



Главный редактор А. М. Асхабов

Зам. главного редактора И. Н. Бурцев

Зам. главного редактора О. Б. Котова

Ответственный секретарь И. В. Козырева

Редакционный совет

Л. Н. Андричева, Сыктывкар, Россия
А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
Т. М. Безносова, Сыктывкар, Россия
М. А. Богдасаров, Брест, Беларусь
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Апатиты, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
В. А. Жемчугова, Москва, Россия
А. В. Журавлев, Сыктывкар, Россия
В. А. Каширцев, Новосибирск, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, Оуро-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. И. Николаев, Апатиты, Россия
Б. М. Осовецкий, Пермь, Россия
Ю. Ф. Патраков, Кемерово, Россия
И. В. Пеков, Москва, Россия
Д. В. Пономарев, Сыктывкар, Россия
В. Н. Пучков, Екатеринбург, Россия
Д. Ю. Пуцаровский, Москва, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
Ш. Сун, Мянъян, Китай
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
А. Г. Шеломенцев, Екатеринбург, Россия

Технический редактор Г. Н. Каблис

Заведующий редакцией Т. А. Некучаева

Chief Editor A. M. Askhabov

Deputy Chief Editor I. N. Burtsev

Deputy Chief Editor O. B. Kotova

Executive Secretary I. V. Kozyreva

Editorial Board

L. N. Andreicheva, Syktyvkar, Russia
A. I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
T. M. Beznosova, Syktyvkar, Russia
M. A. Bogdasarov, Brest, Belarus
M. A. T. M. Broeckmans, Trondheim, Norway
D. A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yu. L. Voytekhovskiy, Apatity, Russia
A. D. Gvishiani, Moscow, Russia
V. A. Zhemchugova, Moscow, Russia
A. V. Zhuravlev, Syktyvkar, Russia
V. A. Kashirtcev, Novosibirsk, Russia
M. Komac, Ljubljana, Slovenia
S. V. Krivovichev, St. Petersburg, Russia
S. K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
M. Martins, Ouro Preto, Brazil
T. P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
P. Männik, Tallinn, Estonia
A. I. Nikolaev, Apatity, Russia
B. V. Osovetsky, Perm, Russia
Yu. F. Patrakov, Kemerovo, Russia
I. V. Pekov, Moscow, Russia
D. V. Ponomarev, Syktyvkar, Russia
V. N. Puchkov, Yekaterinburg, Russia
D. Yu. Pushcharovsky, Moscow, Russia
A. M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Sh. Sun, Mianyang, China
C. M. Soja, Hamilton, NY, USA
O. V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
M. A. Fedonkin, Moscow, Russia
A. G. Shelomentsev, Ekaterinburg, Russia

Technical Editor G. N. Kablis

Managing Editor T. A. Nekuchaeva

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит ежемесячно. Основан в 1995 году
академиком Н. П. Юшкиным.

Предыдущее название:

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ журнала (2023) – 0.425



SCIENTIFIC JOURNAL

Monthly issued. Founded in 1995
by Academician N. P. Yushkin.

Former title:

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Five-year RSCI
impact factor (2023) – 0.425

Содержание**Content****Научные статьи****Scientific articles**

Литогеодинамическая эволюция внешней окраины североуральского палеошельфа Печорской плиты в позднем ордовике (бассейн р. Илыч, Северный Урал) <i>Л. А. Шмельёва</i>3	Lithogeodynamic evolution of the outer margin of the North Ural paleoshelf of the Pechora Plate in the Late Ordovician (Ilych River Basin, Northern Urals) <i>L. A. Shmeleva</i>3
Сейсмотектоническая активность Ляховичского разлома в Припятском прогибе <i>Г. А. Аронов</i> 15	Seismotectonic activity of the Lyakhovich fault in the Pripyat trough <i>G. A. Aronov</i> 15
Палинологическое обоснование стратиграфического расчленения и корреляции отложений беловежского горизонта плейстоцена Беларуси <i>А. В. Шидловская, Т. Б. Рылова</i> 21	Palynological substantiation of stratigraphic division and correlation of Belovezhian deposits of the Pleistocene of Belarus <i>A. V. Shidlovskaya, T. B. Rylova</i> 21
Диссимметризация в минералах группы эвдиалита. IV. Особенности блочного изоморфизма в структуре Nb-дефицитного аналога онейллита в рамках P3-симметрии <i>Р. К. Расцветаева, Н. В. Чуканов, В. М. Гридчина, С. М. Аксенов</i> 35	Dissymmetrization in eudialyte-group minerals. IV. Features of the blocky isomorphism in the structure of the Nb-deficient oneillite analogue in the frame of P3-symmetry <i>R. K. Rastsvetaeva, N. V. Chukanov, V. M. Gridchina, S. M. Aksenov</i> 35
Вольфганг Оствальд и его «Мир обойденных величин» <i>А. М. Асхабов</i> 41	Wolfgang Ostwald and his "World of neglected dimensions" <i>A. M. Askhabov</i> 41

Хроника, события, факты. История науки**Chronicle, events, facts. History of Science**

Силурийские строматопороидеи Урала: уникальная коллекция О. В. Богоявленской..... 45	Silurian stromatoporoids of the Urals: a unique collection by O. V. Bogoyavlenskaya 45
Главный геолог Урала. Памяти Виктора Николаевича Пучкова (17.08.1938—24.08.2024) 46	Chief Geologist of the Urals. In Memory of Viktor Nikolaevich Puchkov (17.08.1938—24.08.2024)..... 46

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



Литогеодинамическая эволюция внешней окраины североуральского палеошельфа Печорской плиты в позднем ордовике (бассейн р. Илыч, Северный Урал)

Л. А. Шмелёва

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, lyubov.shmeleva@inbox.ru

Верхнеордовикские карбонатные отложения на Северном Урале наиболее распространены в бассейне р. Илыч. При этом вскрытые здесь разрезы, являющиеся объектами данного исследования, имеют фрагментарный характер и тектонические границы, что привело к существенно различающимся представлениям о возрасте некоторых толщ и, как следствие, к неясности их условий осадконакопления. В результате проведенных литолого-фациальных, палеоэкологических и палеонтологических исследований было установлено, что разрез верхнеордовикских карбонатных отложений на Северном Урале представлен двумя свитами, рифом Большая Косью и четырьмя толщами, охватывающими три яруса Международной стратиграфической шкалы верхнего ордовика – сандбийский, катийский и хирнантский. Анализ пространственно-временных взаимоотношений 36 выделенных в этих отложениях литотипов показал, что они сгруппированы в 10 парагенетических ассоциаций пород, отражающих смену обстановок осадконакопления от глубоководной рампы с накоплением терригенно-известковых илов (сандбий) к карбонатному шельфу с четко выраженной бровкой и формированием на ней рифовой отмели (средний катий) и далее к мелководной рампе с широким развитием эрозионных процессов и образованием песчаных отмелей (поздний катий-хирнант).

Ключевые слова: карбонаты, литотипы, парагенетические ассоциации, карбонатная платформа, верхний ордовик, Северный Урал

Lithogeodynamic evolution of the outer margin of the North Ural paleoshelf of the Pechora Plate in the Late Ordovician (Ilych River Basin, Northern Urals)

L. A. Shmeleva

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

Upper Ordovician carbonate deposits in the Northern Urals are the most common in the Ilych River basin. At the same time, the sections drilled here, which are the objects of this study, have a fragmentary character and tectonic boundaries, which led to significantly different ideas about the age of some strata and, as a result, to the ambiguity of their sedimentation conditions. The lithological-facies, paleoecological and paleontological studies revealed that the section of the Upper Ordovician carbonate deposits in the Northern Urals was represented by two formations, the Bolshaya Kosya reef and four thickness covering three tiers of the International Stratigraphic Scale of the Upper Ordovician – Sandbian, Katian and Hirnantian. The analysis of the spatiotemporal relationships of 36 lithotypes isolated in these sediments showed that they were grouped into 10 paragenetic associations of rocks reflecting the change of sedimentation conditions from a deep-water ramp with the accumulation of terrigenous calcareous silts (Sandbian) to a carbonate shelf with a clearly defined brow and the formation of a reef shoal on it (Middle Katian) and further to a shallow ramp with the widespread development of erosion processes and the formation of sandbanks (Late Katian-Hirnantian).

Keywords: carbonates, lithotypes, paragenetic associations, carbonate platform, Upper Ordovician, Northern Urals

Введение

Верхнеордовикские карбонатные отложения на Северном Урале наиболее распространены в бассейне р. Илыч. Впервые в этом районе ордовик как нижний силур был выделен А. А. Кейзерлингом в 1843 г. Впоследствии эти отложения изучались В. А. Варсанофьевой, Н. Н. Иорданским, А. И. Першиной, А. И. Антошкиной, В. В. Юдиным, геолого-съёмочные исследования проводились А. Г. Кондияйн, О. А. Кондияйн, А. П. Поповым, А. Ф. Барковым, Г. Ф. Проскуриным, Л. Н. Беяковым и Б. Я. Дембовским с коллективом палеонтологов. В тектоническом отношении разрезы верхнего ордовика приурочены к центральной и восточной подзонам Верхнепечорского поперечного опускания. Они слагают западное крыло и ядро

Шантымской антиклинали (разрез на руч. Закола-Ёль, скалы Амбар-Кырта), а также центриклиналь и западное крыло Косью-Уньинской синклинали (разрез на р. Б. Косью) (рис. 1). На протяжении полуторавековой истории изучения этих отложений существовали разные стратиграфические схемы, в которых возраст некоторых толщ менялся, что отражалось на палеогеографических реконструкциях. В результате детальных литолого-палеоэкологических и палеонтологических исследований в 2014–2022 гг. были получены новые результаты по типизации и стратиграфическому положению этих разрезов, что позволило охарактеризовать историю континентальной окраины Тимано-Североуральского осадочного бассейна на территории Северного Урала в позднеордовикскую эпоху.

Для цитирования: Шмелёва Л. А. Литогеодинамическая эволюция внешней окраины североуральского палеошельфа Печорской плиты в позднем ордовике (бассейн р. Илыч, Северный Урал) // Вестник геонаук. 2024. 8 (356). С. 3–14. DOI: 10.19110/geov.2024.8.1

For citation: Shmeleva L. A. Lithogeodynamic evolution of the outer margin of the North Ural paleoshelf of the Pechora Plate in the Late Ordovician (Ilych River Basin, Northern Urals). Vestnik of Geosciences, 2024, 8 (356), pp. 3–14, doi: 10.19110/geov.2024.8.1

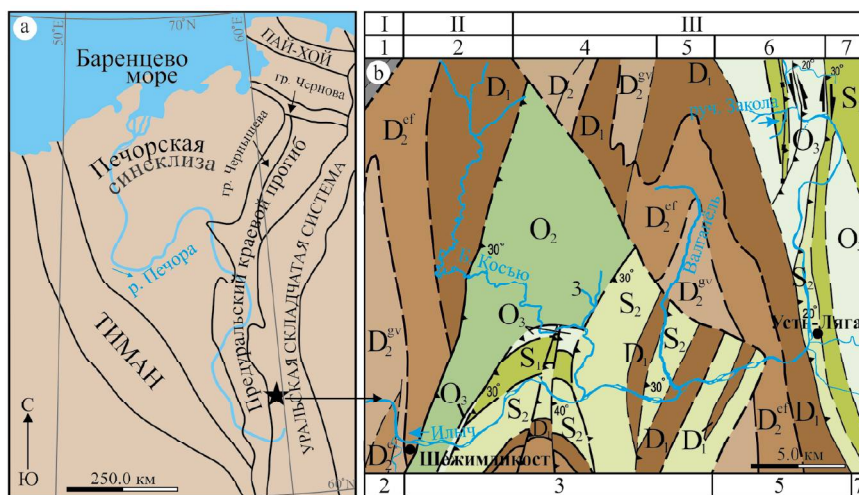


Рис. 1. Геологическое строение района исследований: а — местонахождение изученного разреза на территории Тимано-Североуральского региона; б — геологическая карта северной части Верхнепечорского поперечного опускания и её тектоническое районирование (по: Юдин, 1983; Шмелёва, Пономаренко, 2023): подзоны Елецкой (известняковой) структурно-формационной зоны Урала: I — западная (1 — Патракаръемская антиклиналь), II — центральная (2 — Усть-Шежимская синклираль, 3 — Косью-Уньинская синклираль), III — восточная (4 — Эбельзская антиклиналь, 5 — Валганская синклираль, 6 — Шантымская антиклиналь, 7 — Шантымвожская антиклиналь)

Fig. 1. Geological structure of the research area: а — location of the studied section on the territory of the Timan-Northern Ural region; б — geological map of the northern part of the Vekhnaya Pechora transverse subsidence and its tectonic zoning (Yudin, 1983; Shmeleva, Ponomarenko, 2023): Yelets (limestone) subzone structural and formation zones of the Urals: I — western (1 — Patrakariem Anticline), II — central (2 — Ust'-Shezhim Syncline, 3 — Kosyu-Uniya Syncline), III — eastern (4 — Ebeliz Anticline, 5 — Valgan Syncline, 6 — Shantym Anticline, 7 — Shantym Vozh Anticline)

Целью данной работы является разработка модели литогеодинимической эволюции североуральской континентальной окраины в позднем ордовике на основе анализа пространственно-временных взаимоотношений породных парагенетических ассоциаций (ПА) и условий их образования.

Материал и методы

Объектами для данного исследования послужили разрезы верхнеордовикских карбонатных отложений бассейна р. Ильч (Северный Урал) суммарной мощностью свыше 800 м, представленные образцами горных пород и шлифов (более 600 шт.). Методологической основой исследования стал комплекс методов изучения литолого-фациальных особенностей карбонатных пород: 1) макро- и микроскопическое изучение седиментационных и постседиментационных структур пород в обнажениях, образцах, пришлифовках и шлифах; 2) выделение литологических типов пород и их парагенетических породных ассоциаций, объединенных общими условиями формирования; 3) определение фациальной приуроченности парагенетических ассоциаций в пределах изучаемого района. При выделении литотипов основой для классификации карбонатных отложений автором послужила методика И. В. Хворовой (1958) и В. Н. Шванова с соавторами (1998). Типизация карбонатных платформ приводится согласно публика-

ции (James, Jones, 2015). Все аналитические исследования были выполнены в ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН имени академика Н. П. Юшкина. Кроме собственных материалов, автор использовал полевые материалы А. И. Антошкиной (1974) и фондовый отчет Б. Я. и З. П. Дембовских (1992)¹.

Стратиграфия верхнеордовикских отложений

Стратиграфическая и корреляционная схемы верхнеордовикских отложений, приведенные в работе, составлены на основании материалов автора, литературных данных и полевых материалов предшественников для двух фациальных комплексов, выделенных В. А. Варсанюфьевой (1940), — западного мелководного (шежимского) и восточного глубоководного (шантымского) (рис. 2, 3).

Карбонатные отложения верхнего ордовика (**шежимский фациальный комплекс**) развиты в бассейне среднего течения р. Ильч, на ее широтном отрезке и на р. Б. Косью (правый приток р. Ильч). Эти отложения представлены рифом Большая Косью, яптикшорской свитой катийского яруса и верхнеручейной свитой хирнантского яруса.

Риф Большая Косью (140 м) вскрывается по обоим берегам р. Б. Косью в 300 м ниже порога (обн. 1Ш², 5—13Ш) (рис. 2, 3). Здесь светло-серые мас-

¹ Производство опытно-методических работ по расчленению нижнепалеозойских разрезов западного склона Северного Урала (Шугоро-Уньинский район): Отчет по объекту за 1989—1992 гг. Воркута, 1992. 218 с. Отв. исполн. Б. Я. Дембовский, З. П. Дембовская.

² Здесь и далее в обозначении номеров обнажений (например, обн. 9В, обн. 22Т, обн. 23Д, обн. 10Ш) заглавная буква обозначает сокращенную фамилию автора нумерации: Т — М. Г. Трущелёв (1960); Д — Б. Я. Дембовский, З. П. Дембовская (1992 г.); В — В. А. Варсанюфьева (1940); П — А. И. Першина (1962); Ш — нумерация обнажений автора.

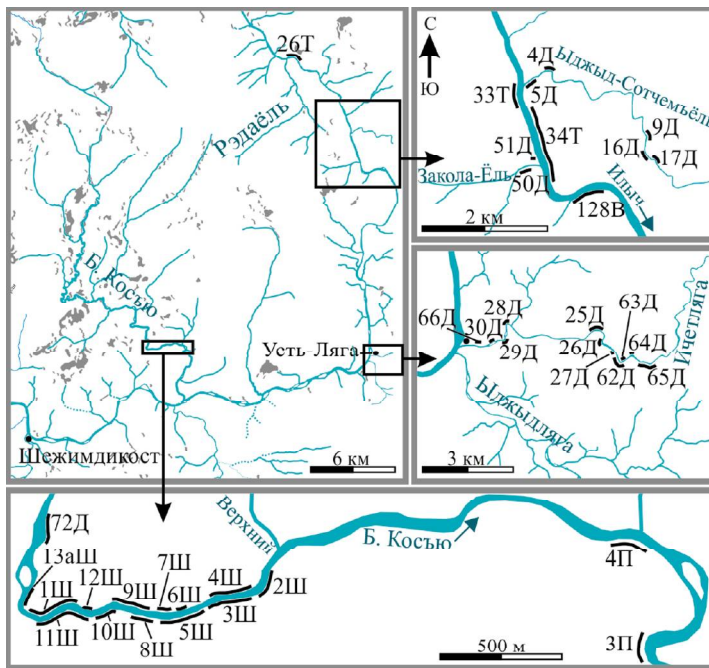


Рис. 2. Схема расположения обнажений
Fig. 2. Scheme of the outcrops locations

сивные рифовые известняки с тектоническим контактом залегают на силикокластических известняках и известняковых мелкозернистых песчаниках терригенно-карбонатной большекосьюнской свиты среднего-верхнего ордовика. Представительный и разнообразный комплекс фауны, выявленный в рифовых известняках (Шмелёва, 2018, 2020), позволяет уверенно отнести их к средней части катийского яруса верхнего ордовика.

Риф Большая Косью согласно перекрывается **яптикшорской свитой** (42.3 м) серых и темно-серых лито- и биокластовых известняков с обилием органических остатков, вскрывающейся по обоим берегам р. Б. Косью (обн. 2—4Ш) (рис. 2, 3). Для свиты характерны многочисленные остатки раковинной фауны, в том числе зональный вид брахиопод *Proconchidium* cf. *tuensteri* (St. Joseph), и отчетливое двучленное строение. Нижняя часть ее мощностью 28.3 м сложена в основании биокластовыми водорослево-криноидными известняками и известняковыми разнотекстурными песчаниками, выше по разрезу сменяющимися известняковыми глыбовыми брекчиями, которые примерно на 60 % сложены обломками пород, по составу идентичными с нижележащим рифовым комплексом. Из крупных обломков биогермных известняков были собраны табуляты, ругозы, строматопороидеи, сфинктозойные губки, гидроиды и водоросли, все виды которых были описаны ранее при изучении рифового массива (Шмелёва, 2020). Верхняя часть толщи видимой мощностью 14.0 м сложена слоистыми биокластовыми и микрокомковатыми известняками с многочисленными остатками криноидей, водорослей и брахиопод.

Верхнеручейная свита (35.3 м) выделена автором. Отложения, вскрытые в обн. 2Ш (рис. 2, 3), залегают с эрозионной границей на яптикшорской свите и после необнаженного интервала перекрыты по надвигу верхнеордовикскими темно-серыми до черных силикокластическими известняками и известняковыми мелко-

зернистыми песчаниками большекосьюнской свиты. Ранее эти отложения включались в состав рифа Большая Косью¹ или в кровлю яптикшорского горизонта (Антошкина и др., 1989). Свита имеет двучленное строение. Нижняя часть (16 м) характеризуется чередованием известняковых брекчий (от мелко- до грубообломочных) и лито- и биокластовых водорослево-криноидных и криноидных известняков, границы между которыми являются эрозионными, иногда с карманами глубиной до 15 см, заполненными обломочным материалом. Основание и кровля этой части характеризуются преобладанием известняковых брекчий, сложенных обломками известняков биокластовых серых и темно-серых. Биокластовые разности по окатанности материала можно отнести к грубозернистым песчаникам с яснокристаллическим кальцитовым цементом и присутствием в криноидных разностях обломков пелитоморфных и мелкобиокластовых известняков. В нижней части свиты водорослево-криноидные известняки содержат многочисленные конодонты (Шмелёва, Толмачёва, 2016). Верхняя часть разреза (19.3 м) сложена светло-серыми криноидными песчаниками с преобладающей массивной текстурой, спаритовым поровым и регенерационным цементом. В основании перекрывающих серых крипто- и микрокристаллических известняков с прослоями и линзами органогенных выявлен смешанный комплекс позднеордовикско-раннесилурийской фауны (Антошкина, Шмелёва, 2018). По положению в разрезе и фаунистической характеристике данная свита отвечает хирнантскому ярусу. Присутствие смешанного комплекса фауны в перекрывающих отложениях предполагает разрыв пограничных верхнеордовикских и нижнесилурийских отложений, что может быть свидетельством перерыва в результате резкого позднехирнантского обмеления на рубеже ордовика и силура. Доказательства существования такого перерыва между системами имеются и на Среднем Урале, где расположен стратотип кырийского горизонта и отсутствует хирнант (Маслов и др., 1996). На Южном Урале существование в конце позднеордовикской эпохи мелководных биофаций среди глубоководных отложений четко фиксирует обмеление бассейна и позволяет диагностировать масштаб перерыва (Мавринская, Якупов, 2016).

Шантымский фациальный комплекс развит в разрезах среднего течения р. Илыч (на меридиональном отрезке) и по её притокам — рекам Ыджыд-Сотчемьёл, Ичетляга, Ыджыдьяга и руч. Закола-Ёль. Фрагментарный характер выходов, тектонические границы большинства вскрытых фрагментов разреза и слабая фаунистическая характеристика не позволяют выделить в этом комплексе валидные свиты, ввиду этого их стратификация в основном дается по толщам. Исключением является яптикшорская свита с зональным видом брахиопод.

Толща талассиноидных известняков и кварц-хлорит-известковых сланцев (~ 260 м) выделяется характерными доломитизированными ходами роющих организмов. Она вскрывается в скалах Амбар-Кырта (обн. 128В), обн. 4Д, 5Д в нижнем течении руч. Ыджыд-Сотчемьёл; обн. 34Т по р. Илыч и обн. 62—65Д, обн. 25—30Д по р. Ичетляга (рис. 2, 3). В разрезе Амбар-Кырта

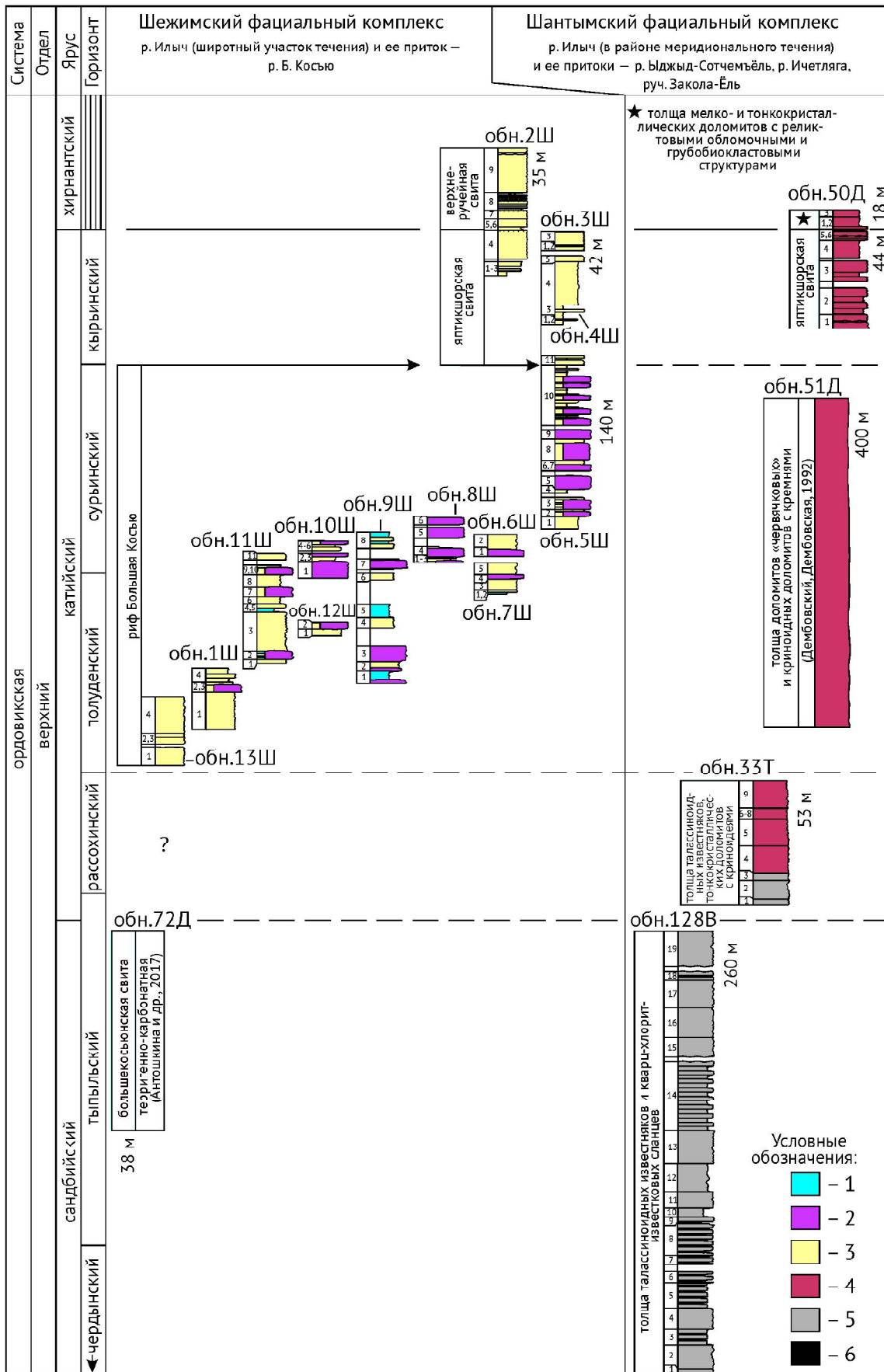


Рис. 3. Корреляция разрезов верхнеордовикских отложений: генетические группы известняков: 1 — биохемогенная; 2 — биогенная; 3 — механогенная; 4–6 — группа преобразованных карбонатных пород: 4 — доломиты замещения; 5 — известняки кристаллические; 6 — известковые сланцы

Fig. 3. Correlation of sections of the Upper Ordovician deposits: genetic groups of limestones: 1 — biochemogenic; 2 — biogenic; 3 — mechanogenic; 4–6 — group of transformed carbonate rocks: 4 — secondary dolostones; 5 — crystalline limestones; 6 — calcareous shales



(обн. 128В) нижняя граница толщи проводится по подошве пачки сизо-серых тонкокристаллических массивных известняков (2 м). Они сменяются пачкой сизо-серых плитчатых известняков с криноидеями, цистоидеями и конодонтами, переслаивающихся с темно-серыми слоистыми известняками с линзами и стяжениями кремней (10 м). Выше залегает пачка серых и темно-серых известняков, иногда доломитизированных, с характерными «червячковыми» образованиями по ходам илоедов и прослоями хлорит-известковых и кварц-хлорит-известковых сланцев (86 м). Известняки содержат остатки брахиопод, мшанок, табулят, криноидей. Верхняя часть толщи представлена пачкой переслаивающихся известково-глинистых сланцев, серых и темно-серых глинистых известняков с криноидеями и цистоидеями, мшанками, мелкими колониями губок, остатками трилобитов, брахиопод и табулят (154 м). По комплексу фауны возраст толщи датируется сандбийским ярусом (Шмелева, Пономаренко, 2022). Верхняя граница толщи тектоническая, проводится в основании мощной толщи доломитов и доломитовых тектонических брекчий.

Толща талассиноидных известняков и тонкокристаллических доломитов с криноидеями (40—53 м) вскрыта в обн. 33Т по р. Ильч и обн. 66Д по р. Ичетляга (рис. 2, 3). Представлена синевато-серыми (сизыми), серыми тонкокристаллическими известняками со следами ползания роющих организмов с прослоями криноидных и доломитизированных битуминозных известняков, иногда горизонтально-слоистых, с крупным биокластовым материалом и без него и доломитов тонкокристаллических. Они содержат *Thalassinoides*, остатки табулят, криноидей и трилобитов. По фаунистической характеристике и положению в разрезе эти отложения отвечают основанию катийского яруса. Контакт с подстилающими отложениями не установлен.

Толща «червячковых» и криноидных доломитов с кремнями (видимая мощность 35 м) согласно залегает на подстилающей толще талассиноидных известняков и тонкокристаллических доломитов с криноидеями. Вскрыта в левом борту руч. Закола-Ёль, в 100 м выше его устья (обн. 51Д) (рис. 2, 3). Здесь на крутом склоне ручья обнажаются темно-серые тонкокристаллические слоистые плитчатые доломиты, иногда «червячковые», с редкими включениями черных и палевых (рыже-бежевых) кремней и линзами серых мелкокристаллических доломитов с реликтовой криноидной грубобиокластовой структурой. Доломиты содержат остатки криноидей и конодонт, указывающих на среднекатийский возраст.

