

Научная статья

УДК 551.733(470.52)

DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-5

ОСНОВНЫЕ СОБЫТИЯ ОРДОВИКА-СИЛУРА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ СОБЫТИЙНОЙ СТРАТИГРАФИИ

Р. Р. Якупов

Институт геологии — обособленное структурное подразделение

Федерального государственного бюджетного научного учреждения

Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН),

jakupov@ufaras.ru 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, <https://orcid.org/0000-0001-7135-1746>

Основные региональные абиотические события ордовика и силура Южного Урала проявляются в перестройке осадконакопления в палеобассейне. Эвстатические колебания и тектонические воздействия в первую очередь вызывают изменения литологического состава толщ. Геохимические события влияют на изотопный состав элементов.

Биотические события отражаются на биоразнообразии в комплексах микро- и макрофауны. Крупнейшим из пяти вымираний фанерозоя было глобальное событие вымирания на границе ордовика и силура (LOME). Ордовикское биотическое событие диверсификации (GOBE) разделяется на три этапа. На Южном Урале отмечается дарривильский уровень проявления этого события.

Обосновано нахождение в разрезах Южного Урала глобальных биотических событий GOBE, LOME, и геохимического события NICE. На основе анализа связи биотических и абиотических событий ордовикско-силурийских отложений Южного Урала выявлена существенная роль конодонтов, граптолитов, хитинозой и их корреляционный потенциал. Недостаточная изученность разрезов позволяет коррелировать региональные события с некоторыми допущениями.

Для проведения глобальных событийных корреляций кроме комплексной биостратиграфической характеристики ордовикских и силурийских отложений Южного Урала необходимы геохимические исследования ряда разрезов. Наиболее перспективными на выявление событийных уровней являются разрезы западного борта Зилаирского синклиория Набиуллино, Максютново, Гремячий, Кага-В.Авзян, Серменево.

Ключевые слова: ордовик, силур, биотические события, абиотические события, Южный Урал

Благодарности: Автор выражает глубокую признательность научному сотруднику лаборатории стратиграфии палеозоя ИГ УФИЦ РАН Мавринской Т.М. за неоценимую помощь в изучении ордовикских и силурийских конодонтов Южного Урала и ценные замечания к статье. Публикация выполнена по государственной программе «Фундаментальные исследования. Основные события фанерозоя: палеонтология, стратиграфия, корреляция». Код (шифр) научной темы FMRS-2022–0010.

Original article

MAIN ORDOVICIAN-SILURIAN EVENTS IN THE SOUTH URAL AND EVENT STRATIGRAPHY REGIONAL TASKS

R. R. Yakupov

*Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of
Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, Russia, jakupov@ufaras.ru*

Для цитирования: Р. Р. Якупов. Основные события ордовика-силура на Южном Урале и региональные задачи событийной стратиграфии // Геологический вестник. 2023. № 3. С. 49–58. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-5

For citation: R. R. Yakupov (2023) Main Ordovician-Silurian events in the South Ural and event stratigraphy regional tasks. *Geologicheskii vestnik*. 2023. No. 3. P. 49–58. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-5

© Р. Р. Якупов, 2023

The main regional abiotic events of the Ordovician and Silurian of the Southern Urals are manifested in the restructuring of sedimentation in the paleobasin. Eustatic fluctuations and tectonic motions primarily cause changes in the lithological composition of strata. Geochemical events influence the isotopic composition of elements.

Biotic events affect biodiversity in micro- and macrofauna complexes. The largest of the five Phanerozoic extinctions was the global extinction event at the Ordovician — Silurian boundary (LOME). The Ordovician biotic diversification event (GOBE) is divided into three phases. The Darrivillian level of manifestation of this event is noted in the Southern Urals.

The location of the global biotic events GOBE, LOME, and the geochemical event HICE in the sections of the Southern Urals is substantiated. Based on the analysis of the connection between biotic and abiotic events in the Ordovician-Silurian deposits of the Southern Urals, the significant role of conodonts, graptolites, chitinosoans and their correlation potential were revealed. Insufficient knowledge of the sections makes it possible to correlate regional events with certain assumptions.

