* Abushik, *Kiaeria crassa* Abushik, *K. aff. elegans* Abushik, *Leiocyamus variabilis* Abushik, *Eukloedenell apartibile* Abushik, *Cytherellina* sp. и единичных раковин брахиопод *Didymothyris* sp. В верхней части слоя известняки серые микрозернистые глинистые комковатые с фрагментами члеников криноидей, крупных раковин пелеципод, ориентированных параллельно поверхностям напластования. Верхняя граница слоя четкая, ровная. Мощность 2.5 м.

2. Известняки темно-серые тонкоплитчатые. В нижней части слоя наблюдаются прослой (до 10 см) известняка с остракодами с *Kiaeria crassa* Abushik, *L. paulus* Zenkova, с брахиоподами *D. Didyma* (Dalman), гастроподами и пелециподами, ориентированными параллельно поверхностям напластования. Верхнюю часть слоя составляют доломиты серо-коричневатые тонко- и микро-слоистые с прослоями остракодового известняка. На выветренной поверхности порода прерывистобугристая. Верхняя граница слоя четкая, волнистая. Мощность 1.5 м.

3. Доломиты серые, серо-коричневатые, тонко- и среднеслоистые. В нижней части слоя – прослой (0.75 м) известняка доломитизированного темно-серого с линзовидными скоплениями остракод и темно-серого карбонатного гравелито-песчаника. В средней части слоя – известняки строматолитовые (диаметр построек до 0.4 м). Пространство между строматолитами заполнено темным, коричневато-серым мелкокристаллическим доло-

митом с включениями хорошо окатанного тонкого карбонатного кластического материала. В верхней части слоя – брахиоподы *D. Didyma* (Dalman), остатки позвоночных *P. elegans* Pander, прослой с остракодами, гастроподами, пелециподами, ориентированными параллельно поверхностям напластования. Верхняя граница четкая, пологоволнистая. Мощность 4.5 м.

4. Известняки доломитизированные, темно-серые до черных с коричневатым оттенком мелко- и скрытокристаллические, участками крупнокристаллические с полураковистым сколом с линзовидными скоплениями остракодового известняка. На выветрелой поверхности наблюдается волнистая тонкая полосчатость, образованная неравномерным распределением створок остракод в породе. Верхняя граница слабоволнистая. Мощность 1.2 м.

5. Доломиты светло-серые, серые мелкокристаллические толстослоистые тонкослойчатые. Тонкослойчатость слабоволнистая. Верхняя граница четкая, мелкобугристая. Мощность 1.4 м.

6. Известняки темно-серые, с коричневатым оттенком, микро- и скрытокристаллические, тонко- и среднеслоистые. В слое наблюдаются ходы илоедов, выполненные серовато-коричневым глинистым известняком, придающим породе мелкокомковатый облик, фрагменты раковин брахиопод, пелеципод и остракод. Остатки фауны распределены неравномерно, в виде скоплений. Верхняя граница четкая мелкобугристая. Мощность 1.3 м.

7. Доломиты коричневые мелкокристаллические среднеслоистые с горизонтальными прослойками глинистого материала. В нижней половине слоя встречаются перекристаллизованные створки пелеципод, ориентированные параллельно поверхностям напластования. Верхняя граница слоя четкая, мелкобугристая. Мощность 0.9 м.

8. Доломиты коричневато-серые мелкокристаллические, средне- и тонкослоистые с прослойками глинистого материала. В нижней половине слоя встречаются створки пелеципод. В интервале ≈0.6–0.8 м выше нижней границы слоя наблюдаются нарушения тонкой слойчатости, напоминающие трещины усыхания на выветренной поверхности породы. Верхняя граница слоя четкая мелкобугристая. Мощность 2.4 м.

9. Доломиты коричневато-серые мелкокристаллические тонко- и среднеслоистые с прослойками глинистого материала, по которым порода распадается на тонкие слои. В средней части слоя – прослой темно-коричневой глины с мелкими обломками мергеля (3–5 см), с несортированным, полностью перекристаллизованным биокластовым материалом, а также с целыми створками брахиопод и пелеципод. В верхней половине слоя наблюдаются трещины усыхания (?). Верхняя граница слоя задренована. Мощность 1.6 м.

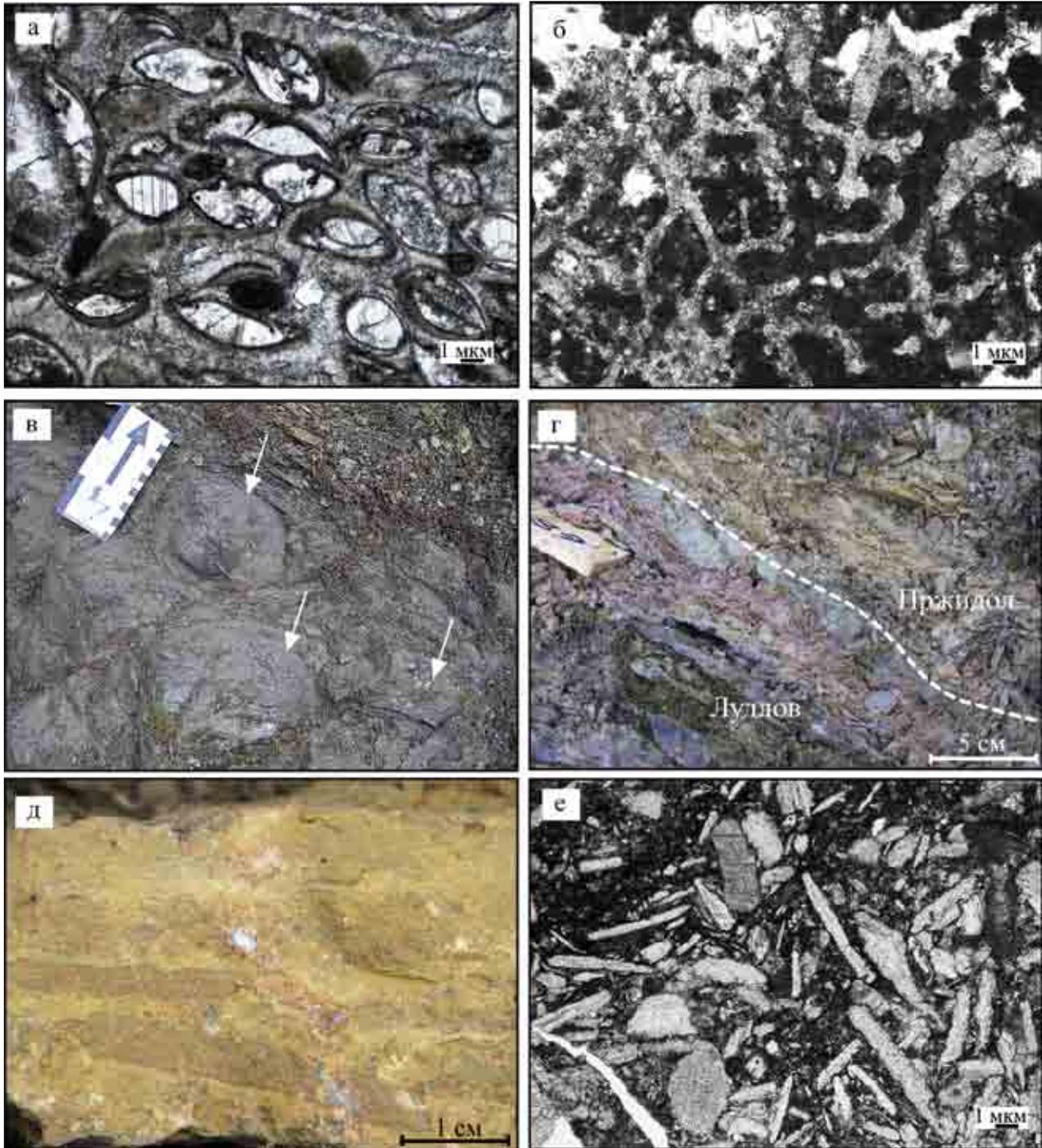


Рис. 2. Основные типы пород пограничных отложений сизимского горизонта лудлова и белушьинского горизонта пржидола.