Яптикшорская свита (видимая мощность 44 м) вскрыта в разрезе руч. Закола-Ёль (обн. 50Д) по р. Ильч, в 100 м ниже устья ручья Рода-Ёль (обн. 26Т), а также в разрезе руч. Ыджыд-Сотчемъель (обн. 9Д, 16—17Д) (рис. 2, 3). Она представлена неравномерно переслаивающимися плитчатыми и линзовидно-плитчатыми доломитами, тонко- и мелкокристаллическими, с реликтовой крупно- и грубобиокластовой, мелкогустковой и ихнитовой структурами. Свита согласно залегает на подстилающей толще. Доломиты содержат значительное количество брахиопод, рецептакулитов, кораллов и криноидей, иногда интенсивно окремненных, судя по которым заключающая их толща соответству-

ет яптикшорской свите катийского яруса (Антошкина и др., 1989; Шмелёва, 2024). Верхняя граница свиты проводится по подошве слоя вторичных доломитов с реликтовой обломочной структурой хирнантского яруса.

Толща мелко- и тонкокристаллических доломитов с реликтовыми обломочными и грубобиокластовыми структурами залегает выше яптикшорских отложений в разрезе руч. Закола (видимая мощность 8.2 м) (обн. 50Д) (рис. 2, 3). В ее основании присутствует слой доломитов плитчатых мелкокристаллических с реликтовой обломочной структурой, сменяющийся пачкой темно-серых доломитов тонкокристаллических массивных с прослоями тонкокристаллических разностей, с реликтовой грубобиокластовой структурой. Определенных органических остатков не обнаружено. Далее с перерывом (10 м) залегают доломиты тонкокристаллические с реликтовой грубобиокластовой структурой (35.7 м). В них установлен комплекс раннесилурийской фауны брахиопод, табулят, конодонт. Исходя из этого, по положению в разрезе и литологическому составу эта толща может быть сопоставлена с верхнеручейной свитой хирнантского яруса на р. Б. Косью (Шмелёва, 2024).

Таким образом, разрез верхнеордовикских карбонатных отложений на Северном Урале представлен стратиграфическими подразделениями разного ранга: двумя свитами (яптикшорская, верхнеручейная), рифом Большая Косью и четырьмя толщами (толща талассиноидных известняков и кварц-хлорит-известковых сланцев, толща талассиноидных известняков и тонкокристаллических доломитов с криноидеями, толща доломитов «червячковых» и криноидных доломитов с кремнями и толща мелко- и тонкокристаллических доломитов с реликтовыми обломочными и грубобиокластовыми структурами), охватывающими три яруса Общей стратиграфической шкалы России и Международной стратиграфической шкалы верхнего ордовика — сандбийский, катийский и хирнантский.

Генетические группы верхнеордовикских отложений

В изученных разрезах выделено 36 литологических типов (ЛТ). 15 из них объединяются в группу преобразованных пород, а 21 формируют три генетические группы: биохемогенную, биогенную и механогенную. Разделение пород по генетическим группам дает возможность определить различие механизмов их формирования и отвечающих за это обстановок осадконакопления.

Биохемогенная группа включает породы, карбонатная часть которых в основном (на 50 % и более) состоит из химически или биохимически осажденного карбонатного материала. Группа представлена тремя ЛТ известняков: пелитоморфным доломитистым с рассеянным био- и литокластовым материалом (ЛТ-1) (рис. 4-1), микрокомковатым (ЛТ-2) (рис. 4-2) и микрогустковым (ЛТ-3) (рис. 4-3). Эти известняки присутствуют в рифе Большая Косью в виде пластов, линз и пятен среди биогермных пород.

Биогенная группа объединяет породы, сложенные из целых организмов, формирующих каркасные структуры в теле рифа Большая Косью. В зависимости от преобладающих каркасообразующих организмов сре-

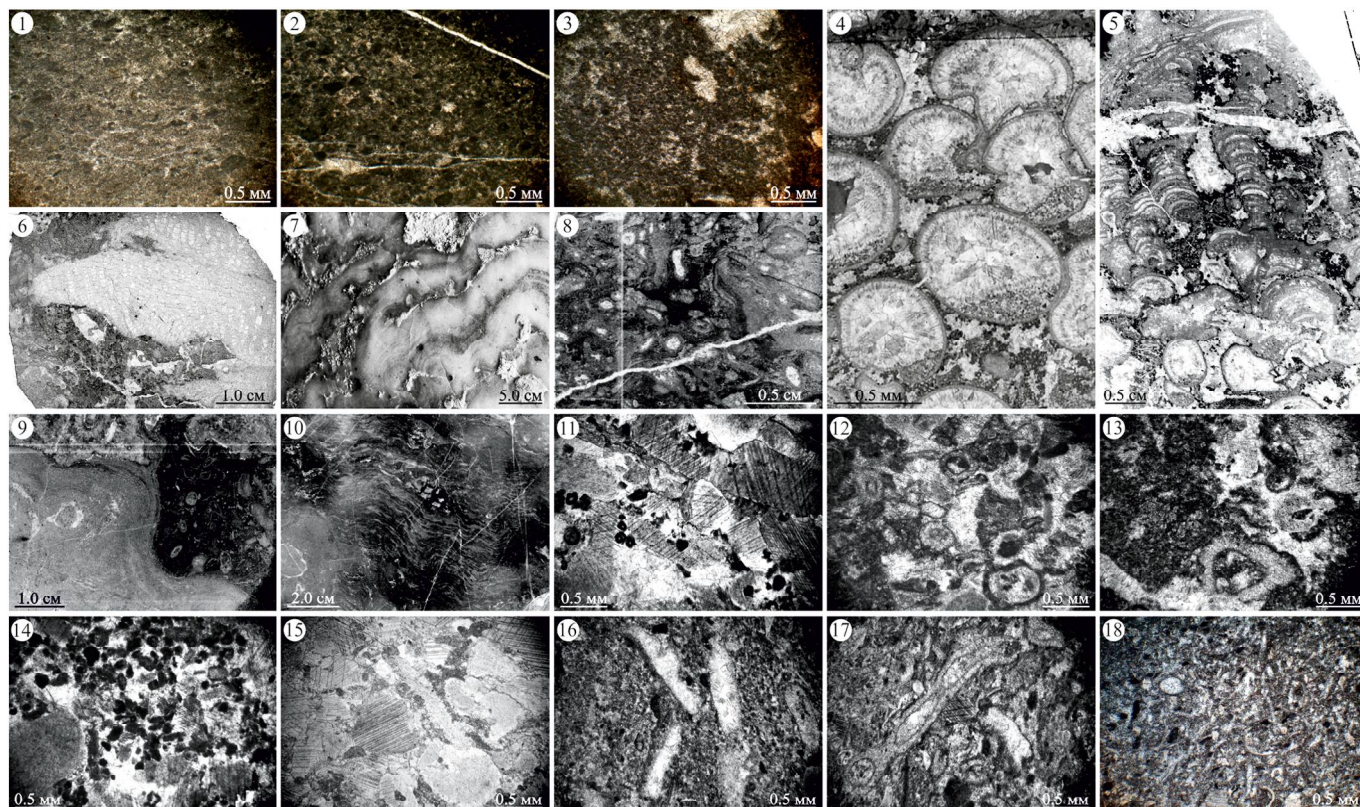


Рис. 4. Литологические типы биохемогенной, биогенной и механогенной (подгруппа биокластовых известняков) групп верхнеордовикских карбонатных отложений шежимского фациального комплекса: 1—3 — известняки биохемогенные: 1 — пелитоморфный (ЛТ-1), 2 — микрокомковатый (ЛТ-2), 3 — микросгустковый (ЛТ-3); 4—10 — известняки биогенные: 4 — биогермный цианобактериально-губковый доломитистый (ЛТ-4), 5 — биогермный губково-водорослевый (ЛТ-5), 6 — биогермный водорослево-коралловый (ЛТ-6), 7 — биогермный водорослево-строматопороидный (ЛТ-7), 8 — биогермный гидроидный доломитистый (ЛТ-8), 9 — биогермный водорослевый (ЛТ-9), 10 — биогермный строматолитовый (ЛТ-10); 11—17 — известняки механогенные, грубо- и крупнобиокластовые: 11 — цианобактериально-криноидный (ЛТ-11), 12 — водорослево-криноидный (ЛТ-12), 13 — участок темно-серого сгусткового известняка с пятнистой доломитизацией в водорослево-криноидном известняке (ЛТ-12), 14 — микрокомковато-криноидный (ЛТ-13), 15 — криноидный (ЛТ-14), 16 — гидроидный (ЛТ-15), 17 — водорослевый (ЛТ-16); 18 — известняк механогенный микробиокластовый (ЛТ-17)

Fig. 4. Lithological types of the biochemogenic, biogenic and mechanogenic (a subgroup of bioclastic limestones) groups of the Upper Ordovician carbonate deposits of the Shezhim facies complex: 1—3 — biochemogenic limestones: 1 — pelitomorph (LT-1), 2 — micropeloidal (LT-2), 3 — micro clotted (LT-3); 4—10 — biogenic limestones: 4 — biohermic cyanobacterial-sponge dolomitic (LT-4), 5 — biohermic sponge-algae (LT-5), 6 — biohermic algae-coral (LT-6), 7 — biohermic algae-stromatopore (LT-7), 8 — biohermic hydroid dolomite (LT-8), 9 — biohermic algae (LT-9), 10 — biohermic stromatolite (LT-10); 11—17 — mechanogenic coarse- and coarse-bioclastic limestones: 11 — cyanobacterial-crinoid (LT-11), 12 — algal-crinoid (LT-12), 13 — a section of dark gray clump limestone with spotted dolomitization in algal-crinoid (LT-12), 14 — micro clotted crinoid (LT-13), 15 — crinoid (LT-14), 16 — hydroid (LT-15), 17 — algal (LT-16); 18 — mechanogenic microbioclastic limestone (LT-17)

ди них выделяются известняки биогермные цианобактериально-губковые доломитистые (ЛТ-4) (рис. 4-4), губково-водорослевые (ЛТ-5) (рис. 4-5), водорослево-коралловые (ЛТ-6) (рис. 4-6), водорослево-строматопороидные (ЛТ-7) (рис. 4-7), гидроидные (ЛТ-8) (рис. 4-8), водорослевые (ЛТ-9) (рис. 4-9) и строматолитовые (ЛТ-10) (рис. 4-10).

Механогенная группа карбонатных пород характеризуется компонентами, сформировавшимися в результате действия механических процессов (волновое перемещение, абразия и т. д.). В этой группе отчетливо выделяются две подгруппы, в одну из которых входят биокластовые известняки, а во вторую — литокластовые. Известняки, объединенные в подгруппу биокластовых, сложены преимущественно биокластовым материалом, размер которого обычно колеблется от

первых долей миллиметра до 1—2 см, в отдельных случаях до 5 см. По преобладающему размеру биогенных компонентов основная часть данных известняков, за исключением микробиокластового (ЛТ-17) (рис. 4-18), относится к грубо- и крупнобиокластовым разновидностям. Наибольшее количество среди биокластов занимают фрагменты водорослей и криноидей. В зависимости от их количества выделяются известняки: цианобактериально-криноидные (ЛТ-11) (рис. 4-11), водорослево-криноидные (ЛТ-12) (рис. 4-12, -13), микрокомковато-криноидные (ЛТ-13) (рис. 4-14), криноидные (ЛТ-14) (рис. 4-15), гидроидные (ЛТ-15) (рис. 4-16), водорослевые (ЛТ-16) (рис. 4-17). Данная подгруппа вторая по распространенности. Эти известняки слагают риф Большая Косью, Яптикшорскую и верхнеручейную свиты.

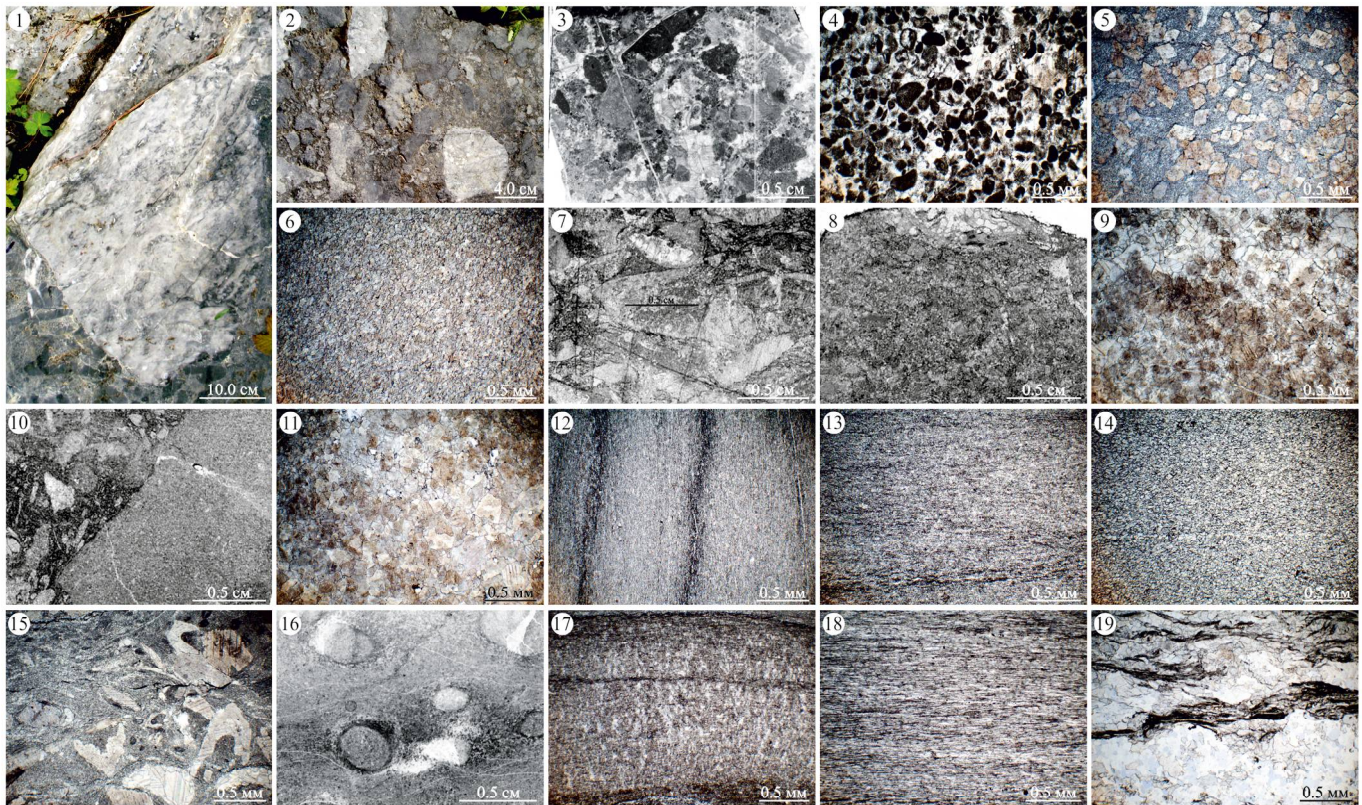


Рис. 5. Литологические типы механогенной группы (подгруппа литокластовых известняков) и группы преобразованных карбонатных пород верхнеордовикских карбонатных отложений шежимского и шантымского фациальных комплексов: 1–4 — известняки механогенные литокластовые: 1 — брекчия глыбовая известняковая доломитистая (ЛТ-18), 2 — конглобрекчия грубообломочная известняковая доломитистая (ЛТ-19), 3 — брекчия мелкообломочная известняковая (ЛТ-20), 4 — песчаник известняковый средне- и крупнозернистый (ЛТ-21); 5–11 — доломиты замещения: 5 — мелко- и микрокристаллический известковистый (ЛТ-22), 6 — тонкокристаллический (ЛТ-23), 7 — тонкокристаллический с реликтовой грубобиокластовой структурой (ЛТ-24), 8 — мелкокристаллический с реликтовой крупнобиокластовой структурой (ЛТ-25), 9 — мелкокристаллический с реликтовой сгустковой структурой (ЛТ-26), 10 — мелкокристаллический с реликтовой обломочной структурой (ЛТ-27), 11 — мелко- и среднекристаллический с реликтовой средне- и грубобиокластовой структурой (ЛТ-28); 12–17 — известняки кристаллические: 12 — криптокристаллический доломитистый (ЛТ-29), 13 — микрокристаллический (ЛТ-30), 14 — тонкокристаллический доломитистый (ЛТ-31), 15 — тонкокристаллический с биокластовым материалом, доломитистый (ЛТ-32), 16 — тонкокристаллический с ходами роющих организмов (ЛТ-33), 17 — тонкокристаллический с реликтовой микросгустковой структурой, доломитистый (ЛТ-34); 18, 19 — известковые сланцы: 18 — хлорит-известковый (ЛТ-35), 19 — кварц-хлорит-известковый (ЛТ-36)

Fig. 5. Lithological types of the mechanogenic group (a subgroup of lithoclastic limestones) and the group of transformed carbonate rocks of the Upper Ordovician carbonate deposits of the Shezhim and Shantym facies complexes: 1–4 — mechanogenic lithoclastic limestones: 1 — blocky limestone dolomitic breccia (LT-18), 2 — coarse-grained limestone dolomitic conglobreccia (LT-19), 3 — fine-grained limestone breccia (LT-20), 4 — medium-coarse-grained limestone sandstone (LT-21); 5–11 — secondary dolostones: 5 — fine-microcrystalline calcareous (LT-22), 6 — very fine crystalline (LT-23), 7 — very fine crystalline with a relict coarse-bioclaster structure (LT-24), 8 — fine crystalline with a relict coarse-bioclaster structure (LT-25), 9 — fine crystalline with a relict clot structure (LT-26), 10 — fine-crystalline with a relict clastic structure (LT-27), 11 — very fine-medium crystalline with a relict medium-coarse-bioclaster structure (LT-28); 12–17 — crystalline limestones: 12 — cryptocrystalline dolomitic (LT-29), 13 — microcrystalline (LT-30), 14 — fine crystalline dolomitic (LT-31), 15 — fine crystalline with bioclastic material (LT-32), 16 — fine crystalline with burrowing organisms (LT-33), 17 — fine crystalline with relict dolomitic (LT-34); 18, 19 — calcareous shales: 18 — chlorite-calcareous (LT-35), 19 — quartz-chlorite-calcareous (LT-36)

Подгруппа литокластовых известняков объединяет разновидности, образованные обломками карбонатных пород, сцементированными карбонатным цементом. Среди них различаются: известняковые глыбовые (ЛТ-18) (рис. 5-1) и мелкообломочные (ЛТ-20) (рис. 5-3) брекчии, грубообломочные конглобрекчии (ЛТ-19) (рис. 5-2) и известняковые средне- и крупнозернистые песчаники (ЛТ-21) (рис. 5-4). Обломочная часть представлена фрагментами разнообразных типов известняков, среди которых наиболее часто встречаются биогермные и биокластовые разновидности. Литокластовые известняки наиболее характерны для

рифа Большая Косью и яптикшорской свиты катийского яруса, где встречаются в виде пластовых тел мощностью от 0.2 до 19 м, реже отмечаются в основании хирнанта в виде пластовых тел мощностью 0.2–1.0 м с частыми эрозионными границами (верхнеручейная свита).

Подгруппа доломитов замещения в составе группы преобразованных карбонатных пород объединяет породы, в химическом составе которых преобладает $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Породы этой подгруппы сформировались в результате замещения известняков доломитами и в структурном отношении часто связаны с определен-

ными типами известняков по составу остатков фауны. Доломиты представлены несколькими литотипами, что объясняется разнообразием известняков, подвергшихся доломитизации. В зависимости от степени доломитизации в литотипах часто сохраняется реликтовая первичная структура, в некоторых случаях она практически полностью исчезла и наблюдается однородный кристаллический доломит. При этом доломитизация, которой подвергались известняки, встречается как диагенетическая, так и эпигенетическая.

В целом среди изученных пород было выделено 7 литотипов доломитов: мелко- и микрокристаллические известковистые (ЛТ-22) (рис. 5-5), тонкокристаллические (ЛТ-23) (рис. 5-6), тонкокристаллические с реликтовой грубобиокластовой структурой (ЛТ-24) (рис. 5-7), мелкокристаллические с реликтовой крупнобиокластовой структурой (ЛТ-25) (рис. 5-8), мелкокристаллические с реликтовой сгустковой структурой (ЛТ-26) (рис. 5-9), мелкокристаллические с реликтовой обломочной структурой (ЛТ-27) (рис. 5-10) и мелко- и среднекристаллические с реликтовой средне- и грубобиокластовой структурой (ЛТ-28) (рис. 5-11). Изученные доломиты характерны для катийских и хирнантских отложений восточного фациального комплекса.

Подгруппа кристаллических известняков объединяет известняки, которые генетически можно определить как «вторичные», «перекристаллизованные». Они могут возникать из известняков самого различного происхождения. Перекристаллизация их происходит в процессах катагенеза и метагенеза. В результате образуются кристаллически-зернистые и мраморизованные известняки. При этом процесс проявляется в укрупнении размеров кристаллов относительно первоначального.

Изученные кристаллические известняки слагают сандбийский ярус и представлены тремя основными литотипами: крипнокристаллическими доломитистыми (ЛТ-29) (рис. 5-12), микрокристаллическими (ЛТ-30) (рис. 5-13) и тонкокристаллическими (ЛТ-31) (рис. 5-14). Кроме рассмотренного основного литотипа тонкокристаллических известняков (ЛТ-31) также широко распространены разновидности, отличающиеся присутствием небольшого количества биокластового материала, следов жизнедеятельности роющих организмов и реликтов микросгустковой структуры. В данной работе они рассматриваются как отдельные литотипы: известняки тонкокристаллические с биокластовым материалом (ЛТ-32) (рис. 5-15), известняки тонкокристаллические доломитистые, с ходами роющих организмов (ЛТ-33) (рис. 5-16) и известняки тонкокристаллические с реликтовой микросгустковой структурой (ЛТ-34) (рис. 5-17).

Подгруппа известковых сланцев представлена двумя ЛТ: сланец хлорит-известковый (ЛТ-35) (рис. 5-18) и сланец кварц-хлорит-известковый (ЛТ-36) (рис. 5-19). Они характерны для разреза сандбийских отложений, вскрытых в обн. 128В (скалы Амбар-Кырта). Сланцы отмечаются преимущественно в нижней части разреза, в частом тонком переслаивании с кристаллическими известняками.

Породные парагенетические ассоциации

Анализ пространственно-временных взаимоотношений 36 литотипов и их генетических групп в верх-

неордовикских отложениях показал, что они сгруппированы в 10 парагенетических ассоциаций (ПА) пород.

ПА-1. Парагенетическая ассоциация микро- и тонкокристаллических известняков и хлорит-известковых и кварц-хлорит-известковых сланцев, по стратиграфическому объему соответствующая сандбийским отложениям восточного фациального комплекса (260 м). Имеет следующие характерные признаки: большая мощность, темно-серый цвет, неоднородность строения, известково-глинистый состав, тонкослоистая и сланцеватая текстура пород, микро- и тонкокристаллическая структура, скудность органогенного материала и обилие ходов роющих организмов. Этот парагенез характеризует образование отложений в глубоководных условиях со спокойной гидродинамикой, вероятнее всего в обстановках батимальной зоны нижней рампы.

ПА-2. Парагенетическая ассоциация серых доломитистых тонкокристаллических известняков и доломитов тонкокристаллических с биокластовым материалом характерна для основания катийского яруса восточного фациального комплекса (до 53 м). Ей присущи: массивная, реже горизонтально-слоистая текстура, достаточно однородный литологический состав (тонкокристаллические известняки и доломиты), в которых отмечаются прослои с биокластикой и присутствием ходов роющих организмов, фрагментов относительно мелководной фауны ругоз и табулят. Парагенез отражает обстановку нижней сублиторальной зоны глубоководной части нижней рампы.

ПА-3. Парагенетическая ассоциация вторичных тонкокристаллических доломитов с редкими ходами илоедов и линзами мелкокристаллического доломита с реликтовой грубобиокластовой структурой охватывает среднекатийские отложения восточного фациального комплекса (35 м). Характерными признаками для нее являются темно-серая окраска пород, массивно-плитчатое сложение, преимущественно тонкокристаллические структуры доломитов, тонкослоистая текстура, наличие линз грубой биокластики в более крупнокристаллических разновидностях доломита, сонахождение представителей первично-механогенной и биохемогенной генетических групп. Отложения формировались в относительно глубоководных обстановках континентального склона с преимущественно спокойно-водными условиями седиментации, куда периодически из более активной гидродинамической зоны поступал крупный биокластовый материал.

ПА-4. Парагенетическая ассоциация биогермных, биокластовых, пелитоморфных, микрокомковатых и микросгустковых известняков, грубообломочных известняковых конглобрекций и разнозернистых известняковых песчаников (140 м) раннекатийского возраста. Характерными признаками для данной ассоциации пород являются: светло-серый цвет, массивное сложение, большая мощность, известняковый состав, обилие и таксономическое разнообразие каркасостроителей, их пятнистое распределение, тесное сонахождение литотипов механогенной, биохемогенной и биогеогенной (преобладающей) групп пород. В целом этот парагенез характеризует формирование рифового массива на окраине карбонатной платформы шельфового типа в мелководно-морских активно-водных условиях сублиторали при подъеме относительного уровня моря (трансгрессии).

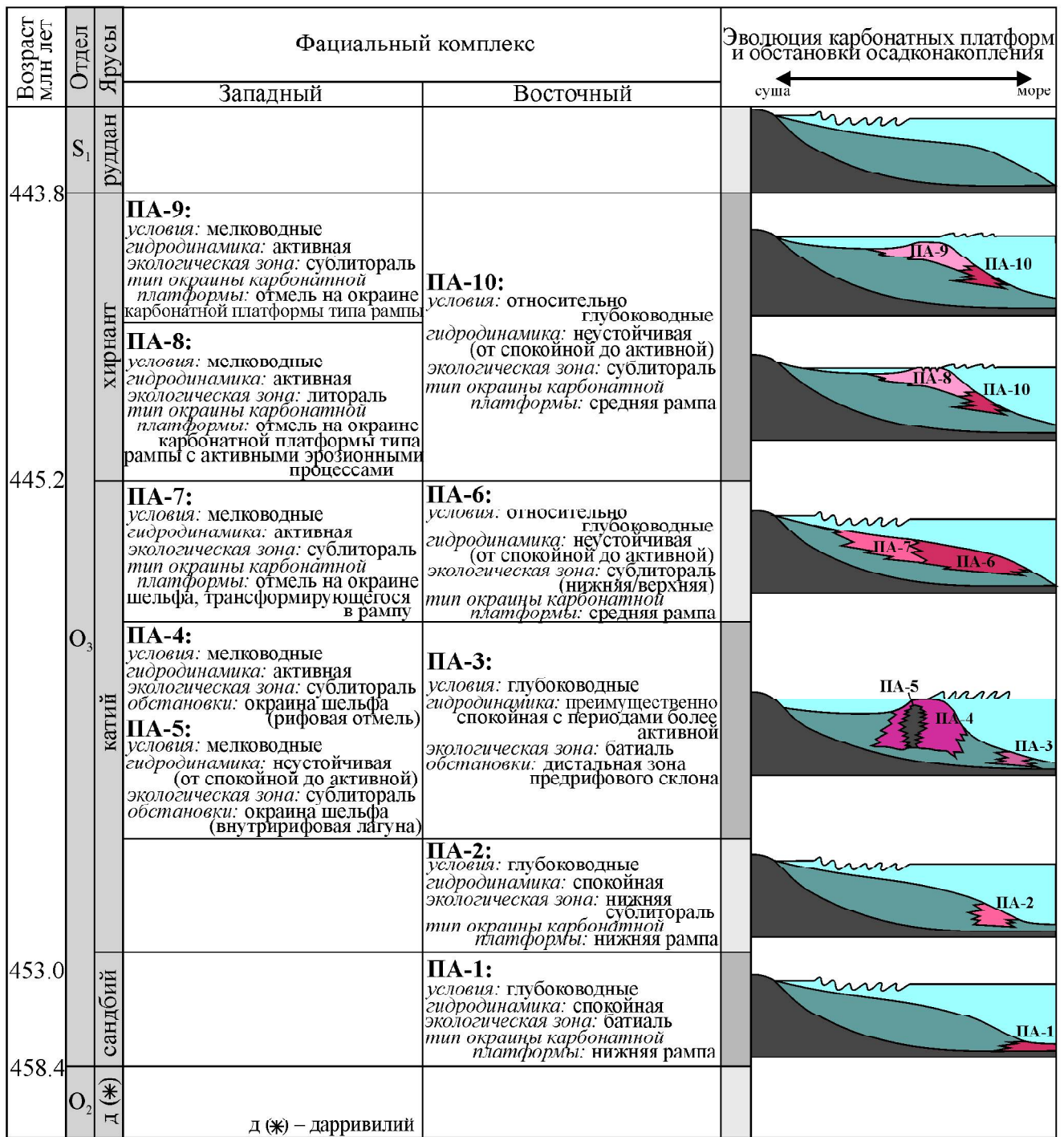


Рис. 6. Литогединамическая эволюция окраины карбонатной платформы на западном склоне Северного Урала в позднем ордовике

Fig. 6. Lithogeodynamic evolution of the margin of the carbonate platform on the western slope of the Northern Urals in the Late Ordovician

ПА-5. Парагенетическая ассоциация грубообломочных известняковых конглобрекций, биогермных, биокластовых, пелитоморфных и микрокомковатых известняков (до 60 м). В целом для пород данной ассоциации типично слоистое и плитчатое сложение, присутствие пачек пелитоморфных и микрокомковатых известняков (биохемогенная генетическая группа), кроме распространения литокластовых, биокластовых и биогермных разновидностей известняков (представители механогенной и биогенной генетических групп). Парагенез отложений, характеризующих как актив-

ную, так и спокойную гидродинамику, отвечает обстановкам внутренней лагуны среднекатийского рифа.