In order to carry out global event correlations, in addition to the comprehensive biostratigraphic characteristics of the Ordovician and Silurian deposits of the Southern Urals, geochemical studies of a number of sections are necessary. The most promising sections for identifying event levels are the sections of the western slope of the Zilair synclinorium: Nabiullino, Maksyutovo, Gremyachiy, Kaga-V.Avzyan, Sermenevo.

Keywords: Ordovician, Silurian, biotic events, abiotic events, South Ural

Acknowledgements: The author expresses deep gratitude to the research fellow at the Laboratory of Paleozoic Stratigraphy of the Institute of Geology, UFRS RAS, T. M. Mavrinskaya, for invaluable assistance in the study of Ordovician and Silurian conodonts of the Southern Urals and valuable comments on the article. The work was carried out in accordance with the plans of research work of the IG UFRS RAS on the topics of state assignments FMRS-2022–0010.

Введение

Событийная стратиграфия — мультидисциплинарный метод, который опирается на изучение событий в геологических разрезах и их применение в качестве опорных хронологических рубежей с целью проведения региональных и глобальных корреляций. Событие — отраженное в геологической летописи кратковременное или катастрофическое прерывание протяженного геологического процесса. Иногда событие рассматривается как некоторый хронологический интервал [Ruban, 2010]. События подразделяются на биотические, связанные с видимыми изменениями в разнообразии биоты, и абиотические, определяемые по геологическим маркерам (зачастую биотические события являются следствием абиотических). По географическому признаку выделяются региональные и глобальные события. Большинство геологических событий распознаются как крупные региональные перестройки условий осадконакопления [Корень, 2000].

В фанерозое, на основании подсчета статистических данных по семействам морских позвоночных и беспозвоночных, Дж. Сепкоски выделил 5 крупнейших вымираний биоты — позднеордовикское, позднепермское, позднетриасовое, позднемеловое и, дополнительно, менее

выраженное — позднедевонское [Raup, Sepkoski, 1982]. Великие вымирования морских организмов, в большей части связаны с эвстатическими колебаниями [Hallam, Wignall, 1999]. Выявленные по макрофауне, они отображались и в микрофауне. Во время известных геологических событий происходила быстрая глобальная перестройка геологических обстановок и связанных экосистем, что и позволило выделять вымирования как глобальные биотические события, с возможностью выделения глобальных коррелятивных уровней [Goldman et al., 2020].

Увеличение разнообразия — взрывная радиация организмов, тоже рассматривается рядом авторов как биотическое событие [Nowak et al., 2015; Stigall et al., 2019]. В фанерозое выделяют четыре главных биотических события радиации биоты: раннекембрийская, ордовикская, раннедевонская и среднепермская [Ruban, 2010]. Восстановление биоразнообразия после великих вымираний, при этом, событием не считается [Rong and Harper, 1999]. На Южном Урале известны находки губок, которые пережили Великое ордовикское вымирание в глубоководных условиях [Botting, Yakupov, 2019] и послужили основой для восстановления раннесилурийского биоразнообразия.

Изучение абиотических событий на Южном Урале находится на начальном этапе. Палео-

геомагнитные события для ордовика и силура установить сложно из-за регионального пермского перемагничивания [Голованова и др., 2022].

Глобальные геохимические события в ордовике и силуре прослежены по изотопам $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ [Goldman et al., 2020].

На уровне границ местных стратонов, которые выявляют перестройку в региональном осадконакоплении, в ряде случаев можно увидеть отражение глобальных событийных уровней. На современном этапе исследований пока недостаточно данных для уверенной корреляции глобальных и региональных событийных уровней ордовикско-силурийского палеобассейна Южного Урала. Такая корреляция проводится с некоторыми допущениями.

Геологическая характеристика

В нижнем палеозое происходило формирование и углубление Уральского палеоокеанического бассейна [Пучков, 2000]. Палеозойские отложения Южного Урала установлены во всех структурно-формационных зонах (СФЗ) (рис. 1). На западном склоне Южного Урала они известны со среднего ордовика и с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на разных уровнях докембрия (рис. 2). В Курагано-Сакмарской зоне палеозойские отложения начинаются с кембрия и показывают последовательное углубление палеобассейна к девону с проявлениями глубоководного вулканизма.