а – известняк остракодовой (слой 1); б – известняки с остатками проблематичных организмов (слой 12); в – строматолиты с куполовидными постройками (слой 14); г – прослой с пластичной пестроцветной глиной (красной, светло-зеленой, голубой) в кровле сизимского горизонта (слой 21); д – доломиты с литокластами (брекчии взламывания) (слой 22); е – доломиты лито- и биокластовые (слой 26). Детали описаний см. в тексте.

Fig. 2. The main rock types of the boundary deposits of the Sizim Horizon of Ludlow and the Belush'ya Horizon of Pridoli.

а – ostracodic limestone (layer 1); б – limestones with problematic residues of organisms (layer 12); в – stromatolites with domed structures (layer 14); г – interlayer with plastic variegated clay (red, light green, blue) in the roof of the Sizim stage (layer 21); д – dolomites with lithoclasts (breaking breccias) (layer 22); е – litho-, bioclastic dolomites (layer 26). Details see in text.

Перерыв 3 м.

10. Доломиты серые, темно-серые, мелкокристаллические, средне- и тонкослоистые с тонкими прослоями глинистого материала, заключающими тонкий окатанный обломочный материал. В слое наблюдаются створки брахиопод *D. didyma* (Dalman), пелеципод и остракод. Верхняя граница четкая мелкобугристая. Мощность 1.7 м.

Перерыв 4 м.

11. Доломиты коричневато-серые мелкокристаллические слабоглинистые толстослоистые. В нижней части слоя наблюдаются линзовидные прослои глинистого алевролита и фрагменты перекристаллизованных остатков фауны. В верхней части слоя – линзовидный прослой темного коричневатого серого листовато-глинистого алевролита. Верхняя граница слоя пологоволнистая. Мощность 1 м.

12. Известняки темно-серые мелкокристаллические оолитово-остракодовые волнисто-, тонко- и косослойчатые с прослоями известняков, заключающих в себе корковидные и трубчатые строматопоридеи, отдельные целые створки мелких остракод и брахиопод и остатки позвоночных *P. elegans* Pander. В средней части слоя развиты два прослоя строматолитов с куполовидными колониями диаметром до 25 см и высотой до 10 см. Строматолиты перекрываются известняками коричневато-серыми микрокристаллическими с окатанными плоскими гальками (1 × 7 см). В шлифах на поверхности напластования породы наблюдаются проблематичные организмы (?) – 1.32 мм и фрагменты *Sphaerina* (?), *Renalcis* (рис. 26). Верхняя граница слоя задернована. Мощность 4.5 м.

Перерыв 0.7 м.

13. Известняки доломитизированные коричневато-серые тонкослойчатые переслаиваются с доломитами массивными серыми и темно-серыми с голубоватым оттенком мелкокристаллическими с целыми створками остракод и их фрагментами. Мощность 1.55 м.

Перерыв 3.0 м.

14. Доломиты серые, светло-серые мелкокристаллические толстослоистые переслаиваются с доломитами глинистыми тонкослойчатыми, заключающими в себе мелкие створки брахиопод, гастропод и пелеципод. Отдельные прослои глинистых доломитов содержат хорошо окатанную гальку (диаметром 1 см), а также участки с биокластовым материалом. В средней части развит прослой с куполообразными строматолитами (диаметр до 10 см, высота до 20 см) (рис. 2в). Верхняя граница слоя ровная, гладкая. Мощность 4.3 м.

15. Мергель темно-коричневый, черный, в нижней части слоя (≈0.3 м) участками листоватый. В верхней части слоя – доломит глинистый более светлый, коричневато-серый. Переход от темной породы к более светлой постепенный. Верхняя граница волнистая. Мощность 0.65 м.

16. Доломиты серые, темно-серые участками крупнокристаллические линзовидно-пятнистополосчатые с галькой (диаметром до 2 см). В нижней части слоя наблюдается прослой с обломочным материалом разной степени окатанности. Выше породе содержит перекристаллизованный биокластовый материал. Верхняя граница четкая волнистобугристая. Мощность 0.25 м.

17. Доломиты серые с коричневатым оттенком мелкокристаллические со строматолитами (диаметр построек до 0.15 м). Верхняя граница слоя пологоволнистая. Мощность 0.45 м.

18. Доломит серый мелкокристаллический тонко- и среднеслоистый с перекристаллизованными остатками фауны. Нижние 0.1 м слоя волнистотонкоплитчатые, с прослоями мергеля и биокластовым материалом. Верхняя граница ровная, почти гладкая. Мощность 0.7 м.

19. Доломиты серые мелкокристаллические средне- и толстослоистые с перекристаллизованным детритом и отдельными створками брахиопод. Верхняя граница мелкобугристая. Мощность 0.6 м.

20. Доломиты буровато-желтые тонко- и среднеслоистые мелкокристаллические. В прослоях встречается несортированный перекристаллизованный детрит с единичными створками раковин брахиопод и остракод. Верхняя граница четкая, ровная, почти гладкая. Мощность 0.43 м.

21. Пластичная пестроцветная глина (красная, светло-зеленая, голубая) (рис. 2г). Верхняя граница слоя волнистая. Мощность 0.04–0.05 м.

Общая мощность 44 м.

По кровле прослоя пестроцветных глин установлена граница между сизимским горизонтом лудлова и белушьинским горизонтом пржидола.

Судя по изученному разрезу, максимум падения относительного уровня моря приходится на окончание лудлова. Сокращение таксономического разнообразия фауны, сменившееся доминированием строматолитообразующей биоты, свидетельствует о крупной экосистемной перестройке в конце лудлова. Верхняя граница сизимского горизонта фиксирует при этом завершающую регрессивную фазу развития бассейна в конце лудлова с характерными признаками перерыва в осадконакоплении (Безносова и др., 2017, 2018).

Белушьинский горизонт пржидола

22. Мергель доломитовый алевролитистый, в некоторых прослоях буровато-желтый, коричневатый, светло-зеленоватый сильно выветренный. Верхи слоя слагают буровато-желтые мелкокристаллические глинистые доломиты с прослоем более темного желтовато-коричневатого доломита, в котором наблюдаются неокатанные обломки породы (брекчия взламывания) (рис. 2д), створки брахиопод, а также перекристаллизованный детрит.

Верхняя граница мелкобугристая карманообразная. Мощность 0.31 м.

23. Доломиты известковые серые со слабым коричневатым оттенком мелкокристаллические тонко- и линзовидно-слоистые с рассеянным детритом и единичными брахиоподами *Hemitoechia distincta* Nikiforova. Верхние 0.05 м слагает доломитизированный брахиоподовый известняк с *Collarothyris canaliculata* (Wenjukow). Верхняя граница слоя ровная, гладкая. Мощность 0.31 м.

24. Мергель доломитовый алевролитистый желтовато-красновато-коричневый тонкоплитчатый листоватый. Верхняя граница слоя четкая, мелкобугристая. Мощность 0.13 м.

25. Известняки слабо доломитизированные темно-серые мелко- и микрокристаллические массивные с отдельными створками брахиопод *C. canaliculata* (Wenjukow). Верхняя граница слоя мелкобугристая. Мощность 0.3 м.

26. Доломиты глинистые, зеленовато-серые, с фрагментами раковин брахиопод (?) и лито-, биокластового материала (рис. 2е). Верхняя граница слоя бугристая. Мощность 0.45 м.

27. Известняк комковатый серый, коричневатосерый с прослоями известняков брахиоподовых глинистых и биокластовых с обильной разнообразной фауной. По всему слою встречаются колонии строматопороидей, табулят *Syringoporas shmidtii* Tchernyshev, брахиоподы *C. canaliculata* (Wenjukow), *Howellella pseudogibbosa* Nikiforova и *Atrypoides sheii* (Holtedah). Верхняя граница слоя бугристая. Мощность 23.5 м.