ПА-6. Парагенетическая ассоциация тонко-, мелко- и среднекристаллических вторичных доломитов с реликтовыми первичными структурами (44 м) характерна для восточного фациального комплекса и имеет следующие характерные признаки: частая смена литотипов, линзовидно-плитчатое и плитчатое сложение, тонко- и мелкокристаллические, мелкогустковые, обломочные, крупно- и грубобиокластовые

структуры вторичных доломитов, присутствие урвней с ихнитовой текстурой. Характер пород этой ассоциации показывает, что отложения нижней части формировались в обстановках, возможно, сублиторали средней рампы с неустойчивой гидродинамикой, периодически приносившей крупный биокластовый материал с ее более мелководных участков, а верхняя — в более спокойноводных обстановках сублиторали нижней рампы, о чем свидетельствует более широкое развитие в этой части толщи мелкогустковых и тонкокристаллических структур.

ПА-7. Парагенетическая ассоциация средне- и крупнозернистых известняковых песчаников, грубообломочных известняковых конглобрекций, глыбовых известняковых брекчий и биокластовых известняков (42.3 м) встречается только в верхнекатийских отложениях западного фациального комплекса. Для нее характерно: массивно-плитчатое сложение, известняковый состав, обилие и разнообразие органических остатков, преобладание в нижней части разреза литокластовых разностей, а в верхней — биокластовых (представители только механогенной группы известняков). Парагенез характерен для мелководных сублиторальных обстановок карбонатной рампы, что отражает трансформацию среднекатийской карбонатной платформы с ограниченным водообменом.

ПА-8. Парагенетическая ассоциация известняковых брекчий (от мелко- до грубообломочных), водорослево-криноидных и криноидных биокластовых известняков (16 м) присутствует в основании хирнантского яруса западного фациального комплекса. В целом для нее характерно плитчатое сложение, эрозионные поверхности напластования, частая смена литологических типов пород в разрезе, их био- и литокластовый состав (представители только механогенной генетической группы), бедное разнообразие органических остатков, что свидетельствует о чередовании процессов эрозии отложений и их накопления в режиме приливов. Это приводило к прерывистому осадконакоплению, связанному с промывкой отложений и заполнением образующихся карманов переработанным осадком (часто с обломками известняков), а также изменению размера зерен в слоях. Изменения в составе ПА контролировались колебаниями уровня моря и отвечали осадконакоплению на верхней рампе в условиях литорали в период регрессии, которое характеризуется длительными процессами эрозии.

ПА-9. Парагенетическая ассоциация криноидных биокластовых известняков и мелко- и микрокристаллических известковистых доломитов (19 м) развита в хирнантских отложениях западного фациального комплекса, сменяя по разрезу ПА-8. Для нее характерны: светло-серый цвет пород, массивная, реже слоистая текстура, практически однородный литологический состав, окатанность и сортированность обломочного материала, широкое проявление процессов перекристаллизации, стилолитизации, трещиноватости и выщелачивания (поры, каверны). Преобладание криноидных известняков с окатанным скелетным материалом, единичными обломками более темных биокластовых известняков и яснокристаллическим цементом указывает на подвижную гидродинамику в условиях песчаной отмели. Такая отмель, вероятно, сформировалась в условиях сублиторали верхней рампы. Наличие

прослая известковистых доломитов может указывать на падение относительного уровня моря. Отсутствие ископаемых фоссилий и их фрагментов, а также многочисленные неравномерно распределенные крупные идиоморфные кристаллы доломита, содержащие пелитовый материал, вероятнее всего, указывают на кратковременное возникновение лагунной обстановки на мелководье.

ПА-10. Парагенетическая ассоциация мелкокристаллических доломитов с реликтовой обломочной структурой, тонкокристаллических доломитов с реликтовой грубобиокластовой структурой и однородных тонкокристаллических доломитов (8.2 м) охватывает хирнантские отложения восточного фациального комплекса. Выделяются следующие характерные признаки: частая смена литотипов, линзовидно-плитчатое и массивное сложение, присутствие неокатанного литокластового материала в основании и грубообломочного биокластового материала среди первично-тонкокристаллических разностей пород выше по разрезу (сонахождение представителей механогенной и биохомогенной генетических групп). Парагенез характеризует образование отложений в несколько более глубоководных по сравнению с ПА-7 обстановках средней рампы в условиях с более активной гидродинамикой в начале и более спокойной позднее (в условиях нижней сублиторали).

Эволюция обстановок осадконакопления

Описанная характеристика верхнеордовикских отложений представляет по разрезу палеогеоморфологический профиль от глубоководных обстановок баттали нижней рампы с накоплением известково-терригенных илов в сандбийское время до крайне мелководных отложений литорали верхней рампы с широким развитием эрозионных поверхностей в хирнантское время (рис. 6). При этом между крайними членами профиля происходила трансформация окраины карбонатной платформы. В раннем катии платформа представляла собой карбонатную рампу, но в условиях нижней сублиторали. В середине катия рампа трансформировалась в карбонатную платформу с четко выраженной бровкой и развитием на ней фациально дифференцированной рифовой отмели с активным гидродинамическим режимом в западной фациальной зоне. В восточной зоне в это время осадконакопление происходило в относительно глубоководных сублиторальных обстановках со спокойной гидродинамикой. К концу среднего катия развитие рифа прекратилось в связи с падением уровня моря и выводом рифа в зону эрозии. В позднем катии формирование трансгрессивных глинисто-карбонатных отложений с разнообразной фауной происходило уже в условиях сублиторали нижней рампы. Такая смена морфологии континентальной окраины и обстановок осадконакопления на ней связана с тектоническими процессами, происходившими в пределах фундамента Печорской плиты, и развитием Палеоуральского океана. Следовательно, она отражает литогеодинамическую эволюцию североуральской континентальной окраины Тимано-Североуральского осадочного бассейна.



Заклучение

Верхнеордовикские карбонатные отложения на Северном Урале участвуют в строении двух фациальных комплексов — западного мелководного шежимского и восточного глубоководного шантымского. Они представлены литостратиграфическими формированиями разного ранга: двумя свитами (яптикшорская, верхнеручейная), рифом Большая Косью и четырьмя толщами (толща талассиноидных известняков и кварц-хлорит-известковых сланцев, толща талассиноидных известняков и тонкокристаллических доломитов с криноидными доломитами с кремнями и толща мелко- и тонкокристаллических доломитов с реликтовыми обломочными и грубоблоковыми структурами). По литологическому составу среди них выделено 36 литотипов, 21 из которых по происхождению осадочного материала подразделены на биохомогенную, биогенную и механогенную группы. 15 литотипов объединены в группу преобразованных пород. Анализ их пространственно-временных взаимоотношений показал, что они группируются в 10 парагенетических ассоциаций (ПА) пород, отражающих смену обстановок осадконакопления от мелководной рампы с накоплением терригенно-известковых илов (сандбий) к карбонатному шельфу с четко выраженной бровкой и формированием на ней рифовой отмели (средний катий) и далее к мелководной рампе, часто с широким развитием эрозионных процессов и образованием песчаных отмелей (поздний катий-хирнант). Такая резкая смена палеогеоморфологии континентальной окраины была связана с тектоническими процессами, происходившими в пределах фундамента Печорской плиты, и развитием Палеоуральского океана и отражает литогеодинамическую эволюцию карбонатной платформы.

Автор выражает искреннюю благодарность А. И. Антошкиной за консультации, ценные замечания и полезные рекомендации при подготовке статьи к публикации.

Работа проводилась в рамках темы НИР ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 122040600013-9).

Литература / References

- Антошкина А. И., Афанасьев А. К., Безносова Т. М. Новая стратиграфическая схема верхнего ордовика и силура севера Урала (Елецкая зона). Сыктывкар, 1989. 16 с.
Antoshkina A. I., Afanas'ev A. K., Beznosova T. M. A new stratigraphic scheme of the Upper Ordovician and Silurian of the northern Urals (Yelets zone). Syktyvkar, 1989, 16 pp. (in Russian)
- Антошкина А. И., Шмелёва Л. А. Особенности состава, строения и условий образования хирнантских отложений в Тимано-Североуральском осадочном бассейне // Литосфера. 2018. Том 18. № 4. С. 543—565. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-543-565
Antoshkina A. I., Shmeleva L. A. Peculiarities of composition, structure and environments of Hirnantian deposits in the Timan-Northern Urals sedimentary basin. Lithosphere, 2018, V. 18, No. 4, pp. 543—565. (in Russian)
- Варсановьева В. А. Геологическое строение территории Печоро-Ильчского государственного заповедника.

М., 1940. С. 5—214. (Труды Печорско-Ильчского государственного заповедника. Вып. 1).

Varsanof'eva V. A. Geological structure of the territory of the Pechora-Ilych State Reserve. Moscow, 1940, P. 5—214. (in Russian)

Мавринская Т. М., Якупов Р. Р. Ордовикские отложения западного склона Южного Урала и их корреляция по конодонтам и хитинозоям // Геология и геофизика. 2016. № 57 (2). С. 333—352.

Mavrinskaya T. M., Yakupov R. R. Ordovician deposits of the western slope of the Southern Urals and their correlation by conodonts and chitinozoa. Geology and Geophysics, 2016, No. 57 (2), pp. 333—352. (In Russian)

Маслов А. В., Иванов К. С., Чумаков Н. М., Крупенин М. Т., Анцыгин Н. Я. Разрезы верхнего рифея, венда и нижнего палеозоя Среднего и Южного Урала // Путеводитель геологических экскурсий Всерос. совещ. «Палеогеография венда и раннего палеозоя (ПВРП-96) и Итоговой междунар. конф. проекта 319 МПГК». Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1996. 116 с.

Maslov A.V., Ivanov K. S., Chumakov N. M., Krupenii M. T., Antsygin N. Ya. Sections of the Upper Riphean, Vendian and Lower Paleozoic of the Middle and Southern Urals. Guide to geological excursions Vseros. confer. "Paleogeography of the Vendian and Early Paleozoic (PVRP-96) and the Final International Conference. Project 319 MPGC". Yekaterinburg: IGG UB RAS, 1996, 116 pp. (In Russian)

Першина А. И. Пограничные слои ордовика и силура на Печорском Урале // Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Сыктывкар, 1962. Вып. 3. С. 28—37.

Pershina A. I. Boundary layers of the Ordovician and Silurian in the Pechora Urals // Proceedings of the Institute of Geology of the Komi Branch of the USSR Academy of Sciences. Syktyvkar, 1962, Issue 3, pp. 28—37. (in Russian)

Трущелёв М. Г. Медно-свинцово-цинковые месторождения на р. Ильч (западный склон Северного Урала). М.: Изд-во АН СССР, 1960. 147 с.

Trushchelyov M.G. Copper-lead-zinc deposits on the Ilych River (western slope of the Northern Urals). Moscow: USSR AS, 1960, 147 p.

Хворова И. В. Атлас карбонатных пород среднего и верхнего карбона Русской платформы. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 167 с.

Hvorova I. V. Atlas of carbonate rocks of the Middle and Upper Carboniferous of the Russian platform. Moscow: USSR AS, 1958, 167 p. (in Russian)

Шванов В. Н., Фролов В. Т., Сергеева Э. И., Драгунов В. И., Патрунов Д. К., Кузнецов В. Г., Беленицкая Г. А., Куриленко В. В., Петровский А. Д., Кондитеров В. Н., Баженова Т. К., Жданов В. В., Щербачев Ф. А., Щербачева М. Н., Мизенс Г. А., Цейслер В. М., Трифонов Б. А., Верба Ю. Л., Ильин К. Б. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. СПб.: Недра, 1998. 352 с.

Shvanov V. N., Frolov V. T., Sergeeva E. I., Dragunov V. I., Patrunov D. K., Kuznecov V. G., Belenickaya G. A., Kurilenko V. V., Petrovskiy A. D., Konditerov V. N., Bazhenova T. K., Zhdanov V. V., Shcherbakov F. A., Shcherbakova M. N., Mizens G. A., Cejsler V. M., Trifonov B. A., Verba Yu. L., Il'in K. B. Systematics and classification of sedimentary rocks and their analogues. St. Petersburg: Nedra, 1998, 352 p. (in Russian)



- Шмелёва Л. А. Биоразнообразие верхнеордовикского рифа Большая Косью, Северный Урал // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 11. С. 38—42. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-11-38-42
Shmeleva L. A. Biodiversity of the Upper Ordovician Bol'shaya Kos'yu reef, Northern Urals. Vestnik of the IG Komi SC UB RAS, 2018, No. 11, pp. 38—42. (in Russian)
- Шмелёва Л. А. Верхнеордовикский риф Большая Косью, р. Илыч, Северный Урал (структура, палеобиоценозы, микрофации, модель формирования) // Литосфера. 2020. № 20 (4). С. 557—572. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-4-557-572
Shmeleva L. A. The Upper Ordovician reef Bol'shaya Kos'yu, Ilych River, Northern Urals (structure, paleobioscenosis, microfacies, model of formation). Lithosphere, 2020, No. 20 (4), pp. 557—572. (in Russian)
- Шмелёва Л. А. Верхнеордовикско-нижнесилурийские отложения в разрезе Закола (р. Илыч, Северный Урал) — состав, строение, условия образования // Литосфера. 2024. № 24(1). С. 98—114. DOI: 10.24930/1681-9004-2024-24-1-98-114
Shmeleva L. A. Upper Ordovician-Lower Silurian deposits in the Zakola section (Ilych River, Northern Urals) — composition, structure, environments of formation. Lithosphere, 2024, No. 24(1), pp. 98—114. (in Russian)
- Шмелёва Л. А., Толмачева Т. Ю. Карбонатные отложения верхнего ордовика на р. Б. Косью (Северный Урал): характеристика разреза и первые данные по конодонтам // Региональная геология и металлогения. 2016. № 65. С. 50—59.
Shmeleva L. A., Tolmacheva T. Yu. Carbonate deposits of the Upper Ordovician on the Kosyu River (Northern Urals): characteristics of the section and the first data on conodonts. Regional geology and metallogeny, 2016, No. 65, pp. 50—59. (in Russian)
- Шмелёва Л. А., Пономаренко Е. С. Строение верхнеордовикско-нижнесилурийской Шантымской толщи в разрезе р. Илыч, Северный Урал // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 31 науч. конф. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2022. С. 141—146.
Shmeleva L. A., Ponomarenko E. S. The structure of the Upper Ordovician-Lower Silurian Shantym thickness in the section of R. Ilych, Northern Urals. Structure, substance, and history of the lithosphere of the Timan-North Urals segment: Proceedings of the 31st scientific conference. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2022, pp. 141—146. (in Russian)
- Шмелёва Л. А., Пономаренко Е. С. Некоторые детали строения северной центриклинали Косью-Уньинской синклинали (р. Илыч, Северный Урал) // Вестник геонаук. 2023. 11(347). С. 48—58. DOI: 10.19110/geov.2023.11.5
Shmeleva L. A., Ponomarenko E. S. Some details of the structure of the northern centricline of the Kos'yu-Un'ya syncline (Ilych River, Northern Urals). Vestnik of Geosciences, 2023, 11(347), pp. 48—58. (in Russian)
- Юдин В. В. Варисциды Северного Урала. Л.: Наука, 1983. 174 с.
Yudin V. V. Variscids of the Northern Urals. Leningrad: Nauka, 1983, 174 p. (in Russian)
- James N. P., Jones B. G. (2015) Origin of carbonate sedimentary rocks. Wiley, Hoboken. 464 p.

Поступила в редакцию / Received 14.06.2024



Сейсмотектоническая активность Ляховичского разлома в Припятском прогибе

Г. А. Аронов

Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь, aronovg@tut.by

Основным результатом работы стало выявление современного сейсмотектонического режима активной зоны Ляховичского регионального разлома. Выполнено построение площадного и пространственно-временного распределения эпицентров землетрясений вдоль разлома. Определены координаты сейсмоактивной зоны разлома, которая находится в пределах по северной широте $52.728–53.037^\circ$ и восточной долготы $26.830–28.034^\circ$. Установлено, что распределение землетрясений вдоль разлома происходило неоднородно в пространстве и во времени. Самым активным по количеству землетрясений (169) и наибольшей величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($4.5929 \cdot 10^9$ Дж) был период 2012–2021 гг. Самое сильное землетрясение зафиксировано 03.09.2021 г. в восточной части разлома с магнитудой $M = 2.9$. В результате выполненных построений получено значение сейсмодислокации по разлому, которое соответствует кинематическому типу сброса. Для характеристики проявления современной сейсмогеодинамической активности в зоне Ляховичского разлома применялась комплексная методика, базирующаяся на многолетнем мониторинге за сейсмическими событиями. На основе выполненных исследований был определен сейсмотектонический потенциал сейсмоактивной зоны Ляховичского разлома.

Ключевые слова: землетрясение, эпицентр, магнитуда, разлом, тектоника, геодинамика, сейсмотектоническая активность

Seismotectonic activity of the Lyakhovichi fault in the Pripyat trough

G. A. Aronov

Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

The main result of the work was the identification of the present-day seismotectonic regime of an active zone of the Lyakhovichi regional fault. The areal and space-time distribution of the earthquake epicenters along the fault line was reconstructed. The coordinates of the seismically active fault zone located within an area of $52.738–53.037^\circ$ N and $26.830–28.034^\circ$ E were determined. It was found that the distribution of earthquakes along the fault line occurred non-uniformly in space and time. The period from 2012 till 2021 was the most active one by the quantity of occurred earth quakes (169) and released total seismic energy ($4.5929 \cdot 10^9$ J). The strongest earthquake with a magnitude $M = 2.9$ was recorded in the eastern part of the fault on September 03, 2021. Our reconstructions determined the value of seismic dislocation along the fault, which corresponded to the kinematic slip fault. To characterize the modern seismogeodynamic activity in the Lyakhovichi fault zone, a comprehensive technique based on long-term monitoring of seismic events was used. Based on the performed studies, the seismotectonic potential of the seismoactive zone of the Lyakhovichi fault was determined.

Keywords: earthquake, epicentre, magnitude, fault, tectonics, geodynamics, seismotectonic activity

Введение

Припятский прогиб расположен на древней Восточно-Европейской платформе. Прогиб представляет собой субширотно вытянутый грабен, расположенный между периклиналями Белорусской и Воронежской антеклиз и Жлобинской седловины на севере и Украинским щитом на юге. Максимальная длина прогиба около 280 км, ширина до 130 км. От Украинского щита прогиб отделен Южно-Припятским краевым разломом, представляющим собой зону сбросов общей амплитудой по поверхности фундамента до 2–4 км. Северной границей является Северо-Припятский краевой разлом, состоящий из серии кулисообразно подставляющих друг друга разрывов типа сбросов с суммарной амплитудой до 3.5 км (Аронов, 2020а; Махнач и др., 2001). Солигорский горнопромышленный регион, расположенный в северо-западной части Припятского прогиба, характеризуется ано-

мально высоким уровнем техногенной нагрузки на недра. Здесь расположено уникальное, крупнейшее в Европе Старобинское месторождение калийных солей, которое было открыто в 1949 г. и разрабатывается с начала 1960-х годов (Высоцкий и др., 2003).

Объектами исследования являются сейсмические события, происходящие в Солигорском горнопромышленном регионе. В связи с этим организация и качество сейсмических наблюдений должны соответствовать задачам, которые решают службы сейсмологического мониторинга. К основным опасностям, возникающим при проведении подземных шахтных работ, относится возникновение индуцированной сейсмичности. Как правило, для оценки и прогноза степени сейсмической опасности в районе месторождения организуется регулярный мониторинг сейсмической обстановки. Риск возникновения индуцированной сейсмичности вызывается активизацией разломов в гор-

Для цитирования: Аронов Г. А. Сейсмотектоническая активность Ляховичского разлома в Припятском прогибе // Вестник геонаук. 2024. 8 (356). С. 15–20. DOI: 10.19110/geov.2024.8.2

For citation: Aronov G. A. Seismotectonic activity of the Lyakhovichi fault in the Pripyat trough. Vestnik of Geosciences, 2024, 8 (356), pp. 15–20, doi: 10.19110/geov.2024.8.2

нопромышленном регионе, где вследствие разработки месторождения осадочных руд происходят изменения тектонических напряжений в подземных горизонтах. Пространственное развитие геодинамического процесса в виде проявления сейсмической активности выходит за пределы шахтных полей, охватывая территории, примыкающие к району непосредственных горных работ. Осредненные характеристики сейсмичности слабо зависят от особенностей технологии проведения выемок пород и в первую очередь определяются геометрией разломов в регионе и характером региональных тектонических напряжений. В связи с этим возникает актуальная задача выявить закономерности взаимосвязи пространственно-временного распределения сейсмической активности с возникающими напряжениями земной коры в районах разработки месторождений полезных ископаемых (Аронов, 2019а).

Материалы и методы

Основными исходными данными для сейсмологических исследований являются результаты непрерывных круглосуточных наблюдений на сейсмических станциях; эти работы в регионе были начаты в 1983 г. на сейсмической станции «Солигорск». Для определения пространственно-временных и энергетических параметров очагов сейсмических событий в районе месторождения в 2013 году была создана локальная сеть из 8 сейсмических станций: Волоты (код VOL), Тесово (TES), Устронь (UST), Чижовка (CHJ), Копачевичи (KAP), Новый луг (NVL), Махновичи (MAH), Листопадовичи (LST). Локальная сеть представляет собой автоматизированную цифровую систему наблюдений в режиме реального времени, технические средства которой состоят из измерительного оборудования: сейсмометров, фиксирующих движения почвы, возникающие в результа-

те распространения сейсмических волн; регистрирующего оборудования — аппаратуры, обеспечивающей запись сигналов от сейсмометров; средств связи для передачи данных в центр сбора и обработки данных; управляющих микропроцессорных модулей; системы энергообеспечения. Все цифровые станции работают в непрерывном режиме с передачей информации через мобильную сеть в центр сбора информации в Минске. Обработка данных о сейсмических событиях осуществлялась с помощью пакета компьютерных программ: UniViewer, IdSeism, EmulEq, Hyposat, Seisan.

На этой основе была проведена идентификация сейсмических событий, в том числе выделение региональных и местных (локальных) землетрясений, промышленных взрывов, источников природных и техногенных шумов. Интерпретация данных о сейсмических событиях позволила определить время развития события в очаге, координаты эпицентра, глубины очага и его энергетический уровень. Таким образом, после многолетних наблюдений и обработки сейсмических данных были получены инструментальные записи местных землетрясений, установлены их кинематические и динамические параметры, составлены соответствующие бюллетени и каталоги. Первичная фактографическая информация и результаты ее обработки (сейсмологические бюллетени и каталоги землетрясений) системно размещены в специально созданных базах данных.

Результаты и их обсуждение

На основе экспериментальных данных записей сейсмических событий и каталогов землетрясений составлена карта проявления сейсмотектонических процессов в Солигорском горнопромышленном регионе за период с 1983 по 2021 г. (рис. 1).

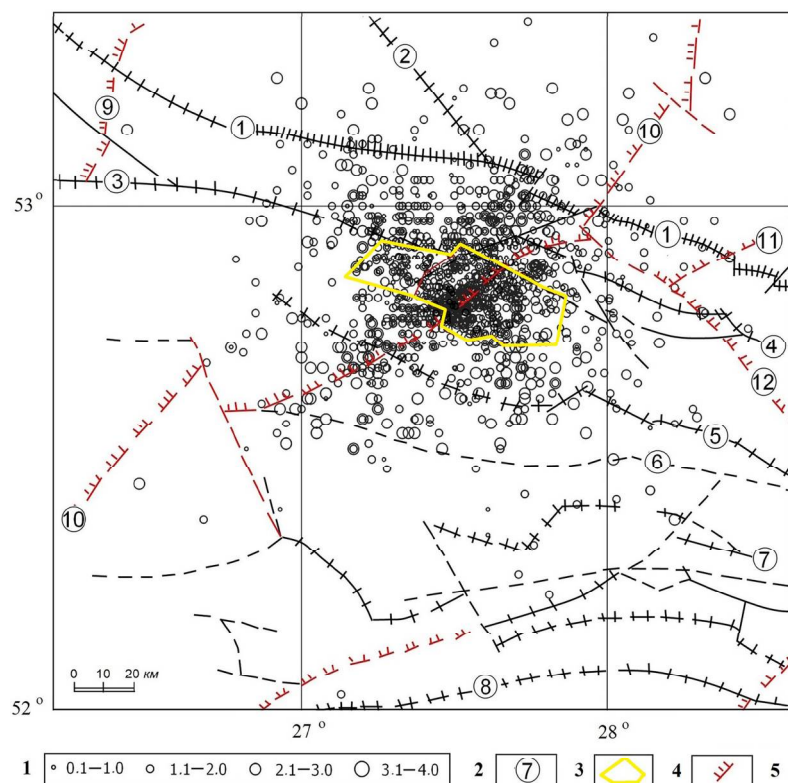


Рис. 1. Карта проявления сейсмотектонических процессов в Солигорском горнопромышленном регионе за период 1983–2021 гг.: 1 — магнитуда землетрясения; 2 — разломы (1 — Северо-Припятский, 2 — Налибокский, 3 — Ляховичский, 4 — Речицкий, 5 — Червонослободско-Малодушинский, 6 — Копаткевичский, 7 — Шестовичский, 8 — Сколодинский, 9 — Выжевско-Минский, 10 — Стоходско-Могилевский, 11 — Кричевский, 12 — Чечерский); 3 — граница шахтных полей Солигорского горнопромышленного региона; 4 — разломы, не проникающие в чехол; 5 — разломы, проникающие в чехол

Fig. 1. Map of the seismotectonic processes manifested in the Soligorsk mining region within 1983–2021: 1 — magnitude of the earthquake; 2 — faults (1 — Severo-Pripyatsky, 2 — Naliboksky, 3 — Lyakhovichi, 4 — Rechitsky, 5 — Chervonoslobodsko-Malodushinsky, 6 — Kopatkevich, 7 — Shestovichi, 8 — Skolodinsky, 9 — Vyzhevsko-Minsk, 10 — Stokhodsko-Mogilevsky, 11 — Krichevsky, 12 — Chchersky); 3 — the border of the mine fields of the Soligorsk mining region; 4 — faults that do not penetrate into the cover; 5 — faults that penetrate into the cover



Сопоставление распределения эпицентров землетрясений с разломной тектоникой региона показывает, что многие разломы в регионе сейсмоактивны. Наблюдается приуроченность землетрясений к следующим разломам: северо-восточного простирания — Стоходско-Могилевскому, Кричевскому, Выжевско-Минскому и субширотного простирания — Северо-Припятскому, Ляховичскому, Речицкому, Червонослободско-Малодушенскому, Копаткевичскому, Шестовичскому, Сколодинскому. Для остальной части землетрясений не установлена их приуроченность к разломным зонам (Аронов, 2019а; 2019b).

Ляховичский разлом относится к региональным разломам. Его основные параметры: длина — 125 км в пределах площади Солигорского горнопромышленного региона; зона динамического влияния — 4–5 км; средний азимут простирания — 97–106°; глубинность — мантийный; характеристика плоскости — наклонный; время формирования — платформенный период; степень сейсмической активности — сейсмогенный (Айзберг и др., 2007).

За период 1983–2021 гг. зарегистрировано 381 землетрясение с эпицентрами в пределах сейсмоактивной зоны Ляховичского регионального разлома в диапазоне энергетических классов $K = 4.2–9.2$ (магнитуда $M = 0.1–2.9$) (Аронов, 2019b; 2020b). Сейсмические события, зарегистрированные в сейсмоактивной зоне Ляховичского разлома и в Солигорском горнопромышленном регионе, следует отнести к индуцированной сейсмичности. Она возникает в основном в слабосейсмичных регионах в результате внешнего воздействия, которое либо изменяет геодинамические свойства массива, нарушая сложившееся динамическое равновесие и переводя взаимодействующие структуры в новое состояние с выделением энергии, либо вызывает перераспределение напряжений внутри массива, приводя к их концентрации в некоторой его области до критического состояния с последующим высвобождением в виде сейсмических колебаний (Аронов, 2019а).

Пространственное распределение землетрясений, приуроченных к Ляховичскому региональному разлому, показано на рис. 2. В результате выполненного построения получены координаты сейсмоактивной зоны разлома в пределах 52.738–53.037° северной ши-

роты и 26.830–28.034° восточной долготы. В районе 52.88° северной широты и 27.66° восточной долготы расположен узел пересечения Ляховичского регионального разлома и Стоходско-Могилевского суперрегионального разлома. В этом районе проведено разделение эпицентров землетрясений по наибольшей принадлежности к Ляховичскому разлому. Стоходско-Могилевский разлом является сейсмогенным, распределение землетрясений, приуроченных к нему, можно проследить на рис. 1.

На рис. 3 представлено пространственно-временное распределение эпицентров землетрясений в проекции на долготу за период 1983–2021 гг. Землетрясения по Ляховичскому региональному разлому распределены неоднородно в пространстве и во времени. Выделение этапов неоднородного проявления сейсмичности проводилось на основе параметров сейсмической активности и площадного расположения эпицентров землетрясений.

На I этапе (1983–1991 гг.) зарегистрировано 39 землетрясений с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 0.8523 \cdot 10^9$ Дж. На протяжении этого этапа землетрясения проявлялись в основном в центральной части, площади активной зоны, однако наблюдались и в краевых частях. Пределы сейсмоактивной зоны разлома определены следующими событиями: землетрясением в западной части 24.07.1986 ($K = 8.5$, $M = 2.5$, $E = 0.3162 \cdot 10^9$ Дж) и землетрясением в восточной части 01.03.1990 ($K = 7.2$, $M = 1.8$, $E = 0.0158 \cdot 10^9$ Дж).