Ордовикские отложения Сакмарской зоны представлены кремнисто-туфогенными отложениями кураганской и вулканитами губерлинской, баулусской свит [Рязанцев и др., 2008]. Наиболее ярко вулканическая активность проявилась в раннем силуре, в это время здесь образовались базальты дергайшской свиты. Седиментация в Магнитогорском мегасинклинории началась в среднем ордовике с проявления вулканической активности, когда была сформирована поляковская свита [Маслов и др., 1993] или поляковский комплекс [Рязанцев и др., 2008].

Осадконакопление на западном склоне Южного Урала начинается со среднего ордовика, эти отложения наиболее полно представлены мощными терригенно-кремнистыми отложениями в Восточнозилайрской зоне и зоне Уралтау [Мавринская, Якупов, 2016]. Формирование толщ ордовика, произошло в результате раскрытия палеоуральского океана [Краузе, Маслов, 1961],

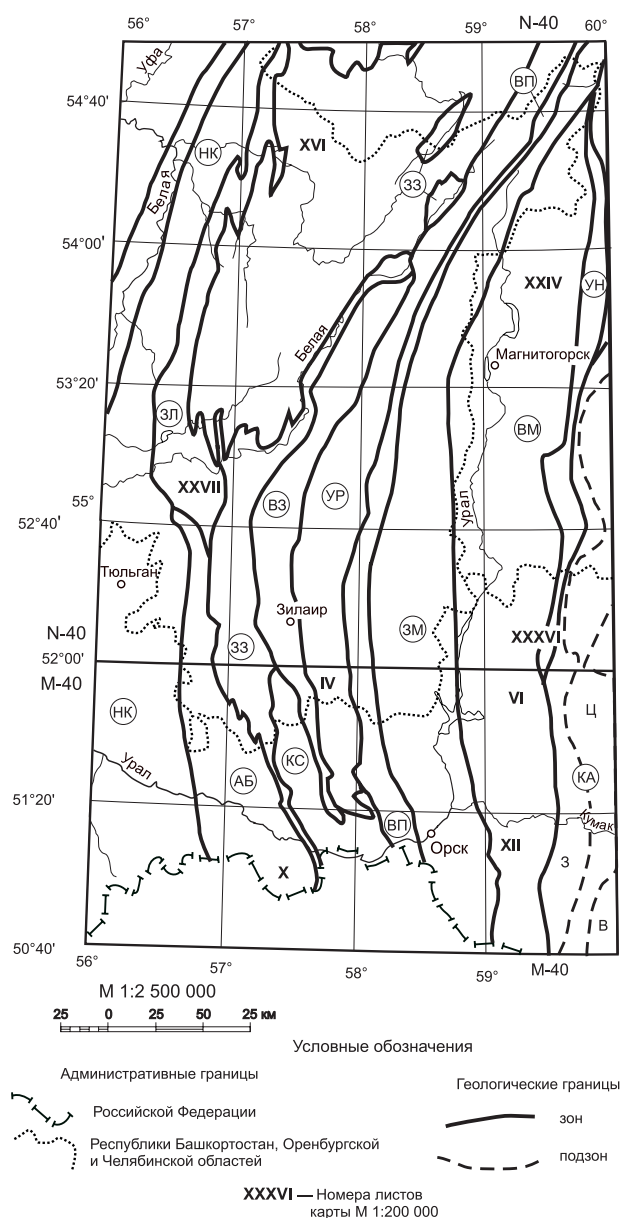


Рис. 1. Схема районирования территории Южно-уральской серии для образований палеозоя ГДП-200
 Зоны (буквы в кружках): НК — Никольско-Красноуольская; ЗЛ — Зилимо-Зиганская; АБ — Абзановская; ЗЗ — Западнозилайрская; КС — Курагано-Сакмарская; ВЗ — Восточнозилайрская; УР — Уралтауская; ВП — Вознесенско-Присакмарская; ЗМ — Западномагнитогорская; ВМ — Восточномагнитогорская; УН — Уйско-Новооренбургская; КА — Кочкарско-Адамовская (подзоны: З — Западная, Ц — Центральная, В — Восточная).