Мощность рассматриваемого интервала белушьянского горизонта пржидола 25 м.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗА

В качестве геохимических характеристик исследуемого разреза пограничных отложений лудлова и пржидола использованы содержания микроэлементов – бария и стронция, а также изотопный состав углерода и кислорода в карбонатах (табл. 1, 2). Упомянутые микроэлементы, как известно, характеризуются контрастным распределением по терригенным, карбонатно-известковым и карбонатно-доломитовым литотипам и часто используются как геохимические индикаторы седиментационных обстановок – депрессионных, эвапоритовых, рифогенных, а также палеоклимата, солености, а возможно, и истории морских биотот (Kranz, 1973; Кузнецов, Пийп, 1974; Юдович, 1976а, б; Юдович и др., 1980). Полученные результаты геохимических и изотопно-геохимических исследований, последовательно привязанные к интервалам разреза, можно обобщить следующим образом. В изученном разрезе выделяется пять характерных интервалов.

Интервал I. В части карбонатолитов сложен преимущественно доломитами. Содержание бария и стронция в известняках составляет в среднем соответственно 63 и 300 г/т, Sr/Ba = 8.6. В доломитах эти значения, соответственно Ba = 59, Sr = 143 г/т, Sr/Ba = 3. В целом по интервалу Ba = 61, Sr = 176 г/т, Sr/Ba = 3, что примерно соответствует пропорции между доломитами и известняками в рассматриваемом интервале. Корреляция между содержаниями Ba и Sr отсутствует. Выявленная диспропорция в содержаниях стронция между доломитами и известняками является литологически вполне стандартной, но по уровню содержания Sr исследованные карбонатолиты заметно уступают средним значениям, полученным для карбонатных отложений в Елецкой структурно-формационной зоне Печорского Урала (Юдович, 1976б).

Средние значения изотопных коэффициентов для углерода и кислорода в доломитах: $\delta^{13}\text{C} = -4.97$ и $\delta^{18}\text{O} = 23.99\%$, а в известняках: -4.86 и 23.08% соответственно. В разрезе изотопный состав углерода сначала снижается от -2.5 до -8 , а затем возрастает до -3.7 . Перепад в изотопных значениях достигает 5.5% , или 0.2% /м. При этом между $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ и Ba, $\delta^{18}\text{O}$ и Ba выявляются слабые положительные корреляции. Стронций корреляций не обнаруживает.

Интервал II. В части карбонатолитов известняки преобладают над доломитами. Средние содержания бария и стронция в доломитах составляют 173 и 187 г/т, Sr/Ba = 1.2, а в известняках – 64, 343 г/т и 6.5 соответственно. В целом по интервалу Ba = 111, Sr = 275 г/т, Sr/Ba = 4.2. При этом между содержаниями бария и стронция существует довольно сильная отрицательная корреляция. В части доломитов содержание стронция в рассматриваемом интервале примерно соответствуют средним данным по Печорскому Уралу, а в части известняков заметно им уступает.

Средние значения изотопных коэффициентов для углерода и кислорода в доломитах: $\delta^{13}\text{C} = -4.24$, $\delta^{18}\text{O} = 24.98\%$, а в известняках -5.76 и 23.37% соответственно. Вверх по разрезу изотопный состав углерода изменяется волнообразно: сначала значение коэффициента падает с -5.3 до -7.4 , а затем растет до -3.15% . Перепад в изотопных значениях достигает 4.25% , или 0.35% /м. По системе парных корреляций рассматриваемый интервал выглядит аномальным, характеризуясь очень сильной отрицательной корреляцией между барием и стронцием, сильными положительными корреляциями между коэффициентами $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ и барием, $\delta^{18}\text{O}$ и барием. Стронций обнаруживает сильные отрицательные корреляции с $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$.

Интервал III сложен преимущественно доломитами. Средние содержания бария и стронция в целом по интервалу составляют соответственно 67 и 116 г/т, Sr/Ba = 2.2. Между этими микроэлементами

Таблица 1. Микроэлементы и изотопный состав углерода и кислорода в породах пограничных отложений сизимского горизонта лудлова и белушинского горизонта пржидола (р. Кожым, обн. 236)

Table 1. Micro-elements and isotopic composition of carbon and oxygen in the rocks of the boundary deposits of the Sizim Horizon Ludlow and Belush'ya Horizon of Pridoli (the Kozhym river, outcrop 236)

Интервалы разреза (снизу вверх)	№ п.п.	Литотипы	Содержание, г/т			Изотопы, ‰	
			Ba	Sr	Sr/Ba	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$
I	1	Доломит биокластовый	130	320	2.46	-2.8	27.1
	2	Известняк биокластовый	130	250	1.92	-2.9	27
	3	То же	90	220	2.44	-5.3	20.4
	4	—”—	67	330	4.92	-3.7	22.3
	5	—”—	48	390	8.12	-4.6	22.1
	6	—”—	33	420	12.72	-4.1	22
	7	Известняк пелитоморфный	15	450	30	-5.9	23.1
	8	Доломит м/з	15	300	20	-5.8	23
	9	То же	84	110	1.3	-4.8	24.3
	10	Доломит биокластовый	65	60	0.92	-4.8	24
	11	Доломит м/з	73	86	1.18	-4.8	23.6
	12	То же	46	100	2.17	-4.6	22.3
	13	Доломит биокластовый	37	95	2.57	-4.2	23.3
	14	Доломит м/з	36	170	4.72	-4.6	23.6
	15	То же	58	130	2.24	-4.8	22.3
	16	—”—	27	110	4.07	-4.8	23.3
	17	Известняк пелитоморфный	55	120	2.18	-6.6	24.3
	18	Доломит биокластовый	80	140	1.75	-5.2	23.5
	19	Известняк биокластовый	55	120	2.18	-5.7	24.1
	20	Доломит м/з	63	100	1.59	-6.2	24.7
	21	Доломит биокластовый	67	91	1.36	-6.6	24.2
	22	То же	79	250	3.16	-6.2	25.3
	23	Известняк пелитоморфный	29	400	13.79	-7.8	23.1
	24	Доломит м/з	75	220	2.93	-6.2	24.9
	25	То же	72	180	2.5	-6.1	24.3
	26	Доломит биокластовый	36	270	7.5	-5.2	24.2
	27	То же	54	320	5.93	-4.4	21.6
	28	—”—	44	120	2.73	-4.3	23.8
	29	—”—	58	76	1.31	-4	24.6
	30	Доломит м/з	93	75	0.8	-4	24.2
	31	Доломит биокластовый	59	130	2.2	-4.1	24.4
	32	То же	91	80	0.88	-4.3	24.6
	33	—”—	63	110	1.75	-4.3	24
	34	Доломит м/з	53	120	2.26	-4.5	24.3
	35	То же	58	120	2.07	-4.1	24
	36	—”—	62	110	1.77	-4.6	23.6
	37	—”—	61	90	1.48	-4.8	24.6
	38	Доломит разноморфный	58	99	1.7	-3.7	24
	39	То же	33	100	3.03	-3.9	23.9
	40	Доломит биокластовый	43	120	2.79	-3.6	24
	41	Известняк биокластовый	97	120	1.24	-3.7	23.6
Среднее ± СКО (V, %)	Известняки	62.7 ± 37.1 (59)	300 ± 127.3 (42)	8.6 ± 9.3 (108)	-4.86 ± 1.49 (31)	23.08 ± 1.82 (8)	
	Доломиты	59.1 ± 21.9 (37)	142.7 ± 74.6 (52)	3 ± 3.5 (116)	-4.78 ± 0.93 (19)	23.99 ± 0.96 (4)	
	Обобщенно	60.8 ± 25.7 (42)	176.2 ± 109 (62)	3.1 ± 2.9 (92)	-4.8 ± 1.05 (22)	23.79 ± 1.24 (5)	