На II этапе (1992–1996 гг.) зарегистрировано 4 землетрясения с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 0.0063 \cdot 10^9$ Дж. Этот период характеризуется невысокой сейсмичностью с проявлением в западной части и лишь одним землетрясением в восточной. Пределы сейсмоактивной зоны определялись землетрясением в западной части 18.10.1993 ($K = 5.7$, $M = 0.9$, $E = 0.0005 \cdot 10^9$ Дж) и землетрясением в восточной части 13.09.1994 ($K = 5.2$, $M = 0.7$, $E = 0.0002 \cdot 10^9$ Дж).

На III этапе (1997–2006 гг.) зарегистрировано 142 землетрясения с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 2.2688 \cdot 10^9$ Дж. Сейсмическая активизация происходила в основном в центральной части разлома, лишь два события про-

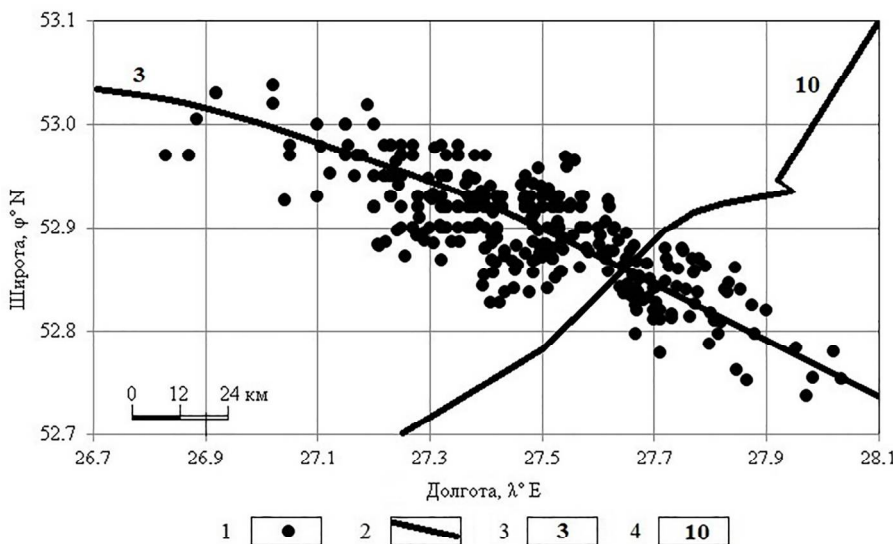


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений в пределах площади сейсмоактивной зоны Ляховичского регионального разлома за период 1983–2021 гг.: 1 — эпицентры землетрясений, 2 — линия расположения разлома, 3 — Ляховичский разлом, 4 — Стоходско-Могилевский разлом

Fig. 2. Map of earthquake epicenters within the seismically active zone area of the Lyakhovichi regional fault in 1983–2021: 1 — earthquake epicenter, 2 — fault line, 3 — Lyakhovichi fault, 4 — Stokhod-Mogilev fault

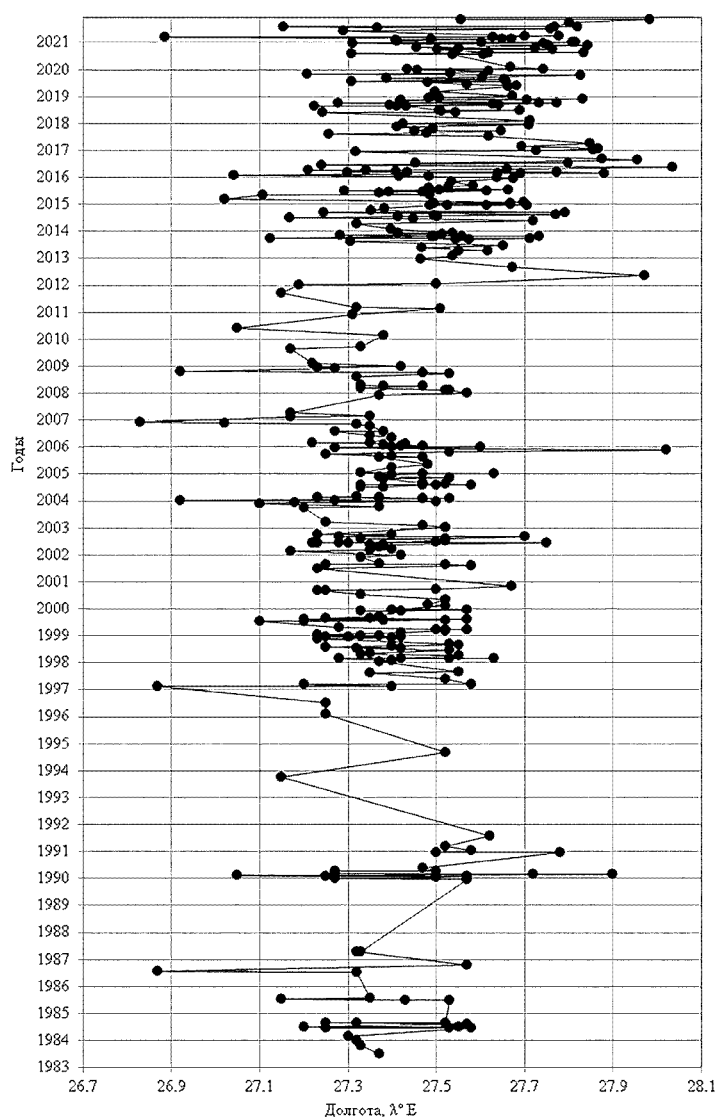


Рис. 3. Пространственно-временная развертка эпицентров землетрясений в пределах площади сейсмоактивной зоны Ляховичского регионального разлома в 1983–2021 гг.

Fig. 3. Space and time development of the earthquake epicenters within the seismically active zone area of the Lyakhovichi regional fault in 1983–2021

изошли в краевых частях. Пределы сейсмоактивной зоны: землетрясение в западной части зоны произошло 30.12.2006 ($K = 7.5$, $M = 1.9$, $E = 0.0316 \cdot 10^9$ Дж) и землетрясение в восточной части — 06.12.2005 ($K = 7.5$, $M = 1.9$, $E = 0.0316 \cdot 10^9$ Дж).

На IV этапе (2007–2011 гг.) зарегистрировано 27 землетрясений с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 0.1022 \cdot 10^9$ Дж. На этом этапе землетрясения в основном проявляются в западной части активной зоны разлома. Пределы сейсмоактивной части разлома: землетрясение в западной части 08.11.2008 ($K = 6.9$, $M = 1.6$, $E = 0.0079 \cdot 10^9$ Дж) и в восточной части 22.01.2008 ($K = 5.5$, $M = 0.8$, $E = 0.0003 \cdot 10^9$ Дж).

На V этапе (2012–2021 гг.) зарегистрировано 169 землетрясений с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 4.5929 \cdot 10^9$ Дж. Этот период отличается от предыдущего проявлением сейсмичности в основном в восточной части зоны. Однако в 2021 г. наблюдалась активность по всей зоне разлома, это свидетельствует о разрядке накопившихся тектонических напряжений. Пределы сейсмоактивной части зоны определялись следующими событиями: в восточной части землетрясение произошло 20.06.2016 ($K = 7.9$, $M = 2.1$, $E = 0.0724 \cdot 10^9$ Дж)

и в западной части — 15.04.2021 ($K = 7.2$, $M = 1.8$, $E = 0.0162 \cdot 10^9$ Дж).

Из вышеизложенного следует, что в Ляховичском региональном разломе наиболее активным по количеству землетрясений (169) и максимальной величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 4.5929 \cdot 10^9$ Дж) был V период (2012–2021 гг.). Возможно, на увеличение числа землетрясений повлиял факт модернизации оборудования и расширение сети наблюдений до восьми сейсмических станций в регионе. Выполненные исследования показали, что количество землетрясений не является основным фактом при определении уровня сеймотектонического потенциала активной зоны разлома, этот уровень зависит и от величины выделившейся сейсмической энергии в данной зоне.

Долговременный график распределения числа землетрясений и суммарной выделившейся сейсмической энергии по годам в активной зоне Ляховичского регионального разлома за период 1983–2021 гг. представлен на рис. 4.

Анализ долговременного проявления сейсмического процесса показал, что повышенные значения суммарной выделившейся сейсмической энергии наблюдались в 1999, 2018 и 2021 гг. Повышенное число произошедших сейсмических событий отмечено в 1999, 2002, 2015 и 2021 гг.

Сеймотектонические деформации той или иной области разлома определялись совокупностью смещений и рассматривались в качестве составной части общих тектонических деформаций (Аронов, 2018). Тип сейсмодислокаций по разломам основывался на типах смещений и соответствующих им стереограммах фокальных механизмов очагов землетрясений (Введенская, 1969).

Механизм очага устанавливался единым для группы землетрясений (групповой механизм). Так поступают для землетрясений с магнитудами обычно $M < 4$, чтобы вовлечь и их в обработку (Ризниченко, 1985). Этот прием основан на допущении, что в ограниченных объемах земной коры процессы в очагах могут быть приблизительно одинаковыми. В этом случае землетрясения объединяются в группы. Очаги каждой группы при расчетах условно приписываются одной точке в центре эпицентральной области и наблюдаемые для них знаки смещений наносятся на одну и ту

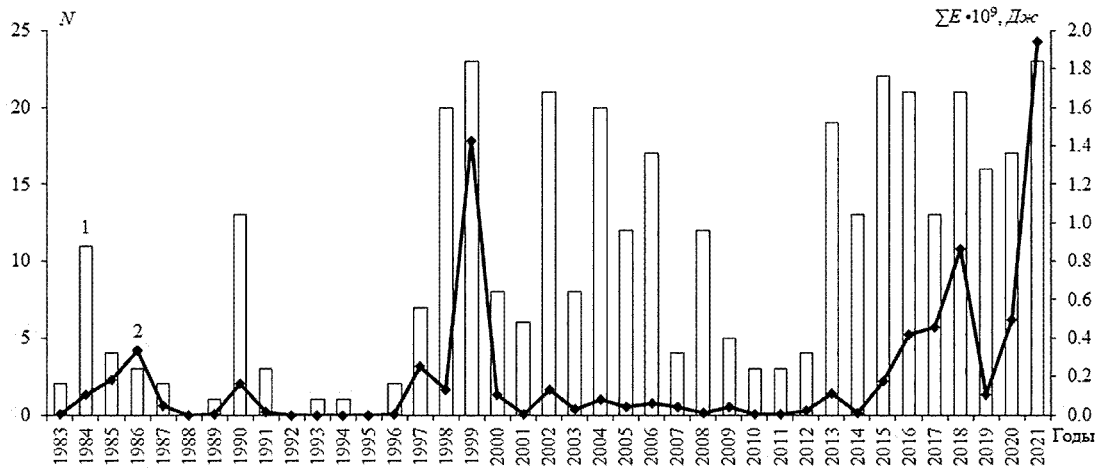


Рис. 4. График изменения числа землетрясений (1) и величины их суммарной сейсмической энергии (2) в пределах площади сейсмоактивной зоны Ляховичского регионального разлома за 1983–2021 гг.

Fig. 4. Graph showing the changes of the earthquake number (1) and of their total seismic energy value (2) within the seismically active zone area of the Lyakhovichi regional fault in 1983–2021

Таблица 1. Основные параметры фокального группового механизма для Ляховичского регионального разлома
Table 1. Main parameters of the focal group mechanism for the Lyakhovichi regional fault

Оси главных напряжений The axes of the main stresses						Нодальные плоскости Nodal planes						Сейсмодислокация Seismic dislocation
T		P		N		NP1			NP2			
PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
5	244	85	78	1	335	333	40	-92	155	50	-89	сброс / fault

же стереографическую проекцию. Если данные наблюдений для группы, составленной из землетрясений с близко расположенными эпицентрами, удовлетворяют одной и той же системе нодальных линий, то найденный механизм очага приписывается всем этим землетрясениям.

Для определения типа сейсмодислокации полученного группового фокального механизма очага землетрясения использовалась система классификации ориентировок, предложенная в работе (Frohlich, 1992), где все возможные типы смещений в очагах формально разделены на шесть групп. Каждый тип (группа) однозначно определяется величинами углов между вертикалью и осями сжатия (*P*) и растяжения (*T*).

Фокальный групповой механизм для Ляховичского регионального разлома построен по знакам первых вступлений 381 землетрясения. В табл. 1 показаны основные параметры фокального группового механизма для Ляховичского регионального разлома.

В результате выполненных построений получено значение сейсмодислокации, которое соответствует такому кинематическому типу, как сброс. Можно предположить, что землетрясения возникли под действием растягивающих напряжений, ориентированных в направлении северо-восток (юго-запад). Обе нодальные плоскости имеют северо-западное — юго-восточное простирание и залегают под углами падения к горизонту $DP = 40–50^\circ$. Тип движения по обеим нодальным плоскостям — сброс.

Припятский прогиб — это структура, которая формировалась в условиях тангенциального растяжения,

и некоторые региональные разломы в осадочном чехле являются нормальными сбросами. На западе Ляховичского регионального разлома амплитуды сбросов составляют 0.5–1.6 км, в центральной части — 1.0–2.0 км и в восточной — 0.5–1.5 км (Айзберг и др., 2007; Махнач и др., 2001).

Заключение

Выполненные исследования позволили определить сеймотектонический потенциал активной зоны Ляховичского регионального разлома. Всего за период 1983–2021 гг. зарегистрировано 381 землетрясение в диапазоне энергетических классов $K = 4.2–9.2$ (магнитуда $M = 0.1–2.9$) с суммарной величиной выделившейся сейсмической энергии $\Sigma E = 7.8225 \cdot 10^9$ Дж. Зарегистрированные землетрясения, приуроченные к Ляховичскому региональному разлому, находятся в пределах $52.738–53.037^\circ$ северной широты и $26.830–28.034^\circ$ восточной долготы. Вся зона разлома является сейсмоактивной, землетрясения проявляются как в центральной, так и в восточной и западной частях. Сейсмическая активизация в разломе проявляется периодически. Для Ляховичского регионального разлома наиболее активным по количеству землетрясений (169) и наибольшей величине выделившейся суммарной сейсмической энергии ($4.5929 \cdot 10^9$ Дж) был период 2012–2021 гг. Наиболее сильное землетрясение, приуроченное к этому разлому, зарегистрировано 03.09.2021 в восточной части с параметрами: $K = 9.2$, $M = 2.9$, $E = 1.4454 \cdot 10^9$ Дж. Сейсмодислокации по разлому — сбросы.



Литература / References

- Айзберг Р. Е., Гарецкий Р. Г., Карбанов А. К. и др. Разломы земной коры Беларуси. Минск: Красико-Принт, 2007. 372 с.
- Aizberg R. E., Garetsky R. G., Karabanov A. K. et al. Fractures of the Earth's crust of Belarus. Minsk: Krasiko-Print Publ., 2007. 372 p. (in Russian)
- Аронов Г. А. Динамика миграции зон группирования эпицентров землетрясений в северо-западной части Припятского прогиба // Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата — ГЕОРИСК-2018: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. М.: РУДН, 2018. Т. 1. С. 262—267.
- Aronov G. A. Dynamics of migration of the earthquake epicenter grouping areas in the north-western part of the Pripyat trough // Analysis, forecasting and management of natural risks with the consideration of the global climate change — GEORISK-2018: Materials of the X International Scientific and Practical Conference. Moscow: RUDN University Publ., 2018, vol. 1. pp. 262—267. (in Russian)
- Аронов Г. А. Неотектоника и геодинамика Припятского прогиба // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики: Материалы ЛII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2020а. С. 17—20.
- Aronov G. A. Neotectonics and geodynamics of the Pripyat trough. Fundamental Problems of Tectonics and Geodynamics: Proc. of the 52nd Tectonic Meeting. Moscow: GEOS Publ., 2020a, pp. 17—20. (in Russian)
- Аронов Г. А. Особенности пространственно-временной сейсмической активности в Солигорском горнопромышленном регионе // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2019а. Т. 63, № 2. С. 216—222. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-2-216-222>
- Aronov G. A. Some peculiarities of the space — time distribution of the seismic activity within the Soligorsk mining region. Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus, 2019a, V. 63, No. 2, pp. 216—222. (in Russian)
- Аронов Г. А. Сейсмотектонические исследования в районе Старобинского месторождения калийных солей // Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов: Материалы I Межд. науч.-практ. конф. Воронеж: Истоки, 2020b. С. 106—110.
- Aronov G. A. Seismotectonic investigations in the area of the Starobin potash salt deposit. Patterns of Transformation of the Geosphere Ecological Functions in Large Mining Regions: Materials of the I International Scientific and Practical Conf. Voronezh, Istoki Publ., 2020b, pp. 106—110. (in Russian)
- Аронов Г. А. Тектонические разрывные нарушения и сейсмическая активность в районе Старобинского месторождения калийных солей // Проблемы тектоники континентов и океанов: Материалы LI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2019b. С. 22—26.
- Aronov G. A. Tectonic rupture dislocations and seismic activity in the area of the Starobinsky potash salt deposit. Problems of Tectonics of the Continents and Oceans: Proc. of the LI Tectonic Meeting. Moscow: GEOS Publ., 2019b, pp. 22—26. (in Russian)
- Введенская А. В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М.: Наука, 1969. 135 с.
- Vvedenskaya A. V. Investigation of the stresses and ruptures in the earthquake foci using the dislocation theory. Moscow: Nauka, 1969, 135 p. (in Russian)
- Высоцкий Э. А., Губин В. Н., Смычник А. Д., Шемет С. Ф., Яшин И. А. Месторождения калийных солей Беларуси: геология и рациональное недропользование. Минск: БГУ, 2003. 264 с.
- Vysotsky E. A., Gubin V. N., Smychnik A. D., Shemet S. F., Yashin I. A. Potassium Salt Deposits of Belarus: Geology and Efficient Management of Mineral Resources. Minsk: BU Publ., 2003, 264 p. (in Russian)
- Махнач А. С., Гарецкий Р. Г., Матвеев А. В. и др. Геология Беларуси. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. 815 с.
- Makhnach A. S., Garetsky R. G., Matveyev A. V. et al. Geology of Belarus. Minsk: Institute of Geological Sciences of the NAS of Belarus, 2001, 815 p. (in Russian)
- Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. М., 1985. 408 с.
- Riznichenko Yu. V. Problems of seismology. Selected works. Moscow, 1985, 408 p. (in Russian)
- Frohlich C. Triangle diagrams: Ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms // Physics of the Earth and Planetary interiors, 1992, 75 (1—3), 193—198. Doi: 10.1016/0031-9201(92)90130-N
- Поступила в редакцию / Received 14.06.2024



Палинологическое обоснование стратиграфического расчленения и корреляции отложений беловежского горизонта плейстоцена Беларуси

А. В. Шидловская, Т. Б. Рылова

Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь, anne.shidlovska@gmail.com, rylova_tatyana18@mail.ru

В составе среднего подотдела плейстоцена Беларуси выделен беловежский горизонт, который располагается между наревским и березинским ледниковыми горизонтами и состоит из трех подгоризонтов: борковского, нижнинского и могилевского. В стратиграфической схеме плейстоцена европейской части России ему соответствует мучкапский горизонт, подразделенный на глазовский, подруднрянский и конаховский подгоризонты и расположенный между донским и окским ледниковыми горизонтами.

Обобщение и анализ накопленных к настоящему времени результатов палинологических и геологических исследований указывают на то, что борковскому, нижнинскому и могилевскому подгоризонтам может быть присвоен более высокий статус – горизонтов. Доводы в пользу такого расчленения приведены в настоящей работе. Эта точка зрения неоднократно высказывалась ранее, однако не была принята в современной стратиграфической схеме плейстоцена Беларуси.

Еще одним актуальным вопросом стратиграфии этой части плейстоцена, рассмотренным в рамках статьи, является правомерность выделения корчевского подгоризонта в составе наревского ледникового горизонта. Согласно имеющимся палинологическим данным, отложениям корчевского подгоризонта свойственна аналогичная последовательность и характеристика пыльцевых зон, что и у могилевских образований в составе беловежского горизонта, и поэтому их возраст должен определяться как могилевский.

С целью более надежного обоснования сделанных выводов выполнена детальная межрегиональная корреляция по пыльцевым зонам изученных отложений с соответствующими отложениями других регионов Европы, которая приведена в настоящей статье.

Ключевые слова: Беларусь, плейстоцен, беловежский горизонт, наревский горизонт, корчевский подгоризонт, мучкапский горизонт, стратиграфия, корреляция

Palynological substantiation of stratigraphic division and correlation of Belovezhian deposits of the Pleistocene of Belarus

A. V. Shidlovskaya, T. B. Rylova

Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

The Belovezhian stage is a part of the Middle Pleistocene of Belarus. It is located between the Narevian and Berezinian glacial stages and consists of three substages: Borkovian, Nizhninian and Mogilevian. Belovezhian stage corresponds to the Muchkapian one in the stratigraphic scheme of the Pleistocene of the European part of Russia, which is also subdivided into the Glazovian, Podrudnyanian and Konakhovian substages and located between the Donian and Okian glacial stages.

Generalization and analysis of the results of accumulated palynological and geological studies indicate that the Borkovian, Nizhninian and Mogilevian substages can be assigned a higher status – stages. Arguments in favor of such a division are presented in this paper. This point of view was repeatedly expressed earlier, but was not accepted in the modern stratigraphic scheme of the Pleistocene of Belarus.

Another topical issue of the stratigraphy of this part of Pleistocene, considered within this article, is the validity of the Korchevian substage within the Narevian glacial stage. According to the available palynological data, the deposits of the Korchevian substage are characterized by a similar sequence and features of pollen zones as the Mogilevian accumulations within the Belovezhian stage, and therefore their age should be determined as Mogilevian.

To substantiate the conclusions, a detailed interregional correlation of the studied deposits with the corresponding deposits of other regions of Europe by pollen zones was carried out and presented in this article.

Keywords: Belarus, Pleistocene, Belovezhian stage, Narevian stage, Korchevian substage, Muchkapian stage, stratigraphy, correlation

Введение

Согласно региональной стратиграфической схеме четвертичных отложений Беларуси (Стратиграфические схемы..., 2010) в составе среднего подотдела

плейстоцена выделен беловежский горизонт, который располагается между наревским и березинским ледниковыми горизонтами и состоит из трех подгоризонтов: борковского, нижнинского и могилевского. В стра-

Для цитирования: Шидловская А. В., Рылова Т. Б. Палинологическое обоснование стратиграфического расчленения и корреляции отложений беловежского горизонта плейстоцена Беларуси // Вестник геонаук. 2024. 8 (356). С. 21–34. DOI: 10.19110/geov.2024.8.3

For citation: Shidlovskaya A. V., Rylova T. B. Palynological substantiation of stratigraphic division and correlation of Belovezhian deposits of the Pleistocene of Belarus. Vestnik of Geosciences, 2024, 8 (356), pp. 21–34, doi: 10.19110/geov.2024.8.3

тиграфической схеме плейстоцена европейской части России ему соответствует мучапский горизонт, аналогично подразделенный на глазовский, подрудннский и конаховский подгоризонты и расположенный между донским и окским ледниковыми горизонтами (Шик и др., 2004; Шик, 2014 и др.).

Отложения беловежского горизонта плейстоцена Беларуси изучены комплексом методов в многочисленных разрезах, в том числе палинологическим методом более чем в 40 разрезах. Однако на сегодняшний день существует ряд нерешенных вопросов, касающихся в первую очередь определения стратиграфического ранга подразделений этого горизонта, а также соотношения могилевского подгоризонта беловежского горизонта и корчевского подгоризонта наревского горизонта плейстоцена Беларуси (Стратиграфические схемы..., 2010).

Беловежское и могилевское межледниковья (горизонты) и разделяющее их нижнинское малое оледенение (горизонт) как самостоятельные стратоны были выделены Л. Н. Вознячуком ещё в 80-х годах прошлого века (Вознячук, 1985). В дальнейшем материалы, полученные белорусскими геологами и палеонтологами в результате изучения многочисленных новых разрезов плейстоцена, показали справедливость утверждений Л. Н. Вознячука о самостоятельности этих подразделений. В 1996 году коллективом белорусских исследователей был предложен проект стратиграфической схемы плейстоцена Беларуси, в котором в наревско-березинском интервале были выделены те же три горизонта (Величкевич и др., 1996; 1997). В последующих работах белорусских и зарубежных специалистов приводились новые доводы в пользу данной точки зрения. Однако такой вариант стратиграфического расчленения этой части плейстоцена не нашел отражения в утвержденной региональной стратиграфической схеме четвертичных отложений 2010 года (Стратиграфические схемы..., 2010), где в составе среднего подотдела плейстоцена между наревским и березинским ледниковыми горизонтами выделен лишь один беловежский горизонт, подразделенный на три подгоризонта (борковский, нижнинский и могилевский).

В последние годы в результате детального анализа и обобщения имеющихся палинологических данных по многочисленным разрезам, вскрывшим отложения беловежского горизонта, получены новые доказательства обоснованности выделения трех самостоятельных горизонтов, что согласуется с принятыми понятиями климатолита, а также горизонта и подгоризонта (Стратиграфический кодекс..., 2019; Шидловская, 2024).

В рамках настоящей работы проведена детальная межрегиональная корреляция беловежских отложений с разновозрастными образованиями смежных регионов с целью более надежного обоснования правомерности выделения данных стратонов в качестве самостоятельных горизонтов.

Палинологическая характеристика беловежских отложений Беларуси

Прежде чем переходить к вопросам межрегиональной корреляции, необходимо кратко охарактери-

зовать основные черты спорово-пыльцевых диаграмм борковских, нижнинских и могилевских отложений на территории Беларуси, а также рассмотреть вопрос их соотношения с образованиями корчевского подгоризонта. Схема палиностратиграфического расчленения данной части среднего плейстоцена представлена в табл. 1.

На рисунках 1 и 2 приведены спорово-пыльцевые диаграммы разреза скв. 2Г у д. Борки Пружанского района Брестской области — типового разреза борковского подгоризонта, а также разреза Нижнинский Ров близ г. Шклова Могилевской области — парастратотипа борковского и голостратотипа нижнинского и могилевского подгоризонтов беловежского горизонта плейстоцена Беларуси (Стратиграфические схемы..., 2010). При построении приведенных спорово-пыльцевых диаграмм вычисление процентного содержания пыльцы каждого таксона древесных, кустарниковых и травянистых наземных растений производилось от суммы AP+NAP (без водных), а таксонов водных растений и также спор — от суммы AP+NAP+подсчитываемый таксон, где AP (Arboreal Pollen) — пыльца древесных пород, NAP (Non-Arboreal Pollen) — пыльца недревесных растений.

Спорово-пыльцевые диаграммы **борковского** подгоризонта беловежского горизонта характеризуются следующими особенностями:

- появлением среди пыльцы термофильных пород сначала *Quercus* и *Ulmus*, чуть позднее *Tilia* и *Corylus*;
- высоким содержанием в составе спектров первой половины климатического оптимума (пыльцевая зона brk 3) пыльцы *Quercus* (до 60 %), *Ulmus* (до 40.5 %), *Tilia* (до 19.4 %);
- максимальным по сравнению с другими межледниковьями содержанием пыльцы *Ulmus* в климатическом оптимуме (пыльцевая зона brk 3); отмечены по крайней мере 4 вида (*Ulmus laevis*, *U. minor*, *U. glabra*, *U. suberosa*) (Шидловская, Рылова, 2023);
- появлением пыльцы *Alnus* почти одновременно с *Quercus* и *Ulmus*, но достижением ею максимума вместе с *Corylus* в пыльцевой зоне brk 4; значительное содержание пыльцы *Alnus* сохраняется на протяжении всего оптимума;
- постоянным присутствием пыльцы *Ligustrum vulgare*, наиболее значительным (до 2 %) по сравнению с другими межледниковьями;
- отсутствием пыльцы *Carpinus* либо единичным ее участием;
- присутствием, иногда существенным, в заключительной фазе климатического оптимума (пыльцевая зона brk 5, преимущественно в западных разрезах) пыльцы *Abies* (до 9.1 %);
- существенным содержанием пыльцы *Picea* уже в заключительной фазе климатического оптимума (пыльцевая зона brk 5) — до 28.9 %, особенно в разрезах северной части территории Беларуси;
- единичным присутствием в составе спектров на протяжении межледниковья пыльцы *Taxus baccata*, *Vitis silvestris*, *Hedera helix*, *Viscum album*, *Fagus sylvatica* и др.