Таблица 1. Окончание
Table 1. Ending

Интервалы разреза (сни- зу вверх)	№ п.п.	Литотипы	Содержание, г/т			Изотопы, ‰		
			Ba	Sr	Sr/Ba	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$	
II	42	Доломит ср/з	120	110	0.92	-5.4	24	
	43	Доломит м/з	210	170	0.81	-5.8	24.4	
	44	Известняк биокластовый	39	330	8.46	-6.3	23.3	
	45	То же	15	320	21.3	-4.8	23.2	
	46	–”–	55	370	6.73	-6.3	22.2	
	47	–”–	84	430	5.12	-5.2	26.1	
	48	–”–	71	360	5.07	-7.4	23.1	
	49	–”–	29	360	12.41	-6.7	23	
	50	–”–	47	330	7.02	-6.1	23.1	
	51	Известняк пелитоморфный	55	360	6.55	-5.6	22.5	
	52	То же	62	310	5	-5.5	23.3	
	53	Доломит м/з	310	180	0.58	-4.2	25.2	
	54	То же	110	240	2.18	-4.4	25.4	
	55	Известняк биокластовый	130	240	1.85	-3.7	23.9	
	56	Доломит биокластовый	160	180	1.13	-3.1	25.2	
	57	То же	150	220	1.47	-3.4	25.4	
	58	–”–	150	210	1.4	-3.4	25.3	
	Среднее \pm СКО (V, %)	Известняки		63.6 \pm 29.8 (47)	343.3 \pm 51.5 (15)	6.5 \pm 2.9 (45)	-5.76 \pm 1.05 (18)	23.37 \pm 1.06 (5)
		Доломиты		172.9 \pm 68.5 (40)	187.1 \pm 42.3 (23)	1.2 \pm 0.5 (44)	-4.24 \pm 1.04 (25)	24.98 \pm 0.56 (2)
		Обобщенно		111.4 \pm 74.1 (67)	275 \pm 92.4 (34)	4.2 \pm 3.4 (82)	-5.14 \pm 1.27 (25)	24.04 \pm 1.19 (5)
	III	59	Доломит разномзернистый	58	100	1.72	-3.4	24.4
		60	Доломит биокластовый	78	110	1.41	-3.4	25.2
		61	То же	51	98	1.92	-3.3	23.9
		62	–”–	50	110	2.2	-3.4	25.3
		63	Доломит кр/з	30	160	5.33	-2.9	24.7
		64	Доломит биокластовый	28	89	3.18	-3	24.8
		65	То же	51	150	2.94	-2.4	24.7
		66	–”–	60	46	0.77	-2.6	23
		67	–”–	36	150	4.17	-2.4	24.7
		68	–”–	81	150	1.85	-2.9	25.1
		69	–”–	69	98	1.42	-3	25
		70	–”–	100	150	1.5	-3.3	25.5
		71	–”–	69	150	2.17	-3.4	24
72		Известняк пелитоморфный	81	100	1.23	-3.4	25.1	
73		Доломит биокластовый	22	120	5.55	-3	24.3	
74		Доломит ср/з	140	80	0.51	-3.1	24.6	
75		То же	90	99	1.1	-2.4	25	
76	Доломит разномзернистый	82	140	1.7	-2.1	25.2		
77	То же	91	110	1.2	-2.6	25.1		
Среднее \pm СКО (V, %)			66.7 \pm 28.4(43)	116.3 \pm 20.5(26)	2.2 \pm 1.4(65)	-2.95 \pm 0.42 (14)	24.72 \pm 0.6 (2)	
IV	78	Доломит разномзернистый	200	86	0.43	-3.2	24.5	
	79	То же	200	86	0.43	-2.3	25	
	80	Известняк биокластовый	52	410	7.88	-3.6	23.6	
	Среднее \pm СКО (V, %)			150.7 \pm 85.4 (57)	194 \pm 187.1 (96)	2.9 \pm 4.3(148)	-3.03 \pm 0.67 (22)	24.37 \pm 0.71(3)
V	81	Доломит биокластовый	240	240	1	-1.7	24.6	
	82	То же		Не опр.		-0.8	24.1	
	83	–”–		–”–		-2.1	24.2	
	84	–”–		–”–		-1.8	23.45	
	85	–”–		–”–		-1.1	23.5	
Среднее \pm СКО (V, %)				Не опр.		-1.5 \pm 0.53 (35)	23.97 \pm 0.49 (2)	

Примечание. (V, %) – коэффициент вариации.

Note. (V, %) – coefficient of variation.

Таблица 2. Матрицы коэффициентов парной корреляции
Table 2. Matrices of pair correlation coefficients

Интервал I

$\delta^{13}\text{C}$	1			
$\delta^{18}\text{O}$	0.20	1		
Ba	0.28	0.35	1	
Sr	0	0	0	1
Sr/Ba	-0.24	-0.19	-0.48	0.83

Интервал II

$\delta^{13}\text{C}$	1			
$\delta^{18}\text{O}$	0.72	1		
Ba	0.59	0.61	1	
Sr	-0.59	-0.43	-0.73	1
Sr/Ba	-0.71	-0.65	-0.79	0.80

Интервал III

$\delta^{13}\text{C}$	1			
$\delta^{18}\text{O}$	0	1		
Ba	0	0.29	1	
Sr	0.14	0.43	0.18	1
Sr/Ba	0.11	0	-0.79	0.51

Интервал IV

$\delta^{13}\text{C}$	1
$\delta^{18}\text{O}$	0.93

выявляется слабая положительная связь. Выявленные здесь содержания стронция как в доломитах, так и в известняках в 2–3 раза уступают средней его концентрации в карбонатолитах Печорского Урала.

Средние значения изотопных коэффициентов в целом по интервалу: $\delta^{13}\text{C} = -2.95$ и $\delta^{18}\text{O} = 24.72\%$, а для известняков -3.4 и 25.1% соответственно. В этом интервале разреза зарегистрированы резкие колебания значений коэффициентов – от -3.4 до -2.3% . Общий перепад значений составляет 1.1% , или 0.09% /м. В рамках разреза этот интервал демонстрирует скачок утяжеления в 1.5–2 раза. Корреляция между изотопными коэффициентами, $\delta^{13}\text{C}$ и барием отсутствует. Между $\delta^{13}\text{C}$ и стронцием зарегистрирована очень слабая прямая связь, между $\delta^{18}\text{O}$ и барием – слабая прямая, а между $\delta^{18}\text{O}$ и стронцием – прямая умеренно сильная.

Интервал IV. В части карбонатолитов имеет преимущественно доломитовый состав. Содержание бария и стронция в целом по интервалу составляет соответственно 151 и 194 г/т, Sr/Ba = 2.9. Обе концентрации отвечают таковым доломитов.

Средние значения изотопных коэффициентов в целом по интервалу: $\delta^{13}\text{C} = -3.03$ и $\delta^{18}\text{O} = 24.37\%$, в известняках -3.06 и 23.6% соответственно. Изотопные колебания углерода по интервалу значительные. Сначала происходило изотопное облегчение с -2.15 до -3.6 , затем оно сменилось изотопным утяжелением до -1.6% . Перепад изотопного

состава углерода, таким образом, достигает 2% , или 0.58% /м. Между изотопными коэффициентами выявлена очень сильная, практически аналитическая прямая корреляция.