Отложения **нижнинского** подгоризонта представлены комплексом перигляциальных отложений — глинами, супесями, суглинками, реже песками. Состав выявленных пыльцевых спектров отражает два отрезка времени с перигляциальной обстановкой, сходной с



Таблица 1. Схема палиностратиграфического расчленения отложений беловежского горизонта плейстоцена Беларуси, а также подстилающих его верхненаревских и перекрывающих нижнеберезинских отложений (Стратиграфические схемы..., 2010)

Table 1. Scheme of palynostratigraphic subdivision of the Belovezhian stage deposits of the Pleistocene of Belarus, underlying Narevian and overlying Lower Berezinian deposits (Stratigraphic schemes..., 2010)

Система System	Отдел Series	Подотдел Subseries	Горизонт Stage	Подгоризонт Substage	Пыльцевые зоны Pollen zones	
четвертичная / Quaternary	плейстоцен / Pleistocene	средний / Middle	березинский / Berezinian		bz-s-1	NAP– <i>Betula</i> – <i>Larix</i>
				беловежский / Belovezhian	могилевский Mogilevian	mg 5
			mg 4			<i>Picea</i> – <i>Pinus</i> – <i>Betula</i> – <i>Carpinus</i>
			mg 3			<i>Carpinus</i> – <i>Quercus</i> – <i>Alnus</i>
			mg 2			<i>Quercus</i> – <i>Ulmus</i> – <i>Tilia</i>
			mg 1			<i>Larix</i> – <i>Betula</i> – <i>Pinus</i>
			нижнинский Nizhninian	nz 3	NAP– <i>Betula nana</i>	
				nz 2	<i>Pinus</i> – <i>Picea</i> – <i>Betula</i>	
				nz 1	NAP– <i>Larix</i> – <i>Betula</i>	
			борковский Borkovian	brk 8	<i>Pinus</i> – <i>Betula</i> – <i>Larix</i>	
				brk 7	<i>Pinus</i> – <i>Picea</i> – <i>Betula</i>	
				brk 6	<i>Pinus</i> – <i>Picea</i> (+ <i>Abies</i> для зап. р-нов)	
				brk 5	<i>Quercus</i> – <i>Picea</i> (+ <i>Abies</i> для зап. р-нов)	
				brk 4	<i>Quercus</i> – <i>Ulmus</i> – <i>Corylus</i>	
				brk 3	<i>Quercus</i> – <i>Ulmus</i>	
				brk 2	<i>Pinus</i> – <i>Betula</i>	
				brk 1	<i>Betula</i> – <i>Larix</i> – <i>Picea</i>	
				наревский / Narevian	ясельдинский Yaseldinian	nr-f-4
			nr-f-3			<i>Betula nana</i> – <i>Artemisia</i> – <i>Chenopodiaceae</i>
			nr-f-2			<i>Picea</i> –NAP
			nr-f-1			NAP– <i>Betula nana</i>
			корчевский Korchevian		krch 5	<i>Betula</i> – <i>Pinus</i> – <i>Picea</i>
					krch 4	<i>Picea</i> – <i>Pinus</i> – <i>Betula</i> – <i>Carpinus</i>
					krch 3	<i>Carpinus</i> – <i>Quercus</i> – <i>Alnus</i>
					krch 2	<i>Quercus</i> – <i>Ulmus</i> – <i>Tilia</i>
					krch 1	<i>Larix</i> – <i>Betula</i> – <i>Pinus</i>
новогрудский Novogrudian						

современной тундровой, разделенных интерстадиальным потеплением. В некоторых разрезах могут быть выделены три стадиала и два интерстадиала. Во время нижнинского холодного интервала, судя по всему, доминировали ландшафты типа тундры или лесотундры и, вероятно, на севере Европы имело место малое оледенение, не доходившее до границ современной Беларуси. Об этом впервые писал Л. Н. Вознячук (Вознячук, 1985), позднее данная гипотеза была поддержана и другими исследователями (Величкевич и др., 1997 и др.), а также изложена в пояснении к принятой стратиграфической схеме квартала (Стратиграфические схемы..., 2010). Отложения нижнинского подгоризонта, как и другие ледниковые аккумуляции, наиболее надежно выделяются в разрезах, где они подстилаются или перекрываются межледниковыми образованиями, изученными палеонтологическими методами.

Спорово-пыльцевым диаграммам **могилевского** подгоризонта свойственны следующие отличия:

- почти одновременное появление в зоне, отвечающей началу климатического оптимума (mg 2), пыльцы *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia* и редких пыльцевых зерен *Corylus*, *Alnus*, *Carpinus*;
- максимум пыльцы *Carpinus* (37.5 %) и *Alnus* (до 28 %) в зоне, соответствующей самой теплой фазе климатического оптимума (mg 3);
- незначительная роль пыльцы *Corylus* (до 9.5 %);
- присутствие в зонах, отвечающих климатическому оптимуму, единичных пыльцевых зерен *Taxus*, *Abies alba*, *Fagus*, *Ligustrum vulgare*, *Vitis sylvestris*, *Pterocarya*, cf. *Celtis*, спор *Azolla* и др.

Согласно Стратиграфическому кодексу Российской Федерации (Стратиграфический кодекс..., 2019), данные подразделения соответствуют понятию климатолита — то есть отвечают либо межледниковью (борков-

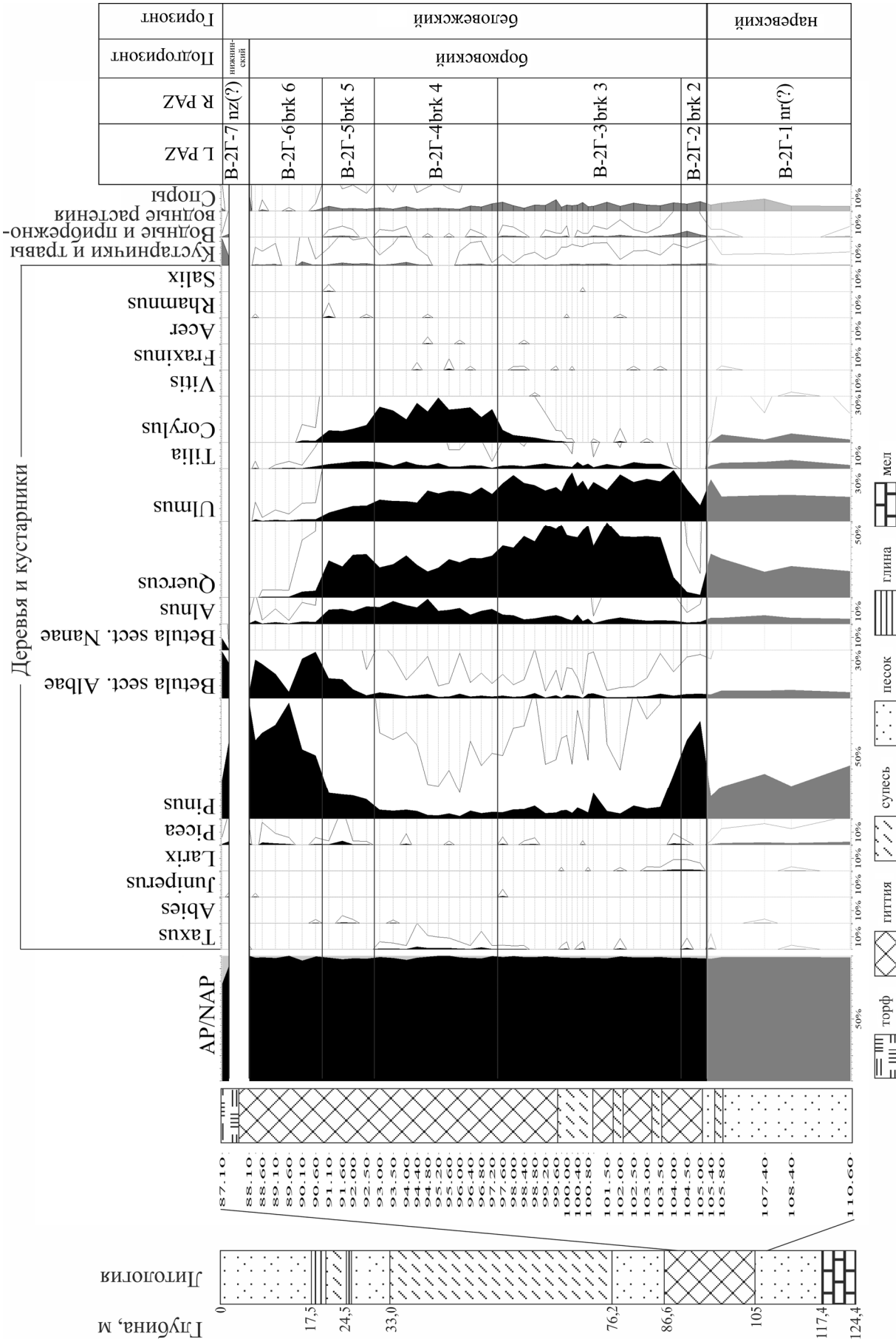


Рис. 1. Спорно-пыльцевая диаграмма плейстоценовых отложений, вскрытых в разрезе скв. 2Г у д. Борки Пружанского района Брестской области Республики Беларусь (анализ выполнен Т. В. Рыловой)
 Fig. 1. Spore-pollen diagram of Pleistocene deposits recovered in the borehole section 2G near the village of Boriki, Pruzhanu district, Brest region of the Republic of Belarus (analyzed by T. V. Rylova)

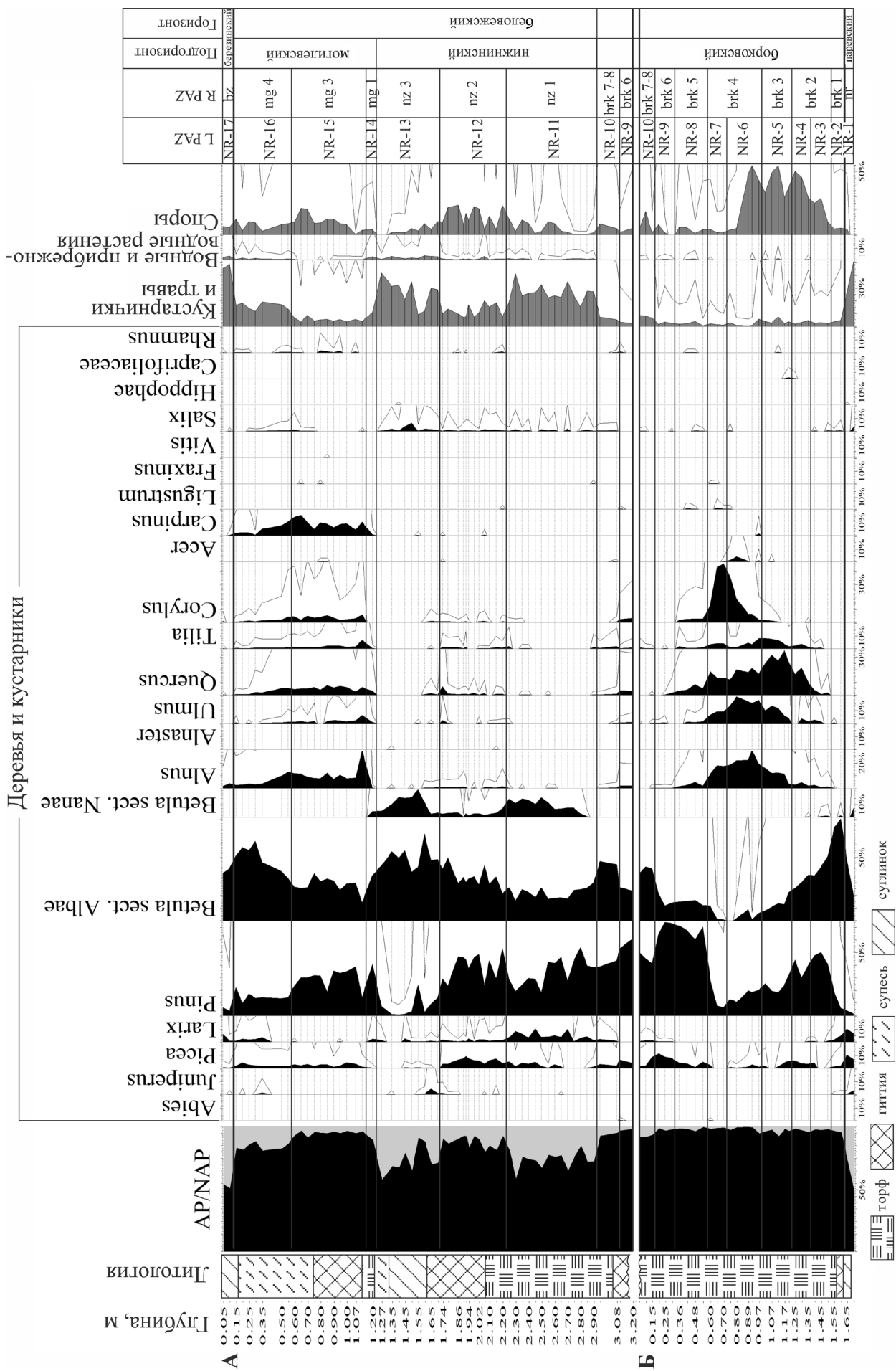


Рис. 2. Спорно-пыльцевая диаграмма плейстоценовых отложений, вскрытых в разрезе Нижнинский Ров близ г. Шклова Могилевской области Республики Беларусь (анализ выполнен Т. В. Рыловой)

Fig. 2. Spore-pollen diagram of Pleistocene deposits recovered in the Nizhninskiy Rov section near the town of Shklov, Mogilev region of the Republic of Belarus (analyzed by T. V. Rylova)



ский и могилевский), либо оледенению (нижнинский) (Вознячук, 1985; Величкевич и др., 1993, 1997; Рылова, Савченко, 2006; Шидловская, Рылова, 2023; Шидловская, 2024 и др.), охарактеризованы в стратотипических (Стратиграфические схемы..., 2010) и других опорных разрезах, проявляются регионально (вскрыты в многочисленных разрезах территории Беларуси) и имеют аналоги на территориях соседних стран (вопросы межрегиональной корреляции этих отложений рассмотрены ниже). А поскольку климатолитам соответствуют, как правило, региональные горизонты, то и борковский, нижнинский и могилевский подгоризонты следует рассматривать в качестве самостоятельных горизонтов.

В стратиграфических схемах, принятых в 2010 году, был также упразднен шкловский межледниковый горизонт, отложения которого признаны беловежскими. Исключение его из стратиграфической схемы плейстоцена требует пересмотра возраста подстилающей их морены.

О правомерности выделения корчевского межледникового подгоризонта в составе наревского ледникового горизонта плейстоцена Беларуси

В составе наревского ледникового горизонта в 2010 г. (Стратиграфические схемы..., 2010) были выделены три подгоризонта: ледниковые новогрудский и ясельдинский, а между ними межледниковый корчевский. На основании геологических, палинологических и палеокарпологических данных, а также микротериофаунистических материалов межледниковые отложения в карьере Корчево первоначально были отнесены к могилевскому межледниковью беловежской серии схемы Л. Н. Вознячука (Вознячук и др., 1971), а весь межморенный комплекс отложений — к гюнцминдельскому (наревско-березинскому) интервалу плейстоцена (Вознячук и др., 1978 и др.). Позднее, однако, Л. Н. Вознячук склонился к точке зрения о более древнем, чем беловежский, возрасте корчевских отложений (Вознячук, 1985). Такую же точку зрения неоднократно высказывали белорусские палеокарпологи, специалисты по микротериофауне и малакофауне, что детально отражено в публикации (Якубовская и др., 2014).

Некоторые исследователи при этом выступали с критикой такой стратиграфии этой части плейстоцена (Горецкий, 1980 и др.). Главной проблемой считали то, что в разрезе Корчево межледниковые отложения изучены непосредственно в отторженце, который к тому же, как писал сам Л. Н. Вознячук (Вознячук, 1985, с. 16), «состоит из нескольких надвинутых друг на друга чешуй-скиб». Кроме того, обращалось внимание и на то, что выделение в данном интервале такого большого количества комплексов является преждевременным и требует дополнительных исследований.

Важное значение для решения вопроса о возрасте корчевских отложений и правомерности выделения корчевского подгоризонта в составе наревского ледникового горизонта, несомненно, имеют результаты палинологических исследований. Сопоставление спорово-пыльцевых диаграмм, полученных по результатам неоднократных исследований разреза Корчево, с

диаграммами, демонстрирующими отложения могилевского подгоризонта беловежского горизонта (разрезы Нижнинский Ров, Красная Дуброва, Пиваши, Смолярка, Угляны и др.), показало, что они характеризуются аналогичной последовательностью идентичных пыльцевых зон (см. табл. 1), а также всеми основными особенностями таксономического состава пыльцевых спектров, что указывает, по нашему мнению, на одновозрастность могилевских и корчевских отложений (Мамакова, Рылова, 1996; Палеогеография..., 2002; Рылова и др., 2005; Рылова, 2006; Mamakowa, Rylova, 2007 и др.).

Все это позволяет утверждать, что межледниковая толща в разрезе Корчево сформировалась в могилевское время, и, следовательно, стратиграфическое положение корчевских межледниковых отложений в интервале между древнейшими в плейстоцене наревским и березинским ледниковыми горизонтами представляется наиболее обоснованным.

Если принять во внимание такое определение возраста корчевских отложений, то следует пересмотреть возраст морен, подстилающих и перекрывающих их, а также правомерность введения в схему ясельдинского ледникового подгоризонта, который был выделен при отсутствии каких-либо убедительных доводов в связи с попыткой найти место для корчевских межледниковых отложений.

Межрегиональная корреляция отложений беловежского горизонта

Метод палинологических исследований является одним из ведущих при выполнении дальних корреляций плейстоценовых разрезов. Палинологические материалы, полученные по наиболее представительным разрезам, прежде всего стратотипическим, позволяют выполнять микростратиграфическое сопоставление не только близко расположенных, но и достаточно удаленных разрезов.

В данном разделе представлены результаты детальной межрегиональной корреляции беловежских отложений по пыльцевым зонам с соответствующими образованиями, вскрытыми в разрезах на территории Европы и европейской части России (рис. 3).

Палиоистратиграфические подразделения, выделенные в каждом из разрезов, были сопоставлены с пыльцевыми зонами, выделенными для беловежских отложений плейстоцена Беларуси (Стратиграфические схемы..., 2010) (табл. 2). Представленные разрезы рассмотрены в порядке их расположения с запада на восток.

Впервые беловежский горизонт был выделен Л. Н. Вознячуком в 1958 году под названием кромерского в сопоставлении с одноименным комплексом плейстоцена Восточной Англии. И в настоящее время одновозрастными беловежским считаются отложения кромерского комплекса Западной Европы, классическими районами распространения которых являются Восточная Англия и Нидерланды.

Восточная Англия. В середине XIX века британскими геологами на побережье близ г. Кромер (Норфолк, Англия) была изучена формация Cromer Forest Bed. Позднее наиболее полные результаты палинологических исследований этих отложений были приведены



Рис. 3. Схема расположения исследованных разрезов

Fig. 3. Position of the sections under study

в работах С. Дэйган и Р. Уэста (Duigan, 1963; West, 1980 и др.). Кромерский комплекс состоит из вестрантонского и мандслейского горизонтов, которым, вероятнее всего, отвечают борковский и могилевский подгоризонты беловежского горизонта плейстоцена Беларуси. Между этими кромерскими горизонтами, по мнению Л. Н. Вознячука, должны быть размещены арктические пресноводные слои, соответствующие нижнинскому подгоризонту (Вознячук, 1985).

В Нидерландах стратотипические разрезы кромера (Westerhoven, Rosmalen и др.) расположены на юге и юго-востоке страны. Кромер Нидерландов включает четыре интергляциала (Interglacial I–IV) и три гляциала (Glacial A, B, C) между ними (Zagwijn, 1985; Zagwijn, 1996).

Только с интергляциалом II кромера Нидерландов (разрез Westerhoven) по палинологическим данным уверенно коррелируют отложения борковского подгоризонта беловежского горизонта плейстоцена Беларуси (Рылова, Савченко, 2006; Стратиграфические схемы..., 2010; Карабанов и др., 2011 и др.). Наиболее характерной особенностью спорово-пыльцевых спектров из отложений разреза Вестерховен, как и из соответствующих им образований Беларуси, является высокое содержание пыльцы *Quercus*, *Ulmus* и *Corylus*.

Что касается отложений могилевского подгоризонта, то их, по палинологическим данным, следует соотносить с интергляциалом III кромерского комплекса (Рылова, 2006; Karabanov et al., 2006 и др.), представленным, например, в разрезе Rosmalen (Zagwijn, 1996).

По мнению М. Дреса (Drees, 2004), ограниченное число разрезов, охарактеризованных малым количеством пыльцевых спектров, их фрагментарность, недостаточное количество абсолютных датировок и палеомагнитных данных не позволяют сделать окончательный вывод о последовательности и количестве подразделений кромерского комплекса Нидерландов. Кроме того, автор указывает, что интергляциалы III и IV, возможно, являются одновозрастными (Drees, 2004, с. 7).

Германия. Для сравнения беловежских отложений с одновозрастными на территории Германии был вы-

бран разрез Hunteburg, расположенный на северо-западе страны. На спорово-пыльцевой диаграмме разреза (Hahne et al., 1994) выделены 12 зон, которые могут быть сопоставлены с зонами борковского и нижнинского подгоризонтов беловежского горизонта плейстоцена Беларуси (см. табл. 2). Для этих зон характерны те же особенности, что и для борковских и нижнинских. Есть также некоторые отличия, обусловленные, по всей видимости, географическим положением разреза Hunteburg в области более мягкого морского климата: заметное участие пыльцы *Hedera* в зонах, отвечающих началу климатического оптимума межледниковья, значительное количество пыльцы *Taxus* и небольшое, но регулярное присутствие пыльцы *Celtis*, *Hedera*, *Viscum* в зонах, соответствующих самым теплым фазам интервала.

Польша. На территории Польши беловежскому горизонту соответствует фердинандовский комплекс. Наиболее полно эти отложения охарактеризованы палинологическим методом в стратотипическом разрезе Ferdynandów. Впервые данный разрез спорово-пыльцевым методом исследовала З. Янчик-Копикова (Janczyk-Kopikowa, 1975), однако первоначально возраст этих отложений был определен автором как мазовецкий (александрийский, лихвинский). В результате дальнейших исследований был доказан их более древний возраст, а последовательность пыльцевых зон позволила выделить новый фердинандовский интергляциал с двумя климатическими оптимумами, разделенными холодным интервалом с растительностью таежного типа (Janczyk-Kopikowa, 1991). В 2003 г. К. Мамакова впервые представила существенно иное палиностратиграфическое расчленение фердинандовской сукцессии по опорному разрезу Ferdynandów на два отдельных интергляциала (Interglacial-1 и Interglacial-2), разделенных гляциалом (Glacial X) (Mamakowa, 2003). Позднее наиболее детальное палиностратиграфическое расчленение разреза Ferdynandów было выполнено И. А. Пидек (Pidek, 2015; Stachowicz-Rybka et al., 2017) (см. табл. 2).

Представляет несомненный интерес сопоставление пыльцевых диаграмм, характеризующих отложения беловежского горизонта и августовского интер-

Таблица 2. Корреляция палинозон разрезов территории Европы с пыльцевыми зонами беловежского горизонта плейстоцена Беларуси

Table 2. Correlation of pollen zones of Europe sections with pollen zones of the Belovezhian horizon of the Pleistocene of Belarus

Беларусь / Belarus (Стратиграфические схемы..., 2010) (Stratigraphy schemes..., 2010)		Англия / England Cromer / Кромер (West, 1980; Вознячук, 1985)		Нидерланды Netherlands Westerhoven Вестерховен (Zagwijn, 1996)		Германия Germany Hunteburg Хунтебург (Hahne et al., 1994)		Польша / Poland Ferdynandów Фердинандов (Pidek, 2015)																	
Горизонт / Stage	Подгоризонт (горизонт?) Substage (stage?)	PAZ (pollen assemblage zones пыльцевые зоны)	Stratigraphy Стратиграфия	Zones / Зоны	Stratigraphy Стратиграфия	Zones / Зоны	Alter Возраст	Zonen / Зоны	Stratigraphy Стратиграфия	L PAZ (local pollen assemblage zones локальные пыльцевые зоны)															
березинский Berezinian		bz-s-1	Anglian Английское оледенение		Elster glaciation Эльстерское оледенение		Elster-Kaltzeit Эльстерское оледенение		Sanian 2 early glaciations Ранне- ледниковье Сан 2	Fe-21 Fe-20 Fe-19															
беловежский / Belovezhian		могилевский Mogilevian	Cromerian Forest Bed Series / Кромерский лесной слой	Mundesley Мандслейские слои	Cr IV Cr III b Cr III a	Cromerian complex / Кромерский комплекс	Cromerian Кромер III(=IV?)	"Cromer-Complex" / Кромерский комплекс	Ferdynandów 2 Interglacial Интергляциал Фердинандов 2	Fe-18 Fe-17 Fe-16 Fe-15 Fe-14															
											нижнинский Nizhninian	Arctic Freshwater Bed Пресловодные арктические слои	Cr II b Cr II a Cr I b Cr I a	Glacial B Оледенение Б	Stadial Стадиал	12	Ferdynandów 1/2 cooling/glaciation Похолодание/оледенение Фердинандов 1/2	Fe-13 Fe-12							
																			борковский Borkovian	Westrunton Вестрантонские слои	Cromerian II Кромер II	Hunteburg-Warmzeit Межледниковье Хунтебург	9 8 7 4-6 2-3	Ferdynandów 1 Interglacial Интергляциал Фердинандов 1	Fe-11 Fe-10 Fe-9 Fe-8 Fe-7 Fe-6 Fe-5 Fe-4 Fe-3
											nr-f-4 nr-f-3 nr-f-2 nr-f-1														



Литва / Lithuania Vaitkūnai-914 Вайткунай-914 (Кондратене, 1996)		Латвия / Latvia Židiny-570 Жидини-570 (Кондратене и др., 1985)		Беларусь / Belarus Нижнинский Ров Nizhninsky Rov (Рылова, Савченко, 2006)			Россия / Russia Польное Лапино Polnoe Lapino (Рылова, 1983, неопубл.)				
Свита / Suite	Палинозоны Palinozones	Stratigraphy Стратиграфия	Phases / Фазы	Горизонт Stage	Подгоризонт (горизонт?) Substage (stage?)	L PAZ (local pollen assemblage zones локальные пыльцевые зоны)	Горизонт Stage	Подгоризонт Substage	L PAZ (local pollen assemblage zones локальные пыльцевые зоны)		
дайнавская Dainava		Lētiža Летижское оледенение	IX	березинский Berezinian	NR-19		окский Okskian				
			VIII								
тургельская Turgellai	T ₅	Židiny / Жидинское межледниковье		Беловежский / Belovezhian	могилевский Mogilevian	NR-18	мучапский / Muchkarian	верхний (конаховский) Upper (konakhovian)			
	T ₄		VII			NR-17					
T ₃	VI		NR-16								
	V		NR-15								
	IV		NR-14			нижнинский Nizhninian				NR-13	
	III		NR-12								
	II		борковский Borkovian			NR-11					NR-10
						NR-9					
						NR-8					
						NR-6-7					
		NR-5									
		NR-3-4									
			NR-2								
дзукийская (?) Dzūkija (?)	T ₂ (?)	Latgale Латгальское оледенение	I	наревский Narevian	NR-1		донской Donian		PL-10		
	T ₁ (?)								PL-9		
								PL-8			
								PL-7			
								PL-5-6			
								PL-4			
								PL-3			
								PL-2			
								PL-1			

гляциала Польши, выделенного в разрезе Щерба на северо-востоке страны. Этот интергляциал помещен между оледенениями нарев и нида (Janczyk-Korikova 1996; Ber 1996; 2000; Winter, 2001; Lisicki, Winter, 2004 и др.). Верхний теплый интервал в разрезе Щерба, несомненно, имеет межледниковый характер. Его палинологическое описание отражает все основные особенности состава пыльцевых спектров, характерных как для отложений могилевского подгоризонта беловежского горизонта, так и для корчевского горизонта плейстоцена Беларуси, равно как и для верхнего теплого интервала в фердинандовской сукцессии. Что касается нижнего теплого интервала в разрезе Щерба, то он имеет сходство лишь с интерстадиальным потеплением.

Допустимость такой корреляции подтвердилась после публикации палинологических материалов по таким разрезам, как Калейты, Чарнуха, Домураты (Winter, 2001; Lisicki, Winter, 2004), где представлена сукцессия растительности, близкая таковой из борковского, нижнинского и могилевского интервалов плейстоцена Беларуси. В них четко представлен в нижней части августовских отложений теплый интервал, для которого характерны дубово-вязовые спектры с участием пыльцы липы и орешника, но отсутствием граба. Эти особенности спектров являются наиболее характерными только для диаграмм борковского (нижнего) подгоризонта беловежского горизонта плейстоцена Беларуси и соответствующих им подразделений плейстоцена соседних стран, в том числе нижнего оптимума (интергляциала) фердинандовского комплекса в Польше.

Литва. На территории Литвы отложения тургяльской свиты плейстоцена, изученные спорово-пыльцевым методом О. П. Кондратене по разрезам Кудре-915 и Вайткунай-914 (см. табл. 2), залегают между ледниковыми горизонтами дзукья и дайнава и на основании палинологических данных уверенно коррелируют с межледниковыми отложениями могилевского подгоризонта беловежского горизонта плейстоцена Беларуси (Кондратене, 1996; Стратиграфические схемы..., 2010; Seiriene et al., 2015). Аналоги отложений борковского подгоризонта в Литве пока неизвестны.

Латвия. В Латвии аналогом беловежских отложений является жидинский интергляциал, изученный геологами и палеонтологами по разрезу Жидини (Даниланс и др., 1964; Хурсевич, 1984; Кондратене и др., 1985; Кондратене, 1996; Kogol, 2005; Kalnina и др., 2013 и др.). На спорово-пыльцевых диаграммах этого разреза выделяются два комплекса со значительным содержанием пыльцевых зерен термофильных широколиственных деревьев: в нижнем комплексе — это *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Corylus*, а в верхнем — *Alnus* и *Carpinus*, что вполне отвечает основным особенностям беловежских диаграмм. Комплексы IV и VI (см. табл. 2) характеризуются высоким содержанием пыльцы травянистых растений (до 40 %), значительными максимумами пыльцы березы (в т.ч. *Betula sect. Nanae* — до 15 %). Пыльцевые спектры, характеризующие этап V, отличаются господством пыльцы древесных пород, где главную роль играют *Picea*, *Pinus*, *Betula sect. Albae*, *Salix*, а содержание пыльцы травянистых растений значительно сокращается. Такой состав спектров характеризует растительность таежного типа, что может от-

вечать интерстадиальному потеплению. Это свидетельствует о том, что отложения, соответствующие этапам IV—VI, вполне можно соотносить с нижнинским подгоризонтом беловежского горизонта (Кондратене и др., 1985).

Европейская часть России. В европейской части России беловежскому горизонту соответствует мучкапский горизонт, отложения которого, как уже было сказано, залегают на донской (наревской) и перекрываются окской (березинской) мореной (Гричук, 1961; Шик, Маудина, 1979; Стратиграфические схемы..., 2010; Шик, 2014 и др.). Мучкапский горизонт также подразделяется на три подгоризонта: нижний (глазовский), средний (подруднянский), верхний (конаховский).

Одним из самых известных местонахождений мучкапских отложений является разрез древнеозерных отложений у д. Польное Лапино Тамбовской области (анализ выполнен М. Н. Валуевой), где вскрыты слои, отвечающие глазовскому подгоризонту (Москвитин, 1976; Красненков и др., 1984; Глушков, 2001 и др.). Спорово-пыльцевая диаграмма этих отложений характеризуется заметным количеством пыльцы *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia* и *Corylus*, однако в отличие от беловежских диаграмм содержание *Corylus* заметно ниже, что может быть обусловлено географическим положением разрезов, в частности более континентальным климатом центральных регионов европейской части России (см. табл. 2).

В разрезе Старое Мутище Смоленской области (Шик, Козлов, 2002) вскрыты отложения всех трех подгоризонтов мучкапского горизонта. На спорово-пыльцевой диаграмме (анализ выполнен И. М. Осиповой) видно, что подруднянские отложения характеризуются высоким содержанием пыльцы травянистых растений — *Artemisia* и *Chenopodiaceae*, а из древесных доминируют *Pinus* и *Betula*. В конаховских отложениях преобладают пыльцевые зерна древесных пород, среди них значительную роль играет *Pinus*, а также *Carpinus*, *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*.

Возраст межледниковых отложений, вскрытых в разрезе Смоленский Брод, расположенном на приграничной с Беларусью территории Смоленской области России, разными исследователями определялся по-разному: Л. Н. Вознячук, например, выделял отдельный смоленский горизонт и считал его доалександрийским (долихвинским), а Я. К. Еловичева помещает этот горизонт выше александрийского, непосредственно под днепровским ледниковым горизонтом. Однако, согласно палинологическим данным, полученным Т. Б. Рыловой и И. Е. Савченко, отложения Смоленского Брода характеризуются последовательностью пыльцевых зон, соответствующей могилевскому подгоризонту беловежского горизонта плейстоцена Беларуси (Рылова, Савченко, 2007). По мнению Ф. Ю. Великевича, ископаемая флора Смоленского Брода также наиболее близка к могилевской межледниковой флоре Беларуси (К стратиграфии..., 1997; Геология Беларуси, 2001).

Заключение

Таким образом, результаты обобщения выполненных ранее и проведенных в последнее время палинологических исследований отложений беловежского го-



ризонта плейстоцена Беларуси, палеогеографических реконструкций растительности и климата соответствующего интервала времени, а также детальной корреляции этих отложений с одновозрастными образованиями других регионов, представленной в данной работе, позволяют сделать вывод о том, что подгоризонты, выделенные в составе беловежского горизонта, имеют более высокий ранг и соответствуют горизонтам.

Борковский и могилевский подгоризонты (горизонты) характеризуются спорово-пыльцевыми спектрами с доминированием широколиственных пород и ольхи и отвечают двум самостоятельным межледниковьям. Нижнинский подгоризонт (горизонт) отвечает малому оледенению, в котором имели место по меньшей мере два стадиала и один интерстадиал.

Корчевский подгоризонт, выделенный в составе наревского горизонта плейстоцена Беларуси, согласно приведенным данным, является одновозрастным с могилевским подгоризонтом (горизонтом), и его следует исключить из стратиграфической схемы плейстоцена, а разделение наревского горизонта на подгоризонты представляется недостаточно обоснованным.

Детальная корреляция отложений борковского, нижнинского и могилевского подгоризонтов (горизонтов) по пыльцевым зонам с соответствующими одновозрастными отложениями соседних территорий показала, что эти образования могут быть прослежены с запада на восток в составе четвертичной толщи в разрезах по всей территории Западной, Центральной и Восточной Европы. Тот факт, что данные стратиграфические подразделения могут быть использованы для дальних корреляций, также подтверждает правомерность выделения их в качестве горизонтов.

Литература / References

- Величкевич Ф. Ю., Рылова Т. Б., Санько А. Ф., Феденя В. М. Березовский страторайон плейстоцена Белоруссии. Минск: Навука і тэхніка, 1993. 146 с.
Velichkevich F. Y., Rylova T. B., Sanko A. F., Fedenya V. M. Bereza stratorium of the Pleistocene of Belarus. Minsk: Navuka i tehnika, 1993, 146 p. (in Russian)
- Величкевич Ф. Ю., Санько А. Ф., Рылова Т. Б., Назаров В. И., Хурсевич Г. К., Литвинюк Г. И. Стратиграфическая схема четвертичных (антропогенных) отложений Беларуси // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1996. Т. 4. № 6. С. 75—87.
Velichkevich F. Y., Sanko A. F., Rylova T. B., Nazarov V. I., Khursevich G. K., Litvinyuk G. I. Stratigraphic scheme of Quaternary (anthropogenic) deposits of Belarus. Stratigraphy. Geological correlation, 1996, V. 4, No. 6, pp. 75—87. (in Russian)
- Величкевич Ф. Ю., Хурсевич Г. К., Рылова Т. Б., Литвинюк Г. И. К стратиграфии среднего плейстоцена Беларуси // Стратиграфия. Геологич. корреляция. 1997. Т. 5. № 4. С. 68—84.
Velichkevich F. Y., Khursevich G. K., Rylova T. B., Litvinyuk G. I. On the stratigraphy of the Middle Pleistocene of Belarus. Stratigraphy. Geological correlation, 1997, V. 5, No. 4, pp. 68—84. (in Russian)
- Вознячук Л. Н. Проблемы гляциоплейстоцена Восточно-Европейской равнины // Проблемы плейстоцена. Минск: Навука і тэхніка, 1985. С. 8—55.
Voznyachuk L. N. Problems of the Glacial Pleistocene of the East European Plain. Problems of the Pleistocene. Minsk: Navuka i tehnika, 1985, pp. 8—55. (in Russian)
- Вознячук Л. Н., Грипинский Л. Т., Пузанов Н. М. Четвертичная система // Геология СССР. Том 3. Белорусская ССР / Под ред. А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1971. С. 231—290.
Voznyachuk L. N., Gripinsky L. T., Puzanov N. M. Quaternary system. Geology of the USSR. V. 3. Belorussian SSR. Ed. A. V. Sidorenko. Moscow: NEDRA, 1971, pp. 231—290. (in Russian)
- Вознячук Л. Н., Махнач Н. А., Мотузко А. Н. Величкевич Ф. Ю., Якубовская Т. В., Зусь М. Е., Калиновский П. Ф., Рунец Е. П., Санько А. Ф. Новые данные по палеогеографии раннего плейстоцена ледниковой области Восточно-Европейской равнины // Доклады АН БССР. 1978. Т. 239. № 1. С. 154—157.
Voznyachuk L. N., Makhnach N. A., Motuzko A. N., Velichkevich F. Y., Yakubovskaya T. V., Zus M. E., Kalinovsky P. F., Runets E. P., Sanko A. F. New data on the paleogeography of the Early Pleistocene glacial region of the East European Plain. Reports of AS of BSSR, 1978, V. 239, No. 1, pp. 154—157. (in Russian)
- Геология Беларуси / Под ред. А. С. Махнача, Р. Г. Гарецкого, А. В. Матвеева и др. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. 815 с.
Geology of Belarus. Ed. A. S. Makhnach, R. G. Garetsky, A. V. Matveev, etc. Minsk: Institute of Geological Sciences of the NAS of Belarus, 2001, 815 p. (in Russian)
- Глушков Б. В. Донской ледниковый язык // Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета. Вып. 5. Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 2001. 166 с.
Glushkov B. V. Don glacial tongue. Proceedings of the SRI of Geology of Voronezh State University. V. 5. Voronezh: Voronezh University Publ., 2001, 166 p. (in Russian)
- Горецкий Г. И. Особенности палеопотомологии ледниковых областей (на примере Белорусского Пономанья). Минск: Навука і тэхніка, 1980. 288 с.
Goretsky G. I. Peculiarities of paleopotomology of glacial regions (on the example of Belarusian Ponomanie). Minsk: Navuka i tehnika, 1980, 288 p. (in Russian)
- Гричук В. П. Ископаемые флоры как палеонтологическая основа стратиграфии четвертичных отложений. Принципы стратиграфического расчленения плейстоцена на основании палеофитологических материалов // Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений северо-запада Русской равнины. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 25—72.
Grichuk V. P. Fossil floras as a paleontological basis for the stratigraphy of Quaternary deposits. Principles of stratigraphic division of the Pleistocene based on paleophytological materials. Relief and stratigraphy of Quaternary deposits of the Russian Plain north-west part. Moscow: Publishing House of the AS USSR, 1961, pp. 25—72. (in Russian)
- Даниланс И. Я., Дзилна В. Я., Стелле В. Я. Разрез Жидини // Вопросы четвертичной геологии. Выпуск 3. Рига: Зинатне, 1964. С. 63—140.
Danilans I. Y., Dzilna V. Y., Stelle V. Y. Zhidini section. Questions of Quaternary Geology. Issue 3, Riga: Zinatne, 1964, pp. 63—140. (in Russian)



- Карabanов А. К., Рылова Т. Б., Демидова С. В. Проблемы стратиграфического расчленения плейстоцена Беларуси // Материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода, Апатиты. 2011. С 255—258.
- Karabanov A. K., Rylova T. B., Demidova S. V. Problems of stratigraphic division of the Pleistocene of Belarus. Proc. of the 7th All-Russian Meeting on the Study of the Quaternary Period, Apatity, 2011, pp. 255—258. (in Russian)
- Кондратене О. П. Стратиграфия и палеогеография квартера Литвы по палеоботаническим данным. Вильнюс: Academia, 1996. 209 с.
- Kondratene O. P. Stratigraphy and paleogeography of the Quaternary of Lithuania according to paleobotanical data. Vilnius: Academia, 1996, 209 p. (in Russian)
- Кондратене О. П., Хурсевич Г. К., Логинова Л. П. Биостратиграфическое обоснование возраста озерной толщи разреза Жидини // Проблемы плейстоцена. Минск: Наука і тэхніка, 1985. С. 86—101.
- Kondratene O. P., Khursevich G. K., Loginova L. P. Biostratigraphic substantiation of the age of the lacustrine strata in the Zhidini section. Problems of the Pleistocene. Minsk: Navuka i tekhnika, 1985, pp. 86—101. (in Russian)
- Красненков Р. В., Холмовой Г. В., Глушков Б. В и др. Опорные разрезы нижнего плейстоцена бассейна Верхнего Дона. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. 212 с.
- Krasnenkov R. V., Kholmovoy G. V., Glushkov B. V. et al. Reference sections of the Lower Pleistocene of the Upper Don basin. Voronezh: VSU Publishing House, 1984, 212 p. (in Russian)
- Мамакова К., Рылова Т. Б. Аб новых палеабатанічных даследаваннях разрэза Карчова ў Беларусі / Тэзісы беларуска-польскага сямінара «Прыродныя працэсы ў плейстаэне і галацэне Беларусі і Польшчы», Минск, 1996. С. 45.
- Mamakova K., Rylova T. B. New paleobotanical studies of the Karchovo section in Belarus. Theses of the Belarusian-Polish seminar "Natural processes in the Pleistocene and Holocene of Belarus and Poland", Minsk, 1996, pp. 45. (in Belarusian)
- Москвитин А. И. Опорные разрезы плейстоцена Русской равнины. М.: Наука, 1976. 201 с.
- Moskvitin A. I. Reference sections of the Pleistocene of the Russian Plain. Moscow: Nauka, 1976, 201 p. (in Russian)
- Палеогеография кайнозоя Беларуси / Под ред. А. В. Матвеева. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2002. 164 с.
- Cenozoic paleogeography of Belarus. Ed. A. V. Matveev. Minsk: Institute of Geological Sciences of the NAS of Belarus, 2002, 164 p. (in Russian)
- Рылова Т. Б., Павловская И. Э., Карabanов А. К. О стратиграфическом расчленении гляциоплейстоцена Беларуси и количестве оледенений // Проблемы геологии Беларуси: материалы юбилейных научных чтений, Минск. 2005. С. 51—54.
- Rylova T. B., Pavlovskaya I. E., Karabanov A. K. On the stratigraphic division of the Glaciopleistocene of Belarus and the number of glaciations. Problems of geology of Belarus: materials of anniversary scientific readings, Minsk, 2005, pp. 51—54. (in Russian)
- Рылова Т. Б., Савченко И. Е. Новые данные о возрасте и стратиграфическом положении межледниковых отложений в разрезе Смоленский Брод // Литасфера. 2007. № 2 (27). С. 70—75.
- Rylova T. B., Savchenko I. E. New data on the age and stratigraphic position of interglacial deposits in the Smolensky Brod section. Lithosphere, 2007, No. 2 (27), pp. 70—75. (in Russian)
- Рылова Т. Б., Савченко И. Е. Растительность и климат межледниковых интервалов плейстоцена Беларуси по данным палинологических исследований // Литасфера. 2006. № 1 (24). С. 12—26.
- Rylova T. B., Savchenko I. E. Vegetation and climate of interglacial intervals of the Pleistocene of Belarus according to palynological studies. Lithosphere, 2006, No. 1 (24), pp. 12—26. (in Russian)
- Рылова Т. Б. О возрасте и стратиграфическом положении межледниковых отложений разреза Корчево // Доклады НАН Беларуси. 2006. Т. 50. № 3. С. 97—101.
- Rylova T. B. On the age and stratigraphic position of interglacial deposits of the Korchevo section. Reports of the NAS of Belarus, 2006, V. 50, No. 3, pp. 97—101. (in Russian)
- Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: объяснительная записка / Под ред. С. А. Кручека [и др.]. Минск: БелНИГРИ, 2010. 282 с. + приложение из 15 стратиграфических схем.
- Stratigraphic schemes of Precambrian and Phanerozoic deposits of Belarus: explanatory note. Ed. S. A. Kruchek etc. Minsk: BelNIGRI, 2010, 282 p. + application of 15 stratigraphic diagrams. (in Russian)
- Стратиграфический кодекс России. Изд-е третье, испр. и доп. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.
- Stratigraphic Code of Russia. Third edition, corrected and expanded. Saint Petersburg: VSEGEI Publishing House, 2019, 96 p. (in Russian)
- Хурсевич Г. К. Стратиграфия плейстоценовых отложений Прибалтики по данным диатомового анализа // Палеогеография и стратиграфия четвертичного периода Прибалтики и сопредельных районов. Вильнюс: Изд-во АН Литовской ССР, 1984. С. 122—130.
- Khursevich G. K. Stratigraphy of Pleistocene deposits of the Baltic region according to diatom analysis. Paleogeography and stratigraphy of the Quaternary period of the Baltic region and adjacent areas. Vilnius: Publishing house of AS of the Lithuanian SSR, 1984, pp. 122—130. (in Russian)
- Шидловская А. В. Палиностратиграфия и условия формирования отложений нижинского и могилевского подгоризонтов беловежского горизонта плейстоцена Беларуси // Литасфера. 2024. № 1 (60). С. 12—31.
- Shidlovskaya A. V. Palinostratigraphy and formation conditions of deposits of the Nizhninian and Mogilevian substages of the Belovezhian stage of the Pleistocene of Belarus. Lithosphere, 2024, No. 1 (60), pp. 12—31. (in Russian)
- Шидловская А. В., Рылова Т. Б. Палиностратиграфия и условия формирования отложений наревского (верхняя часть) и беловежского (борковский подгоризонт) горизонтов плейстоцена Беларуси // Литасфера. 2023. № 1 (58). С. 77—98.



- Shidlovskaya A. V., Rylova T. B. Palinostratigraphy and formation conditions of deposits of the Narevian (upper part) and Belovezhian (Borkovian substage) Pleistocene stages of Belarus. *Lithosphere*, 2023, No. 1 (58), pp. 77–98. (in Russian)
- Шик С. М., Маудина М. И. Рославльские межледниковые озерные отложения Окско-Донской равнины // Проблемы антропогена Центральных районов Русской платформы. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1979. С. 42–57.
- Shik S. M., Maudina M. I. Roslavlian interglacial lake sediments of the Oka-Don Plain. *Problems of the anthropogene of the Central regions of the Russian Platform*. Voronezh: VSU Publishing House, 1979, pp. 42–57. (in Russian)
- Шик С. М. Горизонты неоплейстоцена центра Европейской России: сопоставление со ступенями общей стратиграфической шкалы, стратотипы и гипостратотипы // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2014. № 73. С. 52–62.
- Shik S. M. Neopleistocene horizons of the center of European Russia: comparison with the stages of the general stratigraphic scale, stratotypes and hypostatotypes. *Bulletin of the Commission for Study of the Quaternary*, 2014, No. 73, pp. 52–62. (in Russian)
- Шик С. М., Борисов Б. А., Заррина Е. П. Проект региональной стратиграфической схемы неоплейстоцена Европейской России // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2004. № 65. С. 102–114.
- Shik S. M., Borisov B. A., Zarrina E. P. Project of a regional stratigraphic scheme of the Neopleistocene of European Russia. *Bulletin of the Commission for Study of the Quaternary*, 2004, No. 65, pp. 102–114. (in Russian)
- Шик С. М., Козлов В. Б. Четвертичные отложения Смоленской области // Четвертичные отложения, экология и полезные ископаемые Смоленской области. Смоленск, 2002. С. 11–49.
- Shik S. M., Kozlov V. B. Quaternary sediments of the Smolensk region. *Quaternary sediments, ecology and minerals of the Smolensk region*, Smolensk, 2002, pp. 11–49. (in Russian)
- Якубовская Т. В., Литвинюк Г. И., Мотузко А. Н. Корчевское межледниковье Беларуси. Минск: Изд-во В. Хурсик, 2014. 161 с.
- Yakubovskaya T. V., Litvinyuk G. I., Motuzko A. N. Korchevo interglacial of Belarus. *Minsk: V. Khursik Publishing house*, 2014, 161 p. (in Russian)
- Ber A. Geological-floristic setting of the Augustovian (Pastonian, Bavelian?) interglacial lake sediments of Szczebra, near Augustów (NE Poland) // *Geological history of the Baltic Sea*. Vilnius, 1996. P. 19–20.
- Ber A. Pleistocene of north-eastern Poland and neighbouring areas against crystalline and sedimentary basement // *Prace Panstwowego Instytutu Geologicznego*. 2000. No. 170. P. 1–89.
- Drees M. An evaluation of the Cromerian complex period of The Netherlands // *PalArch's Journal of Vertebrate Palaeontology*. 2004. Vol. 2. No. 1. P. 1–12.
- Duigan S. L. Pollen analyses of the Cromer Forest Bed Series in East Anglia // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*. 1963. Vol. 246. P. 149–202.
- Hahne J., Mengeling H., Merkt J., Gramann F. Die Hunteburg-Warmzeit ('Cromer-Komplex') und Ablagerungen der Elster-, Saale- und Weichsel-Kaltzeit in der Forschungsbohrung Hunteburg GE 58 bei Osnabrück // *Geologisches Jahrbuch*. 1994. No. 134. P. 117–165.
- Hahne J., Mengeling H., Merkt J., Gramann F. The Hunteburg interglacial period ('Cromer complex') and deposits of the Elster, Saale and Weichselian glaciations in the Hunteburg GE 58 research borehole near Osnabrück // *Geological Yearbook*. 1994. No. 134. P. 117–165. (in German)
- Janczyk-Kopikowa Z. Flora interglacjału mazowieckiego w Ferdynandowie // *Z badań czwartorzędu w Polsce*. 1975. T. 17. P. 5–70.
- Janczyk-Kopikowa Z. Flora of the Masovian interglacial in Ferdynandów // *From the study of the Quaternary in Poland*. 1975. Vol. 17. P. 5–70. (in Polish)
- Janczyk-Kopikowa Z. Palynostratigraphy of the Pleistocene in Poland and the problem of the age of deposits from Biesiekierz (Central Poland) // *Annates Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*. 1991. B46. P. 111–128.
- Janczyk-Kopikowa Z. Temperate stages of the Mesopleistocene in NE Poland // *Biuletyn Panstwowego Instytutu Geologicznego*. 1996. No. 373. P. 49–66.
- Kalnina L., Strautnieks I., Cerina A. A Cromerian Complex palaeolake sediment sequence from the Zidini site, south-eastern Latvia / *Quaternary International*. 2013. Vol. 284. P. 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.03.022>
- Karabanov A., Matveev A., Pavlovskaya I., Rylova T., Savchenko I. Some debatable problems of the Pleistocene stratigraphy of Belarus. IV Seminarium Polsko-Białoruskie, Warszawa. 2006. P. 4–8.
- Korol G. Diatom flora from the Zhidini section and its palaeogeographic and biostratigraphic significance // *Geologija*. 2005. Vol. 49. P. 29–39.
- Lisicki S., Winter H. Revision of stratigraphical position of the Lower and Middle Pleistocene sediments of north-eastern Poland // *Geografia Uniwersytetu Adama Mickiewicza*. 2004. Vol. 68. P. 259–283.
- Mamakowa K. Plejstocen // *Palinologia*. Kraków: Wydawnictwa Instytutu Botaniki im. W. Szafera Polskiej Akademii Nauk, 2003. P. 235–266.
- Mamakowa K. Pleistocene // *Palynology*. Kraków: Publishing House of the W. Szafer Institute of Botany of Polish Academy of Sciences, 2003. P. 235–266. (in Polish)
- Mamakowa K., Rylova T. The interglacial from Korchevo in Belarus in the light of new palaeobotanical studies // *Acta Palaeobotanica*. 2007. Vol. 47 (2). P. 425–453.
- Pidek I. A. Palynostratigraphy and vegetation changes during the early Middle Pleistocene, based on new studies of deposits from Ferdynandów (central eastern Poland) // *Acta Palaeobotanica*. 2015. Vol. 55(1). P. 53–66. DOI: <https://doi.org/10.1515/acpa-2015-0002>
- Šeirienė V., Karabanov A., Rylova T., Baltrūnas V., Savchenko I. The Pleistocene stratigraphy of the southeastern sector of the Scandinavian glaciation (Belarus and Lithuania): a review // *Baltica*. 2015. Vol. 28 (1). P. 51–60.
- Stachowicz-Rybka R., Pidek I. A., Źarski M. New palaeoclimate reconstructions based on multidisciplinary investigation in the Ferdynandów 2011 stratotype site (eastern Poland) // *Geological Quarterly*. 2017. Vol. 61 (2)



- P. 276–290. DOI: <http://dx.doi.org/10.7306/gq.10.7306/gq.1353>
- West R. G. Pleistocene forest history in east Anglia // *New Phytologist*. 1980. Vol. 85. Is. 4. P. 571–622.
- Winter H. New profile of Augustowski Interglacial in northeastern Poland // *Geografia Uniwersytetu Adama Mickiewicza*. 2001. Vol. 64. P. 439–450.
- Zagwijn W. H. An outline of the Quaternary stratigraphy of the Netherlands // *Geologie en Mijnbouw*. 1985. Vol. 64. P. 17–24.
- Zagwijn, W. H. The Cromerian Complex Stage of the Netherlands and correlation with other areas in Europe // *The Early Middle Pleistocene in Europe*. Rotterdam: Balkema, 1996. P. 145–172.

Поступила в редакцию / Received 16.07.2024



Диссимметризация в минералах группы эвдиалита. IV. Особенности блочного изоморфизма в структуре Nb-дефицитного аналога онейллита в рамках $P3$ -симметрии

Р. К. Расцветаева¹, Н. В. Чуканов², В. М. Гридчина¹, С. М. Аксенов^{3,4}

¹ НИИ «Курчатовский институт», Москва, rast.crys@gmail.com

²ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, Черноголовка

³Лаборатория арктической минералогии и материаловедения, ФИЦ «Кольский научный центр» РАН, Апатиты

⁴ Геологический институт ФИЦ «Кольский научный центр» РАН, Апатиты

Методом монокристалльного рентгеноструктурного анализа повторно изучена кристаллическая структура представителя группы эвдиалита из Сент-Илера в Квебеке (Канада) с идеализированной формулой: $\text{Na}_{13}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)\text{Zr}_3(\text{Fe},\text{Mn})_3(\square,\text{Nb})(\text{Si},\text{Nb},\square)[\text{Si}_3\text{O}_9]_2[\text{Si}_9\text{O}_{27}]_2(\text{O},\text{OH},\text{Cl})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, который является Nb-дефицитным аналогом онейллита, потенциально новым минералом. Параметры элементарной ячейки: $a = 14.134(3)$, $c = 30.178(6)$ Å, $V = 5221$ Å³. Кристаллическая структура минерала ранее изучена в рамках пространственной группы $R3$. В настоящей работе при понижении симметрии получена модель структуры из 155 позиций, которая уточнена в рамках пространственной группы $P3$ до итогового фактора расхожимости $R = 5.9$ % с использованием 4179 независимых отражений с $F > 2\sigma(F)$. Установлено более сложное распределение катионов по ключевым позициям ячейки, понижающее симметрию минерала.

Ключевые слова: группа эвдиалита, онейллит, кристаллическая структура, блочный изоморфизм, ключевые позиции, примитивная элементарная ячейка, щелочной массив Сент-Илер

Dissymmetrization in eudialyte-group minerals. IV. Features of the blocky isomorphism in the structure of the Nb-deficient oneillite analogue in the frame of $P3$ -symmetry

R. K. Rastsvetaeva¹, N. V Chukanov², V. M. Gridchina¹, S. M. Aksenov^{3,4}

¹ NRC "Kurchatov institute", Moscow

²FRC of Problems of Chemical Physics and Medicinal Chemistry, RAS, Chernogolovka

³Laboratory of Arctic Mineralogy and Material Sciences, FRC "Kola Science Center" RAS, Apatity

⁴Geological Institute, FRC "Kola Science Center" RAS, Apatity

The crystal structure of a potentially new member of the eudialyte group, the Nb-deficient analogue of oneillite from Mont Saint-Hilaire, Québec, Canada, with the idealized formula: $\text{Na}_{13}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)\text{Zr}_3(\text{Fe},\text{Mn})_3(\square,\text{Nb})(\text{Si},\text{Nb},\square)[\text{Si}_3\text{O}_9]_2[\text{Si}_9\text{O}_{27}]_2(\text{O},\text{OH},\text{Cl})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, has been re-studied within the space group $P3$. The unit-cell parameters are: $a = 14.134(3)$, $c = 30.178(6)$ Å, $V = 52201$ Å³. The crystal structure of the mineral has been previously investigated using the space group $R3$ (typical for the members of oneillite family). In this work a structural model characterized by 155 crystallographic sites was solved in the frame of the low symmetry space group $P3$ and refined to $R = 5.9$ % using 4179 reflections with $F > 2\sigma(F)$. The cation distribution between the key sites in low symmetry is more detailed.

Keywords: eudialyte group, oneillite, crystal structure, blocky isomorphism, key sites, primitive unit cell, Mont Saint-Hilaire

Введение

Минералы группы эвдиалита (МГЭ) — сложные цирконосиликаты с тригональной симметрией. Основной их структуры является гетерополиэдрический каркас из Si-центрированных тетраэдров, образующих кольца $[\text{Si}_3\text{O}_9]$ и $[\text{Si}_9\text{O}_{27}]$, одиночных октаэдров ZO_6 ($Z = \text{Zr}, \text{Ti}$) и шестичленных колец из рёберно связанных октаэдров MO_6 ($M = \text{Ca}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{REE}, \text{Na}$) с заполнением его пустот крупными щелочными и щелочно-земельными

катионами, дополнительными анионами и молекулами воды. На осях третьего порядка вблизи центров девятичленных колец находятся катионы переходных металлов и дополнительные атомы кремния. Кольцевые фрагменты располагаются вокруг осей третьего порядка с координатами $[0\ 0\ z]$, $[2/3\ 1/3\ z]$ и $[1/3\ 2/3\ z]$. За счет R -трансляции эти оси взаимозависимы, и минимальный катион-анионный состав заполняет ячейку, повторяясь трижды со сдвигом вдоль z на $1/3$ и $2/3$.

Для цитирования: Расцветаева Р. К., Чуканов Н. В., Гридчина В. М., Аксенов С. М. Диссимметризация в минералах группы эвдиалита. IV. Особенности блочного изоморфизма в структуре Nb-дефицитного аналога онейллита в рамках $P3$ -симметрии // Вестник геонаук. 2024. 8 (356). С. 35–40. DOI: 10.19110/geov.2024.8.4

For citation: Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V., Gridchina V. M., Aksenov S. M. Dissymmetrization in eudialyte-group minerals. IV. Features of the blocky isomorphism in the structure of the Nb-deficient oneillite analogue in the frame of $P3$ -symmetry. Vestnik of Geosciences, 2024, 8 (356), pp. 35–40, doi: 10.19110/geov.2024.8.4

В большинстве своем МГЭ характеризуются содержанием СаО около 9–10 мас. % и отношением Са/Zr, близким к 2. Менее распространены представители с низким содержанием Са (3–6 мас. % СаО) при Са/Zr = 1 (онейллит (Johnsen et al., 1999a), раслакит (Екименкова и др., 2000) и некоторые другие). Наименьшим среди всех известных минералов группы эвдиалита содержанием Са (Са/Zr = 1/3) характеризуется амаблит-(Се) — собственно редкоземельный представитель группы эвдиалита, недавно открытый в щелочном массиве Сент-Амабль (Квебек, Канада) (Chukanov et al., 2024). При содержании Са меньше шести атомов в независимой части ячейки возможно его упорядоченное замещение Fe, Mn, Na, Ce и др. в позициях M1a и M1b октаэдров шестичленного кольца и, как следствие, понижение симметрии от R3m до R3. В составе этих колец нередко участвуют и другие катионы в подчиненном количестве, что приводит к появлению смешанно-заселенных позиций.