Интервал V (белушьянский горизонт). Практически полностью доломитового состава. Данных по содержанию микроэлементов нет. Средние значения изотопных коэффициентов: -1.5 и 23.97% соответственно, колебания происходят в пределах $-2.15\text{...}-1\%$. Перепад значений оценивается в 1.15% , или 0.34% /м. Между изотопными коэффициентами зарегистрирована слабая отрицательная связь.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Региональные эвстатические события, прослеженные в разрезе пограничных отложений лудлова и пржидола на Приполярном Урале, характеризуются отчетливым проявлением седиментационных признаков постепенного обмеления, перерывом в осадконакоплении в конце лудлова и трансгрессией в начале белушьянского времени. Усиление регрессивных тенденций в позднем лудлове на большей части Тимано-Североуральского палеобассейна, широкое развитие микробальной биоты, прекращение силурийского рифообразования и вымирание уральских рифовых сообществ брахиопод отряда Pentamerida свидетельствуют о крупной экосистемной перестройке. Региональное позднелудловское событие соотносится с глобальным лудфордским событием Lau (Lau Event).

Как известно, началу глобального события Лау предшествует прекращение существования конодонтов *P. siluricus* Branson et Mehl. Это событие обусловило падение уровня мирового океана, существенные изменения и гибель рифовых экосистем в лудлове. С ним связаны регрессии в палеобассейнах, значительные положительные изотопные отклонения $\delta^{13}\text{C}$ и глобальное вымирание рифоллюбных брахиопод отряда Pentamerida (Talent et al., 1993; Jeppsson, 1998; Jeppsson, Aldridge, 2000; Calner et al., 2004; Calner, 2005).

В разрезе верхнего лудлова на Приполярном Урале биостратиграфически датированная кривая $\delta^{13}\text{C}$ демонстрирует значительные изотопные аномалии углерода с отрицательными значениями $\delta^{13}\text{C}$. Отсутствие значительного позитивного отклонения $\delta^{13}\text{C}$ глобального лудфордского события Лау в этом уральском разрезе, возможно, связано с перерывом в осадконакоплении (рис. 3). Не исключено, что амплитуда этого перерыва соотносится с зонами *Ozarkodina snajdri* Walliser и *Ozarkodina crispa* Walliser, расположенными выше зоны *P. siluricus* Branson et Mehl в конодонтовой последовательности верхнего лудлова (Безносова и др., 2017).

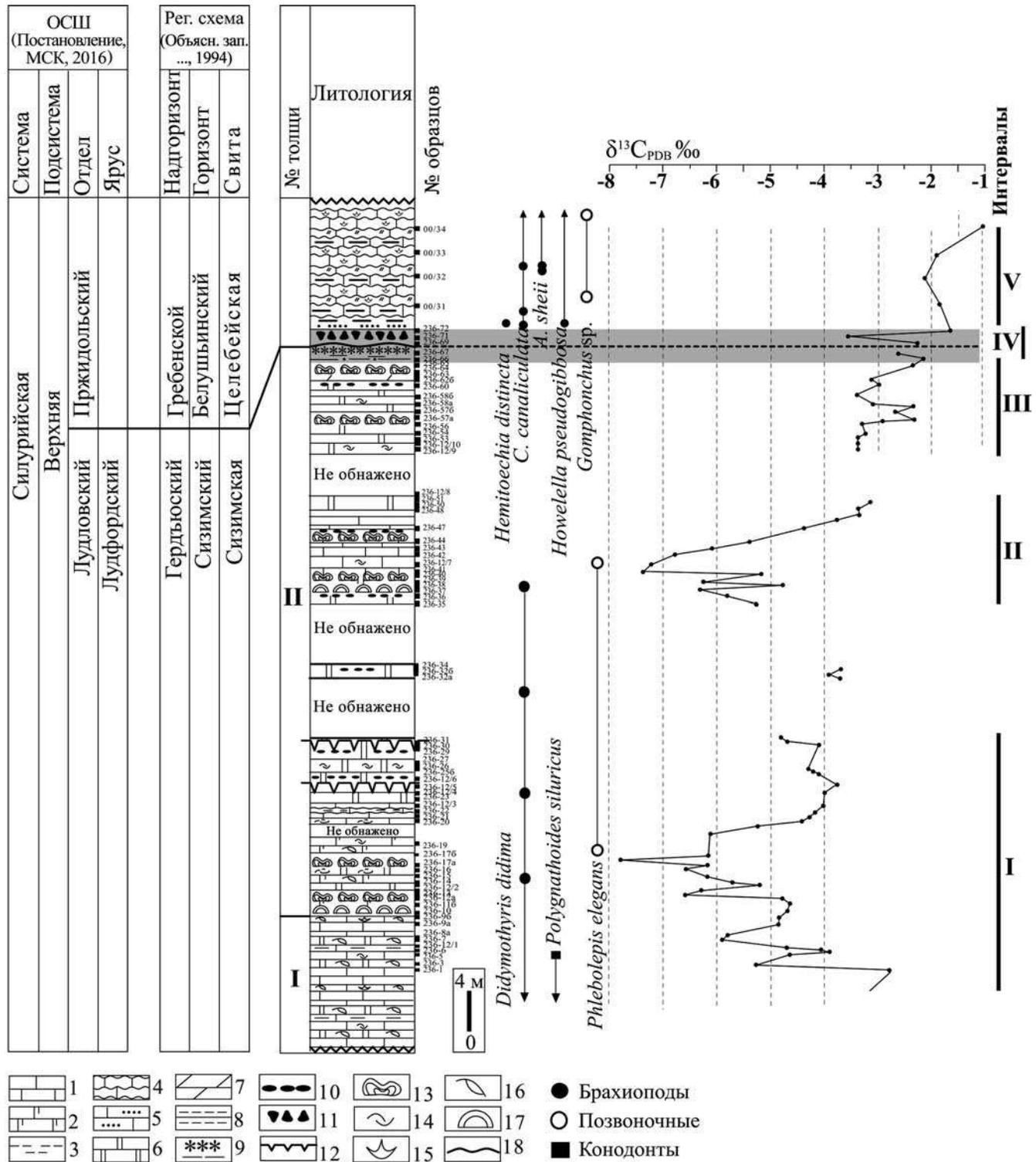


Рис. 3. Разрез пограничных отложений лудлова и пржидола, распространение фауны и распределение значений $\delta^{13}C_{\text{карб}}$ в обн. 236 (р. Кожым).

1 – доломиты; 2–4 – известняки: 2 – доломитизированные, 3 – глинистые, 4 – комковатые; 5 – алевритистые; 6 – алевриты; 7 – мергели; 8 – аргиллиты; 9 – пестроцветные глины; 10 – плоскогалечные конгломераты; 11 – брекчии; 12 – трещины усыхания; 13 – строматолиты; 14 – ракушнякаи; 15 – брахиоподы; 16 – остракоды; 17 – строматопороидеи; 18 – перерыв.

Fig. 3. A section of the Ludlow-Pridoli boundary deposits, the distribution of fauna and the distribution of $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ in the outcrop 236 (the Kozhym River).

1 – dolomites; 2–5 – limestones: 2 – dolomitic, 3 – clayey, 4 – lumpy; 5 – silty; 6 – siltstones; 7 – marls; 8 – mudstones; 9 – variegated clays; 10 – flat pebble conglomerates; 11 – breccias; 12 – drying cracks; 13 – stromatolites; 14 – cockleshell; 15 – brachiopods; 16 – ostracods; 17 – stromatoporoids; 18 – the break.

Изучая разрезы скважин верхнего силура, А.В. Мартынов (1998) установил, что максимум падения уровня моря в Тимано-Печорской провинции приходится на окончание лудлова и проявляется субэаральным размывом верхней части лудлова. Известно, что перерывы в осадконакоплении являются наиболее четкими рубежами, по которым устанавливаются границы местных стратиграфических подразделений.

Существование размыва и переотложение материала верхнелудловских толщ в опорном разрезе на Приполярном Урале подтверждаются и теми единичными находками остатков лудловских позвоночных и пржидольских брахиопод, на основании которых был сделан вывод о лудловском возрасте нижней части белушьянского горизонта пржидола (Модзалевская, Мярсс, 1991). Это, вероятно, было обусловлено привнесением обильного био- и литокластового материала из разрушавшихся лудловских рифов в начале раннепржидольской трансгрессии. Примеры совместных находок разновозрастных поликомпонентных остатков фауны известны и в других разрезах палеозоя (Барабашкин и др., 2002; Исаев, 2007).