Несмотря на то, что большинство МГЭ описывается пр. гр. R3m (Расцветаева и др., 2012; Johnsen et al., 1999c; Rastsvetaeva, 2020a; Rastsvetaeva, 2020b), к настоящему времени такое упорядочение в рамках симметрии R3 установлено в ряде минералов, и теперь их относят к членам группы эвдиалита онейллитового типа (Расцветаева, Чуканов, 2011).

В группе эвдиалита известны шесть низкокальциевых минералов — **онейллит (Са-Mn)** (Johnsen et al., 1999a), **раслакит (Са-Fe)** (Екименкова и др., 2000), **воронковит (Na-Mn)** (Хомяков и др., 2009), **сэлсургит (Са-Mn)** (Chukanov et al., 2023), **сергеванит [Са-(Mn,Fe)]** (Chukanov et al., 2020) и **амаблит-(Се) (Се-Mn)** (Chukanov et al., 2024) (в скобках жирным шрифтом указаны катионы, чередующиеся в кольце октаэдров).

Кристаллические структуры низкокальциевых минералов ранее изучены в рамках пр. гр. R3 — традиционной для минералов серии онейллита. Однако последние исследования показали, что возможно и дальнейшее понижение симметрии структуры МГЭ с нарушением R-трансляции. При этом в пространственной группе P3 из всех элементов симметрии сохраняется только ось третьего порядка, а три оси [0 0 z], [1/3 2/3 z] и [2/3 1/3 z] становятся симметрически неэквивалентными, и вся структура распадается на три фрагмента, а связывающие их трансляции [1/3 2/3 2/3] и [2/3 1/3 1/3] становятся псевдотрансляциями. В соответствии с этим при переходе в примитивную ячейку единое шестерное кольцо распадается на кольца трех разных типов. Один тип колец (онейллитовый) во всех изученных минералах онейллитовой серии одинаков и содержит чередующиеся октаэдры с атомами Са и Mn, а в других реализуются разные комбинации элементов, занимающих позиции M1.1–M1.6. При этом доминирующими могут оказаться и элементы, которые в рамках ромбоэдрической (R3) симметрии играют роль примесных компонентов.

Опыт исследования низкосимметричных низкокальциевых МГЭ показал, что понижение симметрии позволяет установить новые закономерности в упорядочении катионов в структуре этих минералов. В предыдущей публикации в «Вестнике геонаук» (Расцветаева, 2023) было показано, что детали строения очень важны и могут быть полезны для решения кристаллохи-

мических, генетических, петрографических и технологических задач.

Впервые переход в примитивную ячейку был выполнен нами при исследовании низкокальциевого и высокоциркониевого образца эвдиалита $\text{Na}_{15}\text{Ca}_3(\text{Mn,Fe})_3\text{Zr}_3[\text{Na}_2\text{Zr}][\text{Si}_{26}\text{O}_{72}](\text{OH},\text{O})_3\text{Cl}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ($Z = 3$), найденного в ультраагпаитовом пегматите на горе Аллуайв (Ловозерский щелочной комплекс, Кольский п-ов) и принадлежащего системе твердых растворов «сергеванит — раслакит — онейллит» (Расцветаева, Чуканов, 2021). В рамках пр. гр. P3 получена также дополнительная информация о структуре сергеванита (Расцветаева, 2023).

В настоящей статье приведены результаты исследования структуры в рамках пониженной симметрии аналога онейллита с пониженным содержанием ниобия, что позволило установить ряд дополнительных кристаллохимических особенностей этого минерала.

Объект, методы и результаты исследования

Образец МГЭ, изученный в настоящей работе, найден в ультращелочных пегматитах карьера Пудретт агпаитового массива Сент-Илер в Квебеке (Канада) в виде красно-оранжевых резорбированных зерен до 1 см в поперечнике и является реликтом более раннего парагенезиса, сложенного друзовыми агрегатами натролита, анальцима, альбита и полилитионита.

Химический состав определен методом локального рентгеноспектрального микроанализа и соответствует эмпирической формуле (рассчитанной на 26 атомов Si+Nb+Ti, $Z = 3$) с учетом микроразности монокристаллов (Расцветаева и др., 2006): $\text{Na}_{11.45-12.25}\text{Ca}_{2.37-2.44}\text{Ce}_{0.6-0.7}\text{K}_{0.10-0.15}\text{Zr}_{2.91-3.01}\text{Hf}_{0.05-0.07}\text{Fe}_{0.6-1.12}\text{Mn}_{3.26-3.51}\text{Nb}_{0.30-0.44}\text{Ti}_{0.05-0.07}\text{Si}_{25.51-25.61}\text{O}_{72}\text{Cl}_{0.65-0.76}\text{F}_{0.08-0.26}$.

В ИК-спектре изученного МГЭ присутствуют полосы при 3320 и 1647 cm^{-1} , относящиеся соответственно к валентным и деформационным колебаниям молекул H_2O , образующих водородные связи средней прочности. Низкая заселённость M(3)- и M(4)-тетраэдров SiO_4 вблизи центров Si_9O_{27} -колец проявляется в низких интенсивностях соответствующих полос при 920 и 942 cm^{-1} . Полоса в диапазоне 540–543 cm^{-1} , отвечающая валентным колебаниям плоского квадрата $[\text{Fe}^{2+}\text{O}_4]$, в спектре этого минерала отсутствует; вместо неё наблюдается характеристическая полоса валентных колебаний полиэдров $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{O}_5]$ при 523 cm^{-1} .

Для сбора дифракционных данных были использованы монокристаллы изометричной формы с размерами 0.2 x 0.2 x 0.2 мм. Экспериментальный набор дифракционных данных получен в сфере обратного пространства до $\sin \theta/\lambda < 0.703$ с использованием монокристалльного дифрактометра Xcalibur Oxford Diffraction (MoK α -излучение), оснащенного CCD-детектором. Измеренные параметры элементарной ячейки составили: $a = 14.134(3)$, $c = 30.178(6)$ Å, $V = 5220.97$ Å³. Вычисленная плотность минерала 2.84 г/см³.

Первоначальное рентгеноструктурное исследование Nb-дефицитного аналога онейллита из пегматита Сент-Илер было выполнено в рамках пр. гр. R3 с использованием ограниченного числа независимых отражений (2899 рефлексов с $|F| > 5 \sigma(F)$) (Расцветаева и др., 2006). Хотя в составе минерала количество Mn и Са



суммарно достаточно для их упорядочения по шести независимым позициям без нарушения R -решетки, преобладание марганца и наличие редкоземельных элементов могли привести к перераспределению катионов в шестичленных кольцах реберно-связанных октаэдров. Это предположение послужило стимулом для нового исследования Nb-дефицитного аналога онейллита с использованием тех же дифракционных данных.

При дальнейшем понижении симметрии до пр. гр. $P3$ в качестве стартового набора мы использовали 34 координаты позиций каркаса (Расцветаева и др., 2006). Модель структуры из 135 позиций в пр. гр. $P3$ была получена с помощью процедуры коррекции фаз, разработанной в рамках программы AREN (Андрианов, 1987), и характеризовалась значением $R = 30\%$. После распределения элементов по позициям в соответствии с данными химического состава и уточнения модели 20 новых позиций (расщепленных и с неполной заселенностью) были найдены из серии разностных синтезов электронной плотности. Ряд позиций уточнялся с учетом смешанных кривых атомного рассеяния. В результате изотропно-анизотропного уточнения 155 позиций R -фактор снизился до 5.9% (4179 отражений с $F > 2\sigma(F)$). Все расчеты выполнены с использованием системы кристаллографических программ AREN (Андрианов, 1987).

В таблицах 1–3 приводятся уточненные структурные параметры катионов и характеристики их координационных полиэдров для ключевых фрагментов структуры, в которых реализуется блочный изоморфизм, понижающий симметрию минерала.

Обсуждение результатов

Установленное в онейллите (Johnsen et al., 1999a) распределение катионов по позициям структуры в целом соответствует найденному в его Nb-дефицитном аналоге в рамках R -симметрии. Можно отметить, в частности, что в октаэдрах шестичленных колец незначительное отличие заключается в инверсии — если в онейллите Ca доминирует в позиции $M1a$, а Mn в позиции $M1b$, то в его аналоге, наоборот, Ca доминирует в позиции $M1b$, а Mn — в позиции $M1a$. Однако есть и особенности, связанные не только с различиями в составе этих образцов, но и с возможностями детализации некоторых фрагментов в P -структуре аналога онейллита (рис. 1).

В исследованном МГЭ содержатся более двух атомов Ca и трех атомов Mn, что предполагает доминирование этих катионов в двух независимых октаэдрах шестичленного кольца. Действительно, в рамках R -ячейки Nb-дефицитного аналога онейллита установлено распределение Mn с небольшой примесью Na ($2.55Mn + 0.45Na$) в одной независимой позиции шестерного кольца, в то время как в другой позиции находится $2.4Ca + 0.27Ce + 0.33Na$. При этом октаэдр $M1a$ характеризуется меньшими размерами, что согласуется с меньшими размерами (по сравнению с Ca) преобладающих в них атомов Mn: среднее $M1a-O = 2.27 \text{ \AA}$ и $M1b-O = 2.35 \text{ \AA}$. Такое распределение катионов по позициям со смешанной заселенностью предполагает присутствие в структуре трех однотипных колец со статистическим распределением в них основных и примесных элементов. Однако исследование в рамках симметрии $P3$ показало, что это не совсем так (табл. 1).

Следует отметить, что при распределении катионов в P -ячейке по шести независимым позициям в октаэдрах трех независимых шестичленных колец с учетом количества электронов в позиции и величины атомных смещений возникают трудности, связанные с некоторыми локальными искажениями размеров их полиэдров. Эти искажения могут быть следствием того, что каждый октаэдр шестичленного кольца взаимодействует с несколькими полиэдрами, контактируя с двумя соседними октаэдрами этого же кольца и с $M2$ -полиэдрами по ребрам, с Si-тетраэдрами по вершинам, а также с полиэдрами Na как по вершинам, так и по ребрам. Подобные искажения, как правило, нивелируются при усреднении позиций в более высокой симметрии.

В данной P -структуре во всех $M1.1$ – 1.6 -октаэдрах расстояния «катион — анион» изменяются в пределах 2.0 – 2.5 \AA , а средние значения находятся в пределах 2.25 – 2.35 \AA (табл. 2). И с большой долей вероятности можно утверждать, что все три независимых кольца различаются по составу. При этом атомы Mn распределены не равномерно по трем кольцам, а дифференцированно с нарушением R -центрировки: в одном кольце они занимают целиком оба октаэдра, во втором заполняют один октаэдр, который чередуется с кальциевым, а кольцо третьего типа содержит октаэдр

Таблица 1. Координаты и параметры атомных смещений ($B_{\text{экв}}, \text{\AA}^2$) в главных ключевых позициях структуры

Table 1. Atom coordinates and isotropic atomic displacement parameters ($B_{\text{eq}}, \text{\AA}^2$) in the main key-sites

Позиция / Site	x	y	z	$B_{\text{экв}} / B_{\text{eq}}$
$M1.1$	$-0.0047(4)$	$0.2632(3)$	$-0.0004(1)$	$1.6(1)$
$M1.2$	$0.2766(4)$	$0.2752(4)$	$-0.0005(2)$	$1.5(1)$
$M1.3$	$0.6699(3)$	$0.5952(3)$	$0.3334(1)$	$1.1(1)$
$M1.4$	$0.4092(3)$	$0.3333(3)$	$0.3334(1)$	$1.46(1)$
$M1.5$	$0.0669(4)$	$0.4005(4)$	$0.6666(1)$	$1.46(6)$
$M1.6$	$0.0931(1)$	$0.6665(1)$	$0.6668(1)$	$1.46(2)$
$M2.1$	$0.0569(16)$	$0.5282(13)$	$0.0011(5)$	$2.6(2)$
$M2.2$	$0.1451(4)$	$0.2926(4)$	$0.3357(1)$	$2.5(1)$
$M2.3$	$0.3481(7)$	$0.1765(6)$	$0.6698(3)$	$1.43(9)$

Таблица 2. Состав ($Z = 1$) главных ключевых позиций и характеристики их координационных полиэдров

Table 2. Site composition ($Z = 1$) of the main key sites and characteristics of their coordination polyhedral

Позиция Site	Состав Composition	КЧ / CN	Расстояния «катион — анион» (Å) / «Cation — anion» distances (Å)		
			минимальное / minimal	максимальное / maximal	среднее / mean
M1.1	Mn	6	2.19(1)	2.48(3)	2.30
M1.2	Ca	6	2.07(2)	2.44(3)	2.25
M1.3	Mn	6	2.26(3)	2.46(1)	2.34
M1.4	Mn	6	2.06(3)	2.36(2)	2.27
M1.5	Ca _{0.7} Mn _{0.3}	6	2.21(2)	2.54(3)	2.33
M1.6	Ce _{0.6} Ca _{0.4}	6	2.0(1)	2.46(1)	2.35
M2.1	Na	4	2.09(2)	2.44(2)	2.22
M2.2	Fe	4	2.04(2)	2.38(2)	2.18
M2.3	Zr _{0.3}	4	2.08(3)	2.20(2)	2.14

КЧ / CN — координационное число / coordination number;

Z — число формульных единиц в ячейке / number of independent formula in cell

из Ca с примесью Mn, в то время как во втором октаэдре доминирует Ce с подчиненным количеством Ca (табл. 2). Присутствие колец состава Mn-Mn и Ce-Ca ранее в P3-эвдиалитах не встречалось.

В блочном изоморфизме наряду с шестичленными кольцами участвуют и ключевые позиции M2, которые находятся между этими трансляционно идентичными кольцами. Вследствие высокого содержания Mn в минерале в октаэдрах шестичленного кольца не принимают участия атомы железа, которые располагаются в M2.2-позиции на уровне $z = 0.33$. При этом, в отличие от более высокомарганцевого онейллита, другая позиция M2.1 занята атомами Na, а не Mn, в то время как третья (M2.3-позиция) на уровне $z = 0.66$ остается преимущественно вакантной. В ней фиксируется лишь 0.3 Zr (избыточного сверх атомов в Z-октаэдрах) (рис. 1). Все катионы в M2.1—M2.3 находятся в квадратной координации с расстояниями 2.09—2.44 Å (ср. 2.22), 2.04—2.38 Å (ср. 2.18) и 2.08—2.20 Å (ср. 2.14) соответственно.

Отличие исследованного минерала от онейллита наблюдается и в заполнении позиций M3 и M4 (табл. 3) на оси третьего порядка вблизи центров обоих 9-член-

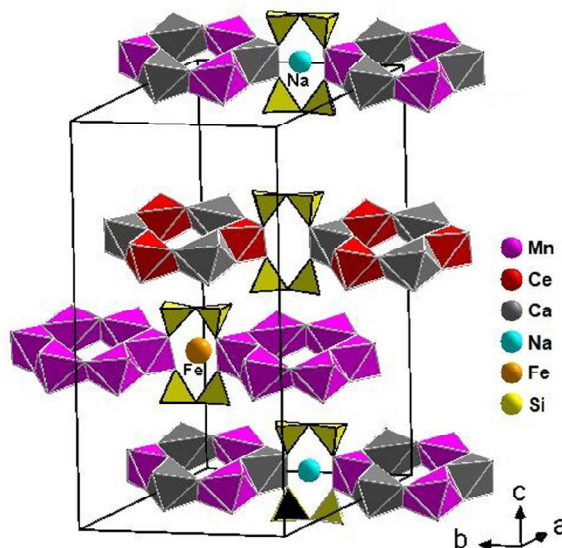

Рис. 1. Распределение катионов по ключевым M1- и M2-позициям вокруг трех кристаллографически независимых осей третьего порядка

Fig. 1. Distribution of cations in the key-sites M1- and M2 around three crystallographical independent axes 3

Таблица 3. Координаты, параметры атомных смещений ($B_{эКВ}$, Å²), кратность и состав в осевых позициях

Table 3. Atom coordinates, atomic displacement parameters (B_{eq} , Å²), multiplicity and composition in the axes sites

Позиция / Site	x	y	z	$B_{эКВ} / B_{eq}$	Кратность / Multiplicity	Состав / s.o.f.
M3.1a	0	0	0.6246(7)	1.8(3)	1	Nb _{0.22}
M3.1b	0	0	0.5786(5)	1.9(2)	1	Si _{0.78}
M3.2	0.3334	0.6667	0.2960(6)	1.2(3)	1	Nb _{0.22}
M3.3	0.6667	0.3334	0.9549(6)	1.8(2)	1	W _{0.1}
M4.1a	0	0	0.375(1)	0.5(4)	1	Ti _{0.22}
M4.1b	0	0	0.448(9)	1.9(8)	1	Si _{0.3}
M4.2a	0.3334	0.6667	0.0412(5)	1.7(2)	1	Nb _{0.3}
M4.2b	0.3334	0.6667	0.090(1)	1.9(9)	1	Si _{0.2}
M4.3a	0.6667	0.3334	0.7088(6)	1.5(3)	1	Nb _{0.23}
M4.3b	0.6667	0.3334	0.758(1)	1.9(7)	1	Si _{0.5}



ных кремнекислородных колец некрупными катионами и дополнительными (к кремнекислородным кольцам) Si-атомами, которые регулируют заряд сложных по составу МГЭ. В R-ячейке онейллита M3-позиция целиком занята атомами Nb, а M4 — атомами Si. Изученный нами образец является низкониобиевым, а Nb находится в M3-и M4-позициях, образуя октаэдры, которые статистически чередуются с тетраэдрами атомов Si и/или вакансиями. Однако при понижении симметрии выявлено более детальное распределение в ячейке октаэдров, заселенных Nb (0.97 атомов на ячейку), Ti (0.22), W (0.1), Si (1.4), и вакансий. Ранее присутствие вольфрама было обнаружено в МГЭ из Сент-Илер в хомяковите, манганохомяковите и йонсените-(Ce) (Johnsen et al., 1999b; Grice et al., 2006). Атомы Nb в равных количествах находятся в двух независимых позициях M3 и M4, в то время как третью M3-позицию занимает W, а в третьей позиции M4 располагаются атомы Ti. Атомы Si статистически занимают одну M3-позицию (две другие остаются вакантными) и три M4-позиции. Такое неравномерное распределение осевых катионов в структуре существенно понижает симметрию наряду с блочным изоморфизмом в шестичленных кольцах.

Выводы

Таким образом, изученный нами минерал — низкокальциевый и низкосимметричный представитель группы эвдиалита — является низкониобиевым аналогом онейллита. Переход в примитивную ячейку позволил детализировать распределение катионов по независимым позициям структуры минерала.

Особенностью блочного изоморфизма минерала из Квебека является встреченное впервые присутствие шестичленного кольца из атомов Mn, а также сочетание редкоземельного октаэдра с кальциевым в другом шестичленном кольце.

Работа выполнена в рамках Государственного задания НИИЦ «Курчатовский институт».

Литература / References

- Андреанов В. И. AREN-85 — система кристаллографических программ РЕНТГЕН на ЭВМ NORD, SM-4 и ЕС // Кристаллография. 1987. Т. 32. № 1. С. 228—232.
- Andrianov V. I. AREN-85— system of crystallographical programs RENTGEN for EVM NORD, SM-4 and ЕС. Crystallography Reports, 1987, V. 32, No. 1, pp. 228—232. (in Russian)
- Екименкова И. А., Расцветова П. К., Чуканов Н. В. Упорядочение кальция и железа в минерале группы эвдиалита с симметрией R3 // Доклады АН. Химия. 2000. Т. 374. № 3. С. 352—355.
- Ekimenkova I. A., Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V. Ordering calcium and ferrum in mineral of eudialyte group with R3 symmetry. Doklady AS, Chemistry, 2000, V. 374, No. 3, pp. 352—355. (in Russian)
- Расцветова П. К., Розенберг К. А., Пеков И. В., Чуканов Н. В., Меккель Ш. Кристаллические структуры двух новых низкосимметричных низкокальциевых аналогов эвдиалита // Кристаллография. 2006. Т. 51. № 2. С. 235—240.
- Rastsvetaeva R. K., Rozenberg K. A., Pekov I. V., Mekkel Sh. The crystal structure of two new lowsymmetry and

lowcalcium eudialyte analogues. Crystallography Reports, 2006, V. 51, No. 2, pp. 235—240.

- Расцветова П. К., Аксенов С. М., Чуканов Н. В. Кристаллическая структура Mn-аналога раслакита — нового представителя группы эвдиалита // Доклады АН. 2010. Т. 431. № 2. С. 201—206.
- Rastsvetaeva R. K., Aksenov S. M., Chukanov N. V. Crystal structure of raslakite analogue — a new representative of eudialyte group. Doklady AS, 2010, V. 431, No. 2, pp. 201—206. (in Russian)
- Расцветова П. К., Чуканов Н. В. Принципы кристаллохимической классификации минералов группы эвдиалита // Записки РМО. Ч. 140. № 3. 2011. С. 25—40.
- Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V. Principles of the crystal chemical eudialyte group minerals classification. ZRMO, 2011, 140, No. 3, pp. 25—40. (in Russian)
- Расцветова П. К., Чуканов Н. В., Аксенов С. М. Минералы группы эвдиалита: кристаллохимия, свойства, генезис. Нижний Новгород: Изд-во НГУ, 2012. 230 с.
- Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V., Aksenov S. M. Eudialyte-Group Minerals: Crystal Chemistry, Properties, and Genesis. Editorial House of the Nizhny Novgorod State Univ., Nizhny Novgorod, 2012, 230 pp. (in Russian)
- Расцветова П. К., Чуканов Н. В. Кристаллическая структура первого представителя группы эвдиалита с примитивной ячейкой // Кристаллография. 2021. Т. 66. № 6. С. 884—893. DOI: 10.31857/S0023476121060308
- Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V. Crystal structure of the first representative of eudialyte group with primitive cell. Kristallografiya, 2021, V. 66, No. 6, pp. 884—893. (in Russian)
- Расцветова П. К. Упорядочение катионов в минералах сложного состава: P3-сергеванит — второй представитель группы эвдиалита с примитивной ячейкой // Вестник геонаук. 2023. № 8. С. 26—30. DOI: 10.19110/geov.2023.8.3
- Rastsvetaeva R. K. Cationic ordering in complex minerals: P3-sergevanite - the second representative of eudialyte group with primitive cell. Vestnik geonauk, 2023, No. 8, pp. 26—30. (in Russian)
- Хомяков А. П., Нечелюстов Г. Н., Расцветова П. К. Воронковит, $\text{Na}_{15}(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Ce})_3(\text{Mn}, \text{Ca})_3\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH}, \text{O})_4\text{Cl}\cdot\text{H}_2\text{O}$, новый минерал группы эвдиалита из Ловозерского щелочного массива, Кольский полуостров, Россия // ЗРМО. 2009. Т. 138. № 2. С. 66—74.
- Khomyakov A. P., Nechelustov G. N., Rastsvetaeva R. K. Voronkovite $\text{Na}_{15}(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Ce})_3(\text{Mn}, \text{Ca})_3\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH}, \text{O})_4\text{Cl}\cdot\text{H}_2\text{O}$, a new member of the eudialyte group from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula, Russia. ZRMO, 2009, V. 138, No. 2, pp. 66—74. (in Russian)
- Chukanov N. V., Aksenov S. M., Pekov I. V., Belakovskiy D. I., Vozchikova S. A., Britvin S. N. Sergevanite, $\text{Na}_{15}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)(\text{Na}_2\text{Fe})\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_3\cdot\text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula // Canadian Mineralogist. 2020. V. 58. pp. 421—436. DOI: 10.3749/canmin.2000006
- Chukanov N. V., Aksenov S. M., Kazheva O. N., Pekov I. V., Varlamov D. A., Vigasina M. F., Belakovskiy D. I., Vozchikova S. A., Britvin S. N. Selsurtite, $(\text{H}_3\text{O})_{12}\text{Na}_3(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)(\text{Na}_2\text{Fe})\text{Zr}_3\text{ClSi}[\text{Si}_{24}\text{O}_{69}(\text{OH})_3](\text{OH})\text{Cl}\cdot\text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula // Mineralogical Magazine. 2023. V. 87. pp. 241—251. DOI: 10.1180/mgm.2022.136



- Chukanov N. V., Zolotarev A. A., Schäfer Ch., Varlamov D. A., Pekov I. V., Vigasina M. F., Belakovskiy D. I., Aksenov S. M., Vozchikova S. A., Britvin S. N. Amableite-(Ce), $\text{Na}_{15}[(\text{Ce}_{1.5}\text{Na}_{1.5})\text{Mn}_3]\text{Mn}_2\text{Zr}_3\text{Si}[\text{Si}_{24}\text{O}_{69}(\text{OH})_3](\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from Saint-Amable Sill, Québec, Canada // *Mineralogical Magazine*. 2024. DOI: 10.1180/mgm.2024.26
- Grice J. D., Gault R. A. Johnsenite-(Ce): a new member of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada // *Can. Mineral*. 2006. V. 44. P. 105–115.
- Johnsen O., Grice J. D., Gault R. A. Oneillite: a new Ca-deficient and REE-rich member of the eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada // *Canadian Mineral*. 1999a. V. 37. P. 1295–1301.
- Johnsen O., Gault R. A., Grice J. D. & Ercit T. S. Khomyakovite and mangan khomyakovite, two new members of eudialyte group from Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada // *Can. Mineral*. 1999b. V. 37. No. 4. P. 893–899.
- Johnsen O., Grice J. D., Gault R. A. The crystal chemistry of the eudialyte group. *Canad. Mineral*, 1999c. V. 37(4), P. 865–891.
- Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V. New data on the isomorphism in eudialyte-group minerals. 2. Crystal-chemical mechanisms of blocky isomorphism at the key sites (a review) // *Minerals* 2020a, 10(8), 720. P. 87–102. doi.org/10.3390/min10080720
- Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V., Pekov I. V., Schäfer Ch., Van K. V. New data on the isomorphism in eudialyte-group minerals. 1. Crystal chemistry of eudialyte-group members with Na incorporated into the framework as a marker of hyperagpaitic conditions // *Minerals*. 2020b. V. 10(7), 587. 16 pp. DOI: 10.3390/min10070587
- Rastsvetaeva R. K. New Data on the Structure of Eudialyte-Group Mineral Sergevanite. Ordered and Disordered Structures of Minerals with Complex Composition. *Crystallography Reports*, 2022, V. 67, No. 7, pp. 1105–1113. DOI: 10.1134/S1063774522070471

Поступила в редакцию / Received 27.07.2024

Вольфганг Оствальд и его «Мир обойденных величин»

А. М. Асхабов

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, askhabov@geo.komisc.ru

В кратком очерке, посвященном немецкому химику Вольфгангу Оствальду и его книге «Мир обойденных величин», приводятся сведения о жизни и деятельности ученого, обсуждаются некоторые итоги исследовательского прорыва в мир обойденных величин. Обращается внимание на важность изучения протоминерального мира, названного «новым миром обойденных величин». Отмечены современные инструментальные возможности его исследования.

Ключевые слова: В. Оствальд, «мир обойденных величин», дисперсное состояние вещества, этапы вторжения в наномир, протоминеральный мир, фемтосекундные и аттосекундные импульсы в изучении объектов протоминерального мира

Wolfgang Ostwald and his "World of neglected dimensions"

A. M. Askhabov

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

A short essay about German chemist Wolfgang Ostwald and his book "The World of Neglected Dimensions" provides information about the life and work of the scientist and discusses some results of research breakthrough into the world of neglected dimensions. Attention is drawn to the importance of studying the protomineral world, called "new world of neglected dimensions". Modern instrumental possibilities for the study are noted.

Keywords: W. Ostwald, "world of neglected dimensions", dispersed state of matter, stages of invasion into the nanoworld, protomineral world, femtosecond and attosecond pulses in the study of objects of the protomineral world

Введение

Этой заметкой автор продолжает серию публикаций, посвященных выдающимся открытиям, знаменательным датам и людям, изменившим науку и направления её развития. Они касаются в основном близких автору областей науки: кристаллографии, минералогии, физической химии, материаловедения и нанотехнологий. В этот раз речь идет о выдающемся немецком ученом-химике В. Оствальде и его знаменитой книге «Мир обойденных величин» (Оствальд, 1923), изменившей представления о микро- и наномире и имевшей далеко идущие последствия для развития науки о дисперсном состоянии вещества, в том числе и минерального.

Название книги появилось из оценки В. Оствальдом ситуации, сложившейся в физической химии в начале XX века, когда микроскопические объекты, размеры которых находятся между миром атомов и молекул с одной стороны и объектами макроскопических размеров с другой оказались как бы за бортом науки, вне должного внимания физиков и химиков. И понятие «мир обойденных величин», или, как иногда его переводят, «Мир забытых измерений», оказалось очень подходящим для характеристики этого мира, куда даже в те годы входили разнообразные объекты, не только коллоидные системы, золи, мицеллы, микроэмульсии, но также природные коллоиды, гели, мозаичные и иерархически построенные минеральные образования и др.

В. Оствальд. Биография

Даже химики, не говоря о других специалистах, мало знают биографию В. Оствальда, имя которого не-



Рис. 1. В. Оствальд (1883—1943)

Fig. 1. W. Ostwald (1883—1943)

справедливо остается в тени его великого отца. Ниже приводим краткие сведения из биографии этого несомненно незаурядного ученого и человека, посвятившего свою жизнь созданию и пропаганде новой для того времени науки — коллоидной химии.