Следует заметить, что совместного нахождения остатков лудловской микрофауны (позвоночных) и брахиопод *S. canaliculata* (Wenjukow) в пограничном интервале лудлова и пржидола в разрезе Приполярного Урала нами не установлено. Остатки позвоночных *P. elegans* Pander обнаружены в двух слоях толщи 2 сизимского горизонта, на 11.5 м выше прослоя пестроцветных глин, завершающего разрез лудлова.

Перерывы в осадконакоплении в верхнем лудлове установлены в разрезе о-ва Готланд, в Швеции, Эстонии, Великобритании (Jeppsson et al., 1994; Vira, Aldridge, 1998; Männik, 2014).

Переход от лудлова к пржидолу в разрезе западного склона Приполярного Урала фиксируется терригенным прослоем (карбонатно-глинистой пачкой). Формирование этого прослоя совпадает с началом трансгрессии в раннем пржидоле. Трансгрессия в начале белушьянского времени способствовала транспортировке и массовому захоронению обломочного материала и органического вещества, привнесению тонкого терригенного материала, а также таксономическому обновлению биоты и росту биоразнообразия. Изменения режима седиментации и условий среды обитания в раннепржидольское время обусловили смену состава биоты. Палеонтологическая граница лудлова и пржидола опре-

деляется по обновленному составу раковинной фауны в комковатых глинистых известняках, слагающих нижнюю часть белушьянского горизонта. Ракушняки с брахиоподами *H. distincta* Nikiforova, *S. canaliculata* (Wenjukow), *A. Sheii* (Holtedah), *H. pseudogibbosa* Nikiforova образуют четкие маркирующие слои, которые прослеживаются в основании пржидола на Северном Урале, на поднятиях Чернова и Чернышева и многочисленных разрезах скважин Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (Никитифорова, 1970; Безнососова, 2008). “Изменения в составе органического мира имеют чрезвычайно большое значение при сопоставлении и совершенствовании региональных и межрегиональных стратиграфических схем как отражение событий...” (Краснов, 2011, с. 70–72).

Раннепржидольское событие (Lower Pridolian Event) и связанная с ним крупная экосистемная перестройка прослеживаются в разрезах на Северо-Востоке Евразии, арктических островах России (Вайгач, Новая Земля), в Канаде, на Аляске, в Австралии (Черкесова, 1970; Smith, Johnson, 1977; Нехорошева, Патрунов, 1981; Модзалевская, 1985; Кульков, Перегедов, 1990; Кульков, 1990; Jeppsson, 1998; Безнососова, 2008; Баранов, Блуджетт, 2013; Баранов, 2015).

Корреляция пограничного интервала лудлов-пржидол на обширной территории Тимано-Североуральского региона основана преимущественно на зональной шкале по брахиоподам (Безнососова, 2008). Такая широкая корреляция по конодонтам в настоящее время невыполнима из-за недостаточной их изученности (Мельников, 1999; Жемчугова и др., 2001).

Сопоставление данных палеонтолого-литологических и геохимических исследований указывает на некоторую их согласованность. В частности, наблюдаются: уменьшение в карбонатолитах в направлении снизу вверх по разрезу лудлова диспропорции между концентрациями Ba и Sr; тенденция изотопного утяжеления углерода; сокращение перепада значений $\delta^{13}\text{C}$ в пределах интервалов разреза, сильный рост степени антогонизма Ba и Sr, волнообразное изменение корреляции между изотопными коэффициентами $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, этими коэффициентами и содержанием бария от слабой положительной к сильной положительной и выше к нулевой; “зигзагообразное” изменение корреляции между изотопными коэффициентами и содержанием стронция – от нулевой к сильной отрицательной и выше к слабоумеренной положительной. Интер-

вал IV на фоне трендов геохимической изменчивости лудловских отложений выглядит аномальным почти по всем характеристикам, отличаясь сходными концентрациями Ba и Sr; скачкообразным увеличением перепада значений $\delta^{13}\text{C}$; почти аналитической положительной корреляцией между изотопными коэффициентами. Карбонатные отложения пржидола (интервал V) по геохимическим характеристикам вполне могут быть отнесены к нормальным морским осадкам.

ВЫВОДЫ

Результаты исследований показали, что эвстатические маркеры глобальных трансгрессий и регрессий в изученных разрезах, наряду с биологическими событиями – изменениями структуры палеоэкосистем и их сменами во времени, позволяют уточнить объемы и возраст ранее выделенных стратиграфических подразделений и служат важными региональными реперами при корреляционных построениях.

Региональная граница лудлова и пржидола в опорном разрезе на Приполярном Урале рассматривается нами как важнейший событийный уровень, который определяется эволюционными и экологическими изменениями биоты, отражающими разномасштабные события – локальные и глобальные.

Широкое развитие строматолитовых образований, сокращение биоразнообразия, прекращение силурийского рифообразования, вымирание брахиопод отряда Pentamerida в конце лудлова, обновление состава пржидольской биоты – все это отражает реакцию разных иерархий сообществ (плеченогих, остракод, конодонтофорид и микробных строматолитообразующих) на особенности условий обитания в позднем лудлове и в начале пржидола в Североуральском морском палеобассейне.

Проведенные исследования дополнили палеонтологическую, седиментологическую и хемотратиграфическую характеристики опорного разреза верхнего лудлова, уточнили мощность отложений сизимского горизонта лудлова, дали возможность оценить биотические изменения, обусловленные стрессовым палеоэкологическим воздействием, и обосновать наличие перерыва в осадконакоплении в конце лудлова, предшествовавшего образованию пржидольских пород. Полученные данные позволили также обосновать хроностратиграфическую последовательность и провести корреляцию пограничных отложений лудлова и пржидола уральского разреза с балтийским разрезом в Эстонии.

Таким образом, результаты наших исследований свидетельствуют о глобальном характере биотических перестроек в позднем лудлове и раннем пржидоле, следы которых сохранились в Се-

вероуральских разрезах верхнего силура. Следы этих биотических событий обнаружены в разрезах Северо-Восточной Евразии, арктических островов России (Вайгач, Новая Земля) и Канады, на Аляске, в Швеции и Эстонии. Масштабность биотических перестроек на рубеже лудлова и пржидола расширяет возможности глобальной корреляции.

Благодарности

Авторы выражают благодарность П. Мяннику за совместные полевые работы и обсуждение результатов, Т. Мярсс – за определения позвоночных, Л.В. Соколовой – за определение конодонтов пограничных отложений лудлова и пржидола, А.В. Журавлеву, за ценные советы, а также И.В. Смолевой, инженеру ЦКП “Геонаука” Института геологии Коми НЦ УрО РАН, – за определение изотопного состава углерода в карбонатных породах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антошкина А.И. (2012) Позднелудфордское аноксичное событие на Приполярном Урале. *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*, (2), 3.
- Антошкина А.И. (2018) Проявление лудфордского события Лау (верхний силур) на Северо-Востоке европейской части России. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 26(6), 15-40.
- Барабоскин 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 (Lower Pridolian и Klonk) 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. *Отеч. геология*, (5), 52-57.
- 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., 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.
- Жемчугова В.А., Мельников С.В., Данилов В.Н. (2001) Нижний палеозой Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия образования, нефтегазоносность). М.: Изд-во Академии горных наук, 110 с.
- Исаев Г.Д. (2007) Кораллы, биостратиграфия и геологи-

- ческие модели палеозоя Западной Сибири. Новосибирск: Гео, 247 с.
- Краснов В.И. (2011) Концепция развития органического мира и совершенствование стратиграфической основы геологических исследований (на примере раннего девона Салаира). *LVII сессия ПО*, 70-72.
- Кузнецов В.Г., Пийп Н.Б. (1974) Стронций в турнейских отложениях Оренбургской области. *Геохимия*, (4), 585-593.
- Кульков Н.П. (1990) Брахиоподы и их экологические сообщества. *Силур и девон Юго-Востока Западно-Сибирской плиты. Скважины Майзасская-1 и Малоичская-7*. Ред. Н.П. Кульков, Н.В. Дубатолов. М.: Наука, 35-50.
- Кульков Н.П., Перегоедов Л.Г. (1990) Тип Brachiopoda. *Стратиграфия палеозойских отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты*. Новосибирск: Наука, 70-106.
- Мартынов А.В. (1998) Литолого-фациальные критерии прогноза нефтегазоносности ордовикско-нижнедевонских отложений Тимано-Печорской провинции. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., 27 с.
- Матвеев В.А., Канев Б.И. (2016) Особенности строения верхнелудловских отложений в опорном разрезе силура на западном склоне Приполярного Урала. *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*, (8), 3-8.
- 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., 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.
- Нехорошева Л.В., Патрунов Д.К. (1981) Гребенской горизонт Вайгачско-Новоземельского региона. *Сов. геология*, (4), 80-85.
- Никифорова О.И. (1970) Брахиоподы гребенского горизонта Вайгача (поздний силур). *Стратиграфия и фауна силурийских отложений Вайгача*. Л., 97-149.
- Объяснительная записка к стратиграфическим схемам Урала (докембрий, палеозой). (1994) (Отв. ред. Н.Я. Анцыгин). Екатеринбург: Уральская геологическая 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.
- Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий*. (2013) Вып. 42. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 65 с.
- Пучков В.Н. (1979) Батимальные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М.: Наука, 242 с.
- Черкесова С.В. (1970) Гребенской горизонт силура Вайгача. *Стратиграфия и фауна силурийских отложений Вайгача*. Л.: Тр. НИИГА, 4-24.
- Юдович Я.Э. (1976а) Введение в геохимическую диагностику фаций. Сыктывкар: ИГ Коми ФАН СССР, 116 с.
- Юдович Я.Э. (1976б) Природа стронциевых аномалий в палеозойских толщах Печорского Урала. *Ежегодник-1975*. Сыктывкар: ИГ Коми ФАН СССР, 107-112.
- Юдович Я.Э., Майдль Т.В., Иванова Т.И. (1980) Геохимия стронция в карбонатных отложениях. Л.: Наука, 152 с.
- Abushik A.F. (2000) Silurian – earliest Devonian ostracode biostratigraphy of the Timan-Northern Ural region. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, **49**(2), 112-125.
- Beznosova T.M., Matveev V.A., Sokolova L.V. (2019) Upper Ludlowian-Lower Pridolian stratigraphy, carbon isotope of the Timan-Northern Urals region. *Épitōanyag*, **71**(1), 24-37.
- Calner M. (2005) Silurian carbonate platforms and extinction events – ecosystem changes exemplified from Gotland, Sweden. *Facies*, **51**, 584-591.
- 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.
- Jeppsson L. (1998) Silurian oceanic events. A summary of general characteristics. (Ed. M.E. Johnson). *Silurian Cycles: Linkages of Dynamic Stratigraphy with Atmospheric, Oceanic and Tectonic Changes, James Hall Centennial Volume New York State Museum Bulletin*, **491**, 239-257.
- Jeppsson L., Aldridge R.J. (2000) Ludlow (late Silurian) oceanic episodes and events. *J. Geol. Soc.*, **157**, 1137-1148.
- Jeppsson L., Viira V., Männik P. (1994) Silurian conodont-based correlations between Gotland (Sweden) and Saaremaa (Estonia). *Geol. Mag.*, **131**(2), 201-218.
- Kranz J.R. (1973) Die Strontium-Verteilung in den Arlbergsschichten (Oberes Ladin) des Klostertales (Vorarlberg). *Nördliche Kalkalpen. Neues Jahrb. Geol. Palaeontol., Monatsh.*, 170-187.
- Männik P. (2014) The Silurian System in Estonia. *4th Annual Meeting of IGCP 591, Abstracts and Field Guide*. (Eds H. Bauert, O. Hints, T. Meidla, P. Männik). Estonia: University of Tartu, 123-128.
- 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.
- Smith R.E., Johnson J.G. (1977) *Atrypella scheii* (Holte-dahl) and *Atrypella phoca* (Salter) (Silurian Brachiopoda). *J. Paleontol.*, **51**, 350-356.
- Talent J.A., Mawson R., Andrew A.S., Hamilton P.J., Whitford D.J. (1993) Middle Palaeozoic extinction events: faunal and isotopic data. *Palaeoecol., Palaeoclimat., Palaeogeogr.*, **104**, 139-152.
- Viira V., Aldridge R.J. (1998) Upper Wenlock to Lower Pridoli (Silurian) conodont biostratigraphy of Saaremaa, Estonia, and a correlation with Britain. *J. Micropalaeontol.*, **17**, 33-50.