Карл Вильгельм Вольфганг Оствальд (рис. 1) — немецкий химик, второй сын лауреата Нобелевской премии по химии 1909 года Фридриха Вильгельма Оствальда, родился 27 мая 1883 года в Риге. В 1887 году семья Оствальдов переехала в Германию и отец занял кафедру физической химии в Лейпцигском университете. В 1904 году Вольфганг окончил этот университет и уехал в США для продолжения образования и работы в Калифорнийском университете в Беркли, где специализировался в области биологии (зоологии). Но вскоре (1906) был лишен стипендии и вернулся в Германию. В дальнейшем до конца жизни проработал в Лейпцигском университете, где серьёзно заинтересовался вопросами коллоидной химии и вскоре превратился в одного из лидеров этой новой области науки. В 1907 году он уже редактировал научные журналы по коллоидной химии. В 1913—1914 годах был приглашен в США для чтения в американ-

ских университетах лекций. Они имели блестящий успех и стали основой для его будущей знаменитой книги. Что интересно, В. Оствальду тогда было всего 30 лет! Во время Первой мировой войны он проходил службу на Западном фронте. Был уволен по болезни в звании старшего лейтенанта. С 1919 года он работал в основанном его отцом физико-химическом институте Лейпцигского университета, где организовал коллоидно-химические исследования. В 1922 году основал коллоидное общество, опубликовал ряд блестящих работ и руководств по коллоидной химии. В 1923 году стал профессором. За исследования коллоидов его по праву называют одним из основателей коллоидной химии. Любопытно, что его самого название науки «коллоидная химия» не очень устраивало. Он даже предлагал назвать эту науку «дисперсоидология», поскольку многие свойства коллоидных систем были связаны с их высокой дисперсностью. Идея, однако, не получила признания. В 1931 году В. Оствальд номинировался на Нобелевскую премию, но не получил её. Часто В. Оствальда по ошибке называют лауреатом Нобелевской премии, путая его с отцом, который, кстати, номинировался 20 раз, пока не получил её в 1909 году. Умер Оствальд 22 ноября 1943 года в Дрездене.

«Мир обойденных величин» В. Оствальда

Книга «Мир обойденных величин» была подготовлена В. Оствальдом по материалам лекций, которые он прочитал во время поездки в США и Канаду зимой 1913—1914 годов¹ (54 лекции в течение 74 дней), из которых для книги были выбраны 5. Вот перечень этих лекций: 1. Основные явления коллоидного состояния. Коллоиды как дисперсные системы. Методы получения коллоидных растворов. 2. Систематика коллоидов. Физико-химические свойства коллоидов в зависимости от степени их дисперсии. 3. Изменение состояния коллоидов. 4. Научные приложения коллоидной химии. 5. Технические и практические приложения коллоидной химии.

Книга была написана ещё весной 1914 года. Однако после начала войны и автор и издатель были призваны в армию, и она была издана уже в следующем, 1915 году. Русский перевод (Оствальд, 1923) был сделан с шестого немецкого издания и опубликован чуть более 100 лет назад (Оствальд, 1923). Перевод с десятого немецкого издания вышел в 1930 году.

Идея книги возникла не на пустом месте. Кроме желания автора изложить на бумаге столь успешно прошедшие в США лекции, были ещё другие мотивационные обстоятельства. К тому времени в немецкой научной литературе было уже достаточно много работ в области, которую стали называть коллоидной химией. Однако, как отмечает В. Оствальд, «никто ещё, кажется, не пробовал осветить значение современной коллоидной химии как самостоятельной науки с особым указанием на её многочисленные научные и технические приложения <...> Опыт связной картины современной чистой и прикладной коллоидной химии, осуществленной по возможности в общедоступной форме, кажется автору новым <...> Книга назначена,

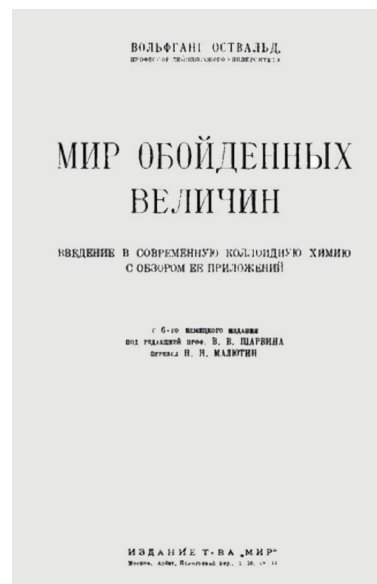


Рис. 2. Титульный лист книги В. Оствальда
Fig. 2. Title page of the book by W. Ostwald

таким образом, в первую очередь для тех читателей, которые ещё ничего не слышали о коллоидной химии или во всяком случае мало о ней знают». Здесь и далее приведены цитаты из предисловий автора к книге.

Возможно, именно эта особенность книги способствовала тому, что она вызвала такой большой интерес не только у химиков. Книга действительно была принята очень хорошо. «Коллоидный» взгляд на мир многим пришелся по вкусу, в том числе геологам и минералагам. Особенно близки «коллоидные» идеи были тем, кто изучал природные дисперсные (коллоидные) системы. В обиход даже вошли термины «коллоидно-дисперсная» и «коллоидная» минералогия. Предметом специального изучения стали широко распространенные природные коллоиды. Так, уже в 1936 году вышла книга Ф. В. Чухрова «Коллоиды в земной коре», в которой довольно подробно рассматривалось значение коллоидного состояния вещества для процессов формирования и преобразования минералов и руд, излагались основы коллоидной минералогии.

Книга, как и хотел её автор, стала «проводником в новый мир замечательных явлений и своеобразных мыслей — мир, так давно уже существующий и так недавно сделавшийся действительно предметом познания». Весьма доволен был и автор книги. Радовался успехам пропагандируемой им науки. Он был уверен в том, что «стремление становиться при исследовании различных вопросов на коллоидно-химическую точку зрения отнюдь не является какой-то преходящей научной модой, а оно в действительности оказалось весьма плодотворным... Область чистой и прикладной коллоидной химии представляется неисчерпаемой, и наше поколение, конечно, не доживет до того момента, когда коллоидная химия, перестав давать новое и неожиданное, станет скучной». Он писал, что «автору хочется повторить, что он по-прежнему чувствует себя счастливым, работая в этой науке, где открываются новые горизонты». В предисловии к девятому из-

¹ Интересно, что его отец Вильгельм Оствальд в 1905—1906 годах с большим успехом прочитал лекции в США, которые стали основой для его знаменитой книги «Путеводные нити химии», изданной в 1908 году.



данию своей книги В. Оствальд уже оптимистично отмечал, что «в настоящее время нельзя больше смотреть на коллоидную химию как на “обойденную” область знания». Но неизведанного в мире обойденных величин было ещё много.

То, что идеи В. Оствальда имели грандиозное влияние на химиков, особо не удивляет, поскольку они имели дело с очень современной и модной наукой. Но нам интересна не сама по себе коллоидная химия, а то, как она повлияла на развитие смежных наук, на расширение и появление новых объектов исследования, на прогресс в области изучения дисперсных частиц, ультрадисперсного минерального вещества, получения микро- и наноструктурированных материалов.

Этапы вторжения в мир обойденных величин

Прозвучавший в книге В. Оствальда призыв к исследованию «мира обойденных величин» был воспринят с энтузиазмом и послужил стимулом для многих совершенно уникальных и неожиданных открытий, многие из которых были удостоены Нобелевских премий. В частности, в 1925—1926 годах премию получили Р. Зигмонди («открыл доступ в мир недоступных размеров»), Т. Сведберг и Ж. Перрен («за прорыв в мир дискретных частиц»). Горизонты коллоидной химии были значительно расширены.

Однако первый этап вторжения в «мир обойденных величин» имел очевидные инструментальные ограничения. Для исследования были доступны лишь объекты микронных (коллоидных) размеров. Наноразмерный уровень оставался недостижимым. Последующие несколько десятилетий ушли на осознание необходимости проникновения именно в мир наноразмерных объектов и создание соответствующих экспериментальных методов их изучения. Перспективные в плане инструментального обеспечения наблюдения объектов на границе наномира электронные микроскопы были созданы позднее, уже в эру электроники. В результате их использования был осуществлен грандиозный прорыв в изучении вещества на микроуровне.

Происходящая в наше время нанотехнологическая революция — это результат уже второго этапа вторжения в «мир обойденных величин». Успехи этого этапа были обусловлены тем, что к этому этапу была решена также проблема инструментального обеспечения соответствующих исследований. Возможности микроскопии, а точнее уже наноскопии, существенно расширились с появлением в 1986 году сканирующей атомно-силовой микроскопии. В результате к середине 80-х годов прошлого века были созданы материально-технические основы для второго этапа вторжения в необъятный мир обойденных величин, теперь уже действительно в наноразмерную область.

Эти годы характеризовались также тем, что были сделаны впечатляющие открытия в мире наноразмерных частиц. Среди них открытие фуллерена, нанотрубок, суператомов, синтез различных наноструктурированных материалов и т. д. Они в значительной степени повлияли на развитие интереса к нанобиологии, к необычным свойствам и формам существования частиц в этом мире. Приставка «нано-» стала весьма популяр-

ной. Обычными стали слова «нанонауки», «нанотехнологии», «нанохимия», «нанофизика» и т. д. Новые идеи стремительно проникли в минералогия (Наноминералогия, 2005; Askhabov, 2019). В ходу термин «наноминералогия», ставший символом нового этапа развития минералогической науки.

О новом мире обойденных величин

Все эти достижения хорошо освещены в литературе. Однако есть ещё один важный результат вторжения в наномир. Он был сформулирован нами как открытие «протоминерального мира» (Асхабов, 2018). Речь здесь о своеобразном мире наноразмерных частиц в минералообразующих средах, о которых предметно стали говорить в последнее время. С учетом ещё неоткрытых прогнозируемое их разнообразие может быть огромным. Это мир, в котором в конечном счете из этих частиц и происходит образование минералов. Оказалось, что в этом мире существуют не только обычные атомы, ионы, ионные пары, молекулы, ассоциаты, но и разнообразные в той или иной форме организованные частицы, переходные состояния, промежуточные формы, интермедиаты, кластеры, прекурсоры, фрагменты кристаллических структур, упоминаемые в работах автора кластеры «скрытой» фазы, или кватароны (Асхабов, 2019), и т. д. Если мир минералов — это мир существования минералов, то протоминеральный мир — это мир творения («зачатия») минералов, мир до первых минеральных наноиндивидов. Он очевидно важен для минералогии, для понимания предшествующих образованию минералов процессов. Возможно, там найдём ответ и на вопрос: почему минералов всего несколько тысяч? По аналогии с В. Оствальдом мы назвали протоминеральный мир «новым миром обойденных величин» (Асхабов, 2024).

Интересно, что объекты протоминерального мира вошли не только в современную минералогическую, но и физическую и химическую повестки. Мы реально имеем дело с целым новым миром для исследований. Предполагается, что именно в этом мире находятся ключи к пониманию многих вопросов мироздания. По крайней мере интеллектуальную привлекательность предлагаемого протоминерального проекта трудно оспаривать. Проект ориентируется на получение ответов на вопросы, не только как образуются минералы, но и почему они образуются, почему минералы именно такие, какие они есть?

Однако мы опять столкнулись с ситуацией, когда отсутствуют инструменты для прямого изучения объектов и процессов в протоминеральном мире. Мы на грани третьего этапа вторжения в глубины наномира. В этом плане определенные надежды возлагались на построенный в Германии с участием России лазер на свободных электронах. Он предназначен для изучения в деталях процессов взаимодействия атомов. Эта проблема, которая вышла на передний край науки после знаменитых экспериментов А. Зивейла с использованием фемтосекундной спектроскопии (Нобелевская премия по химии за 1999 г.), когда впервые удалось зафиксировать переходные состояния из атомов в процессе образования ими молекул и отслеживать движение отдельных атомов в молекулах при химических реакциях. Ж. Мур и Д. Стрикленд, разработавшие метод



генерации фемтосекундных лазерных импульсов, в 2018 году были удостоены Нобелевской премии по физике.

Сейчас задача наблюдения за процессами образования и эволюции кватаронов и других протоминеральных частиц стала гораздо ближе к решению в связи с разработкой способов получения аттосекундных световых импульсов (Нобелевская премия по физике 2023 года — П. Агостини, Ф. Краус, А. Л'Юилье). Премия присуждена за создание инструментов для исследования динамики электронов внутри атомов и молекул, что, безусловно, должно открыть путь и для изучения динамики атомов в «живых» кластерах и других разнообразных частицах в протоминеральном мире. И тогда пока ещё неведомый «новый мир обойденных величин» станет доступным для исследования, понимания и использования.

Заключение

Книга В. Оствальда «Мир обойденных величин», положившая начало физическому, химическому, минералогическому вторжению в мир микро- и наноразмерных объектов, безусловно, относится к числу выдающихся произведений. Она на многие десятилетия задала магистральные направления развития не только физической (коллоидной) химии, но и целого ряда смежных областей науки, в том числе и минералогии. Она и сейчас, через сто лет, продолжает воздействовать на наши умы, заставляя искать новые «обойденные» объекты в мире обойденных величин, открывать новые уровни и инструменты их исследования и практического использования. Эта небольшая книга Вольфганга Оствальда навсегда изменила понимание и восприятие нами микро-, а затем и наномира.

Работа выполнена в рамках госзадания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Литература / References

Асхабов А. М. Новый этап минералогического вторжения в "мир обойденных величин": открытие протоминерального мира // 200 лет РМО: Материалы юбилейного съезда Российского минералогического общества. 2018. СПб., Т. 2. С. 3—5.

Askhabov A. M. A new stage of mineralogical invasion into the "world of neglected dimensions": discovery of the protomineral world. 200 years of RMS: Proceedings of the anniversary congress of the Russian Mineralogical Society, 2018, St. Petersburg, V. 2, pp. 3—5. (in Russian)

Асхабов А. М. О свойствах предзародышевых (протоминеральных) кластеров // ДАН. 2019. Т. 487. № 5. С. 524—574. DOI: 10.31857/S0869-56524875524-527

Askhabov A. M. Properties of pre-embryonic (protomineral) clusters // Doklady Earth Sciences, 2019, V. 487, No. 5, pp. 524—574. (in Russian)

Асхабов А. М. Протоминеральный мир — новый мир обойденных величин // ЗРМО. 2024. № 1. С. 3—11. DOI: 10.31857/S0869605524010018

Askhabov A. M. Proto-mineral world — a new world of neglected dimensions. Proc. RMS, 2024, No. 1, pp. 3—11. (in Russian)

Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества / Отв. ред.: Н. П. Юшкин, А. М. Асхабов, В. И. Ракин. СПб.: Наука, 2005. 581 с. Nanomineralogy. Ultra- and microdispersed state of mineral matter. Eds.: N. P. Yushkin, A. M. Askhabov, V. I. Rakin. St. Petersburg: Nauka, 2005, 581 p. (in Russian)

Оствальд В. Мир обойденных величин: Введение в современную коллоидную химию с обзором её приложений. М.: Мир, 1923. 228 с.

Ostwald V. The world of neglected dimensions. Introduction to modern colloidal chemistry with a review of its applications. Moscow: Mir, 1923, 228 p. (in Russian)

Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. М.: Изд-во АН СССР, 1936. 140 с.

Chukhrov F.V. Colloids in the earth's crust. Moscow: AS USSR, 1936, 140 p. (in Russian)

Askhabov A. M. Mineralogical Breakthrough into nanoworld: results and challenges. Springer. Proceedings in Earth and Environmental Sciences, 2019, P. 33—36.

Поступила в редакцию / Received 31.05.2024



Силурийские строматопороидеи Урала: уникальная коллекция О. В. Богоявленской

Silurian stromatoporoids of the Urals: a unique collection by O. V. Bogoyavlenskaya

A unique collection of Silurian stromatoporoids of the Urals by O. V. Bogoyavlenskaya arrived at the A. A. Chernov Geological Museum. The author of the collection is a recognized leader in the study of this group of fauna, the results of her research were included in the development of many regional stratigraphic schemes. A huge amount of factual material from the Silurian deposits of the Urals was collected for the first time in one collection, which now, after revision, replenished the funds of the Geological Museum of the IG FRC Komi SC UB RAS.

Строматопороидеи — вымершая группа ископаемых беспозвоночных животных. Известны с ордовика, а в силуре и девоне являлись основными рифостроителями. Широко распространены в силурийских отложениях Тимано-Североуральского региона и всего Уральского палеобассейна.

Долгое время значение строматопороидей для расчленения и корреляции толщ было довольно расплывчатым. Основа для практического использования этой группы фауны была заложена О. В. Богоявленской, известным уральским палеонтологом, доктором геолого-минералогических наук, профессором Уральского горного университета, которая всю жизнь посвятила изучению ископаемой фауны и была признанным лидером в области исследования строматопороидей.

По итогам исследований О. В. Богоявленской в 1973 году была издана монография «Силурийские строматопороидеи Урала». Это была первая для Уральского региона работа такого плана, результатом которой стала оригинальная таксономия строматопороидей, уточненное распространение по разрезу мно-



Рис. 1. Основоположник изучения уральских строматопороидей д. г.-м. н., профессор О. В. Богоявленская

Fig. 1. Founder of the study of Ural stromatoporoids, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor O. V. Bogoyavlenskaya

гочисленных представителей этой группы организмов, значительное повышение их стратиграфического и корреляционного потенциала.

Работа эта базировалась на огромном фактическом материале, собранном в разрезах силурийских отложений по всему Уралу. Кроме сборов О. В. Богоявленской был привлечен материал палеонтологов Уральского геологического управления (г. Екатеринбург). Эти обширные сборы были оформлены в уникальную палеонтологическую коллекцию, которая в нынешнем году, после ревизии таксономического состава, была передана в Геологический музей им. А. А. Чернова ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 990).

Коллекция состоит из 603 ориентированных шлифов ценостеумов строматопороидей, содержит голо-типы 14 видов (1973 г.), имеющих большое значение для стратиграфии силура: *Rosenella densa* Bogoyavlenskaya, *Ecclimadictyon explanatum* Bogoyavlenskaya, *Stellodictyon crassum* Bogoyavlenskaya, *Stellodictyon arcuatum* Bogoyavlenskaya, *Stellodictyon densum* Bogoyavlenskaya, *Stellodictyon inquam* Bogoyavlenskaya, *Gerronodictyon incisives* Bogoyavlenskaya, *Simplexodictyon podolicum* Bogoyavlenskaya, *Simplexodictyon perperum* Bogoyavlenskaya, *Gerronostroma magnificum* Bogoyavlenskaya, *Plectostroma abrupta* Bogoyavlenskaya,

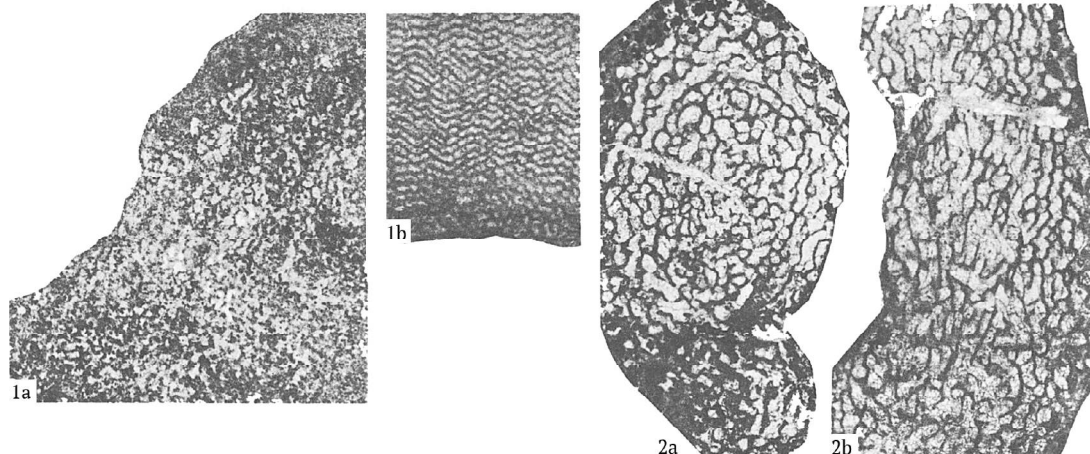


Рис. 2. Голотип *Ecclimadictyon explanatum* Bogoyavl., № 990/22, фото 1973 г.

Fig. 2. Holotype *Ecclimadictyon explanatum* Bogoyavl., No. 990/22, photo from 1973



Рис. 3. Силурийские породы со строматопороидеями *Ecclimadictyon explanatum* Bogoyavl. на Приполярном Урале (р. Кожым, обн. 229)

Fig. 3. Silurian rocks with stromatopores *Ecclimadictyon explanatum* Bogoyavl. in the Subpolar Urals (Kozhym River, outcrop 229)

Syringostromella minima Bogoyavlenskaya, *Syringostromella subcylindrica* Bogoyavlenskaya, *Parallelostroma parvum* Bogoyavlenskaya.

Кроме голотипов в коллекции содержатся группы шлифов для иллюстрации внутривидовой изменчивости, что делает ее незаменимой для корреляции, изучения эволюции и происхождения видов строматопороидей и влияния условий окружающей среды на эту группу фауны.

Образцы этой коллекции в свое время нашли достойное применение при разработке трех поколений

унифицированных и корреляционных схем Урала по силуру.

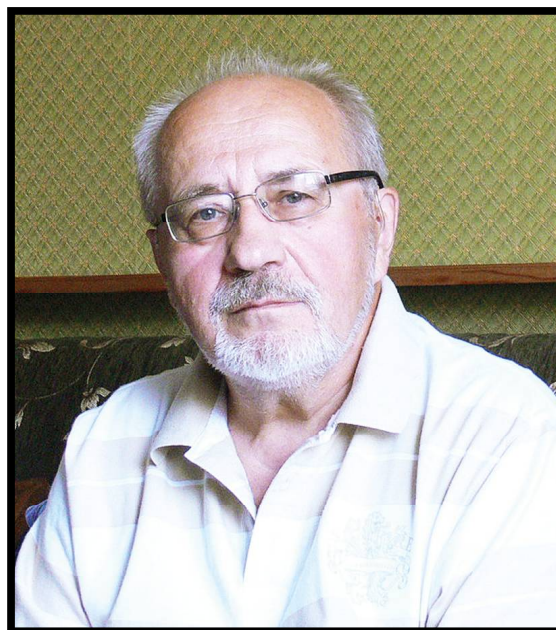
В настоящее время эти сборы имеют большое значение не только как научный материал, но и как историческая ценность золотого века геологии. Подобные образцы не теряют своей актуальности и сегодня, обращение к ним позволяет отвечать как на довольно частные прикладные вопросы, так и на вопросы фундаментального характера.

К. г.-м. н. Е. В. Антропова

Главный геолог Урала. Памяти Виктора Николаевича Пучкова (17.08.1938–24.08.2024)

Chief Geologist of the Urals. In Memory of Viktor Nikolaevich Puchkov (17.08.1938–24.08.2024)

On August 24, 2024, at the age of 86, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences Viktor Nikolaevich Puchkov – a world-famous specialist in the field of tectonics, geodynamics, stratigraphy and metallogeny of the Urals, passed away. V. N. Puchkov was one of the first in our country to implement ideas of the neomobilism and made a great contribution to new ideas on the geodynamic evolution of the Urals. He is the author and co-author of more than 700 scientific papers, including 50 monographs and separate publications. His fundamental works "Bathyal Complexes of Passive Margins of Geosynclinal Regions", "Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals", "Geology of the Urals and the Cis-Urals" are reference books for many specialists in the field of tectonics and geodynamics, stratigraphy and metallogeny. Blessed memory of V. N. Puchkov will forever remain in the hearts of all who knew this great Ural geologist.



24 августа 2024 г. ушел из жизни выдающийся уральский геолог, член-корреспондент РАН Виктор Николаевич Пучков. Это огромная утрата не только для родных, друзей и коллег, но и для всего уральского научного сообщества, многих отечественных и зарубежных специалистов в области наук о Земле. Для коллектива Института геологии Коми НЦ УрО РАН Виктор Николаевич является особенно близким чело-

веком. Именно в наш институт он поступил на работу в 1960 г. после окончания геологического факультета Московского государственного университета. Здесь он сделал первые самостоятельные шаги в геологических дебрях Приполярного и Полярного Урала и быстро вырос в авторитетного специалиста в области региональной геологии и геотектоники. В стенах нашего института он подготовил кандидатскую диссертацию на те-



му «Структурные связи Приполярного Урала и Русской платформы», которую успешно защитил в 1970 г. Здесь же Виктор Николаевич предпринял глубокую переоценку уральского материала на основе вновь развиваемых тектонических концепций неомобилизма и показал, что основная часть западного склона Урала, которая считалась типичным примером миогеосинклинали, развивалась как платформа или пассивная окраина континента с начала ордовика и лишь в конце палеозоя претерпела складчатость. Его работы 60–70-х годов в области тектоники северной части и других районов Урала внесли большой вклад в формирование новых представлений о геодинамической эволюции Урала и в построение первой Тектонической карты Урала на мобилистской основе (м-б 1:1 000 000, 1976 г.).

В 1974 г. В. Н. Пучков перешел на работу в Институт геологии и геохимии Уральского НЦ АН СССР, где продолжил начатые ранее исследования в качестве руководителя лаборатории региональной геологии и геотектоники и в 1978 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Краевые батияльные комплексы Урала и их аналоги».

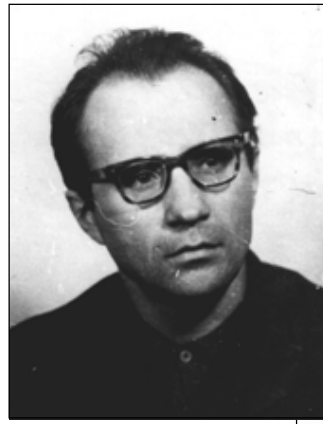
За время работы в Сыктывкаре, затем в Свердловске (Екатеринбурге) и позднее в течение почти 30-ти лет в Уфе в Институте геологии Уфимского НЦ РАН (в т. ч. с 1991 по 2016 г. в должности директора) В. Н. Пучков, по словам одного из его ближайших соратников, сделал столько же для Урала, сколько целый институт. Он получил всемирную известность как крупнейший знаток геологии региона. Его фундаментальные работы «Батияльные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей», «Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала», «Геология Урала и Приуралья» являются настольными книгами для многих специалистов в области тектоники и геодинамики, стратиграфии и металлогении. Эти монографии В. Н. Пучкова и многие другие его публикации также служат важнейшим источником знаний для начинающих геологов.

В последние годы В. Н. Пучков активно развивал новое для Урала, да и других складчатых субдукционно-коллизионных поясов направление исследований в области плюм-тектоники, особое внимание обращая на взаимосвязь плитотектонических и плюмовых процессов. Эти очень перспективные разработки, несо-



Российско-американская экспедиция на р. Щугер, август 1992 г.

Russian-American expedition to the Shchuger River, August 1992



В. Н. Пучков — первый лауреат премии Коми комсомола в области науки и техники, 1968 г.
V. N. Puchkov— the first laureate of the Komi Komsomol Prize in Science and Technology. 1968



На реке Илыч, 1962 г.
On the Ilych River. 1962



На международном конгрессе в Кракове по каменноугольной и пермской системам. В. Н. Пучков, А. И. Антошкина. 1995 г.

At the International Congress on the Carboniferous and Permian Systems in Krakow. V. N. Puchkov, A. I. Antoshkina. 1995



В. Н. Пучков на очередном заседании диссертационного совета Д004.008.02 в ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2006 г.

V. N. Puchkov at the regular meeting of the dissertation council D004.008.02 at the Institute of geology Komi SC UB RAS. 2006



Симпозиум по раннему палеозою. В. Н. Пучков, Ю. И. Пыстина. Анкара, Турция, 2001 г.
Symposium on the Early Paleozoic. V. N. Puchkov, Yu. I. Pystina. Ankara, Turkey, 2001



На приёме у губернатора Свердловской области Э. Э. Росселя. 70-летие УрО РАН. Екатеринбург, 2002 г.
At a reception with the Governor of the Sverdlovsk Region E. E. Rossel. 70th Anniversary of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Yekaterinburg, 2002



Член-корреспондент РАН В. Н. Пучков и академик Н. П. Юшкин на 33-м Международном геологическом конгрессе в г. Осло, 2008 г.
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences V. N. Puchkov and Academician N. P. Yushkin at the 33rd International Geological Congress in Oslo, 2008



Объединенная ассамблея Европейского союза геонаук, Европейского и Американского геофизических обществ. В. Н. Пучков, Н. П. Юшкин, А. М. Пыстин. Ницца, 2003 г.
European Geosciences Union - European Geophysical Society - American Geophysical Society Joint Assembly. V. N. Puchkov, N. P. Yushkin, A. M. Pystin. Nice, 2003

менно, будут продолжены его последователями и должны привести к появлению новой геодинамической модели развития Урала.

Север Урала и Тиман, Сыктывкар и Институт геологии Коми НЦ УрО РАН для Виктора Николаевича оставались близкими и после его переезда в Свердловск и Уфу. Он продолжал участвовать в экспедиционных работах в нашем регионе, в работе научных конференций, проводимых нашим институтом, в редактировании и экспертной оценке статей, монографий и дис-

сертаций наших сотрудников, был членом редакционных советов журналов «Вестник геонаук» и «Известия Коми НЦ». Сразу после выхода из печати, пожалуй, своего главного научного труда – монографии «Геология Урала и Приуралья» — он при полном аншлаге презентовал ее на Геологическом семинаре нашего института. В институте много почитателей научного таланта Виктора Николаевича, многие считают его своим учителем. Для многих из нас он был и остается Главным геологом Урала.

Д. г.-м. н., профессор А. М. Пыстин

Редакторы издательства:

О. В. Габова, К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка

Т. В. Хазовой

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 30.09.2024. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6,5. Тираж 140. Заказ 1233. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru
На обложке использованы фото П. Безносова, А. Перетягина, Н. Уляшевой, А. Иевлева, Н. Сокеиной