REFERENCES

- Abushik A.F. (2000) Silurian – earliest Devonian ostracode biostratigraphy of the Timan-Northern Ural region. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, **49**(2), 112-125.
- Antoshkina A.I. (2012) The Late Ludfordian anoxic Event from the Subpolar Urals. *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN*, (2), 3. (In Russian)
- 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 Russian)
- Baraboshkin E.Yu., Veirman A.B., Koraeovich L.F., Naidin D.P. (2002) *Izuchenie stratigraficheskikh pereryvov pri proizvodstve geologicheskoi s'emki* [Study of stratigraphic breaks in the production of geological surveys]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 135 p. (In Russian)
- Baranov V.V. (2015) Global events (Lower Pridolsky and Klonk) in the Middle Paleozoic in the northeast of Eurasia and in adjacent territories. *Nauka i Obrazovanie*, **79**(3), 33-37. (In Russian)
- Baranov V.V., Blodgett R.B. (2013) Correlation of the Pridolian beds (upper Silurian) of the Arctic regions of Eurasia and North America. *Otech. Geologiya*, **5**, 52-57. (In Russian)
- Beznosova T.M. (2008) *Soobshchestva brachiopod i biostratigrafiya verkhnego ordovika, silura i nizhnego devona severo-vostochnoi okrainy paleokontinenta Baltiya* [Brachiopod communities and biostratigraphy of Upper Ordovician, Silurian and Lower Devonian of North-Eastern margin of Baltica paleocontinent]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 218 p. (In Russian)
- Beznosova T.M., Matveev V.A., Sokolova L.V. (2018) Biostratigraphical 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 Russian)
- Beznosova T.M., Matveev V.A., Sokolova L.V. (2019) Upper Ludlowian-lower Pridolian stratigraphy, carbon isotope of the Timan-Northern Urals region. *Építóanyag*, (71)1, 24-37.
- 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. *Geodinamika, veshchestvo, rudogenez Vostochno-Evropeiskoi platformy i ee skladchatogo obramleniya*. Mat-ly Vseross. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem [Geodynamics, substance, ore genesis of the East European Platform and its folder framing: Extended of scientific conference reports]. Syktyvkar, IG Komi NTs UrO RAN, 19-21. (In Russian)
- Calner M. (2005) Silurian carbonate platforms and extinction events – ecosystem changes exemplified from Gotland, Sweden. *Facies*, **51**, 584-591.
- 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.
- Cherkesova S.V. (1970) Silurian Greben' stage of the island Vaigach. *Stratigrafiya i fauna siluriyskikh otlozhenii Vaygacha* [Stratigraphy and fauna of Silurian deposits of Vaigach]. Proc. of the Scientific Research Institute of Geology of the Arctic. Leningrad, Trudy NIIGA, 4-24. (In Russian)
- Isaev G.D. (2007) *Korally, biostratigrafiya i geologicheskie modeli paleozoya Zapadnoi Sibiri* [Corals, Biostratigraphy, and geological models of the Paleozoic strata of West Siberia]. Novosibirsk, Geo Publ., 247 p. (In Russian)
- Jeppsson L. (1998) Silurian oceanic events. A summary of general characteristics. (Ed. M.E. Johnson). *Silurian Cycles: Linkages of Dynamic Stratigraphy with Atmospheric, Oceanic and Tectonic Changes, James Hall Centennial Volume New York State Museum Bulletin*, **491**, 239-257.
- Jeppsson L., Aldridge R.J. (2000) Ludlow (late Silurian) oceanic episodes and events. *J. Geol. Soc.*, **157**, 1137-1148.
- Jeppsson L., Viira V., Männik P. (1994) Silurian conodont-based correlations between Gotland (Sweden) and Saaremaa (Estonia). *Geol. Mag.*, **131**(2), 201-218.
- Kranz J.R. (1973) Die Strontium-Verteilung in den Arlbergschichten (Oberes Ladin) des Klostersales (Vorarlberg). *Nördliche Kalkalpen. Neues Jahrb. Geol. Palaeontol., Monatsh.*, 170-187.
- Krasnov V.I. (2011) The concept of the development of the organic world and the improvement of the stratigraphic basis of geological research. (On the example of the early Devonian of Salair. *LVII Session PO*, 70-72. (In Russian)
- Kuznetsov V.G., Piip N.B. (1974) Strontium in Tournaisian deposits of the Orenburg region. *Geokhimiya*, (4), 585-593. (In Russian)
- Kul'kov N.P. (1990) Brachiopods and their ecological assemblages. *Silur i devon Yugo-Vostoka Zapadno-Sibirskoi plity. Skvazhiny Maizasskaya-1 i Maloichskaya-7*. [Silurian and Devonian of South-eastern West-Siberian Plate. Borehole Maizasskaya-1 and Maloichskaya-7]. (Eds N.P. Kul'kov, N.V. Dubatolov). Moscow, Nauka Publ., 35-50. (In Russian)
- Kul'kov N.P., Peregoedov L.G. (1990) Brachiopoda type. *Stratigrafiya paleozoiskikh otlozhenii yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoi plity* [Stratigraphy of Paleozoic deposits in the southeast of the West Siberian plate]. Novosibirsk, Nauka Publ., 70-106. (In Russian)
- Männik P. (2014) The Silurian System in Estonia. *4th Annual Meeting of IGCP 591, Abstracts and Field Guide* (Eds H. Bauert, O. Hints, T. Meidla, P. Männik). Estonia, University of Tartu, 123-128.
- Martynov A.V. (1998) *Litologo-fatsial'nye kriterii prognoza neftegazonosnosti ordoviksko-nizhnedevonskikh otlozhenii Timano-Pechorskoi provintsii*. Diss. ... kand. geol.-min. nauk [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 Russian)
- Matveev V.A., Kanev, B.I. (2016) Features of the upper Ludlow deposits in the Silurian key section on the western slope of the Subpolar Urals. *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN*, **8**, 3-8. (In Russian)
- Mel'nikov S.V. (1999) *Konodonty ordovika i silura Timano-Severoural'srogo regiona* [Ordovician and Silurian conodonts of the Timan-Sever Ural region]. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 136 p. (In Russian)
- Modzalevskaya T.L. (1985) *Brachiopody silura i rannego devona evropeiskoi chasti SSSR. Otryad Athyridida* [Silurian and the Early Devonian brachiopods from the European part of the USSR. Order Athyridida]. Moscow, Nauka Publ., 128 p. (In Russian)

- Modzalevskaya T.L. (1997) Middle Ludfordian event in evolution of Silurian brachiopods of the European province. *Stratigr. Geol. Korrel.*, 5(3), 3-9. (In Russian)
- Modzalevskaya T.L., Marss T. (1991) On the age of the lower boundary of the Greben' Regional Stage of the Urals. *Izv. AN Estonii. Geol.*, (40)3, 100-103. (In Russian)
- Modzalevskaya T.L., Wenzel B. (1999) Biostratigraphy and geochemistry of Upper Silurian brachiopods from the Timan-Pechora region (Russia). *Acta Geol.*, 40(20), 145-157.
- Nekhorosheva L.V., Patrunov D.K. (1981) Greben' stage of the Island Vaygach-Novaya Zemlya region. *Sov. Geologiya*, 4, 80-85. (In Russian)
- Nikiforova O.I. (1970) Brachiopods of Greiben' stage of the island Vaigach (Late Silurian). *Stratigrafiya i fauna siluriiskikh otlozhenii Vaigacha* [Stratigraphy and fauna of Silurian deposits of Vaigach]. Leningrad, 97-149. (In Russian)
- Ob'yasnitel'naya zapiska k stratigraficheskim skhemam Urala (dokembrii, paleozoi) [Explanatory note to Ural stratigraphic maps Precambrian, Paleozoic]. (1994) (Ed. N.Ya. Antsygin). Ekaterinburg, Ural'skaya Geologos"emochnaya Ekspeditsiya Publ., 95 p. (In Russian)
- Opornye razrezy pogranichnykh otlozhenii silura i devona Pripolyarnogo Urala [Reference sections of the Silurian/Devonian Boundary Deposits of Subpolar Urals]. (1983) (Eds V.S. Tsyganko, V.A. Chermnykh). Syktyvkar, Komi filial AN SSSR Publ., 136 p. (In Russian)
- Patrunov D.K., Shurygina M.V. (2002) Silurian and Early Devonian deposits of the Ufa Amphitheater. *Litosfera*, (2), 96-111. (In Russian)
- Postanovleniya Mezhdvdomstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyannykh komissii [Resolutions of the Interagency Stratigraphic Committee and its standing commissions]. (2013) St.Petersburg, Publishing house VSEGEI. V. 42, 65 p. (In Russian)
- Puchkov V.N. (1979) *Batial'nye komplekсы passivnykh okrain geosinklinal'nykh oblastei* [Batial complexes of passive margins of geosynclinal regions]. Moscow, Nauka Publ., 242 p. (In Russian)
- Smith R.E., Johnson J.G. (1977) *Atrypella scheii* (Holte-dahl) and *Atrypella phoca* (Salter) (Silurian Brachiopoda). *J. Paleontol.*, 51, 350-356.
- Talent J.A., Mawson R., Andrew A.S., Hamilton P.J., Whitford D.J. (1993) Middle Palaeozoic extinction events: faunal and isotopic data. *Palaeoecol., Palaeoclimat., Palaeogeogr.*, 104, 139-152.
- Viira V., Aldridge R.J. (1998) Upper Wenlock to Lower Pridoli (Silurian) conodont biostratigraphy of Saaremaa, Estonia, and a correlation with Britain. *J. Micropalaeontol.*, 17, 33-50.
- Yudovich Ya.E. (1976a) *Vvedenie v geokhimicheskuyu diagnostiku fatsii* [Introduction to the geochemical diagnosis of facies]. Syktyvkar, IG Komi FAN SSSR, 116 p. (In Russian)
- Yudovich Ya.E. (1976b) The nature of strontium anomalies in the Paleozoic strata of the Pechora Urals. *Ezhegodnik-1975*. Syktyvkar, IG Komi FAN SSSR, 107-112. (In Russian)
- Yudovich Ya.E., Maidl' T.V., Ivanova T.I. (1980) *Geokhimiya strontsiya v karbonatnykh otlozheniyakh* [Strontium Geochemistry of Carbonate Deposits]. Leningrad, Nauka Publ., 152 p. (In Russian)
- Zhemchugova V.A., Mel'nikov S.V., Danilov V.N. (2001) *Nizhnii paleozoi Pechorskogo neftegazonosnogo basseina: stroenie, usloviya obrazovaniya* [Lower Paleozoic of the Pechora oil basin: structure and conditions of formation]. Moscow, Academy of Mining Sciences, 109 p. (In Russian)