Fig. 1 Scheme of zoning of the territory of the Yuzhnouralsk series for Paleozoic formations GDP-200

Zones (letters in circles): NK — Nikolsko-Krasnousolskaya; ZL — Zilimo-Ziganskaya; AB — Abzanovskaya; ZZ — West Zilairskaya; KS — Kuragano-Sakmarskaya; VZ — East Zilairskaya; UR — Uraltau; VP — Voznesensko-Prisakmarskaya; ZM — West Magnitogorsk; VM — East Magnitogorsk; UN — Uysko-Novooorenburgskaya; KA — Kochkarsko-Adamovskaya (subzones: W — Western, C — Central, E — Eastern)

быстрого тектонического погружения и связанной с ним обширной трансгрессии [Пучков, 2000].

Эвстатические колебания выявлены в Западнозилаирской зоне в разрезе набиуллинской свиты по смене биофаций конодонтов. Здесь же можно проследить за регрессией в позднем ордовике по смене биофаций [Мавринская, Якупов, 2016]. На границе ордовика и силура выраженная трансгрессия проявляется литологически и по изменению конодонтовых и граптолитовых комплексов [Мавринская, 2011; Суяркова, Якупов, 2020].

Регрессия выявляется на границе лlandoверийского и венлокского отделов силура, когда терригенно-карбонатные отложения азнагуловской толщи сменяются мощной глинистой узьянской свитой. Последующая смена глубоководных обстановок в раннем силуре (узьянская свита) на шельфовые карбонаты в лудлове позднего силура (серменевская свита) хорошо отражается не только в смене литологии, но и по макро- и микрофауне [Якупов и др., 2002].

Фактический материал

Для выделения событийных уровней в работе использованы работы автора и коллег по стратиграфической приуроченности проявления глобальных событий в разрезах разных СФЗ Южного Урала.

Биотическое событие вымирания *Ceratopyge* в верхней части тремадокского яруса произошло в глобальном масштабе и затронуло бентосные сообщества, развитые в нижнем ордовике. На Южном Урале описано по трилобитам на границе колнабукского и куагачского горизонта Сакмарской зоны [Анцыгин, 2001]. Хорошо коррелирует с глобальным уровнем по вымиранию цератописигиевой фауны. Из-за отсутствия отложений этого интервала в других СФЗ Южного Урала не прослеживается.

Великое ордовикское событие диверсификации *GOBE* (Global Ordovician Biodiversification Event) (рис. 3) не является мгновенным и рассматривается как биотическое событие радиации, таксономической и морфологической диверсификации, разбитых на несколько этапов [Webby et al., 2004; Stigall et al., 2017; Servais and Harper,

система	отдел	ярус	Структурно-формационные зоны					
			Западнозилаирская	Восточнозилаирская	Уралтауская	Курагано-Сакмарская	Западно-Магнитогорская	Восточно-Магнитогорская
ОРДОВИКСКАЯ	Верхний	Хирнантский	Бактинская свита 600 м тирляно-кагинская толща набиуллинской свиты 60 м Песчаники кварцевые, конгломераты, известковистые алевролиты, доломиты и доломитовые песчаники	Сухолядская толща до 900 м кремнистые алевролиты, ритмичное переслаивание алевролитов, тонкозернистых песчаников кварцевых и глинистых алевролитов, кремнистые аргиллиты	Белекейская толща до 1200 м ритмичное переслаивание толстоплитчатых песчаников кварцевых, среднеплитчатых кварцево-сланцевых, слюдяно-сланцевых песчаников, слюдяно-кварцевых алевролитов и слюдяно-сланцев	Баулусская свита до 1500 м базальты, долериты, оливиновые пикритовиды с прослоями аргиллитов и яшмоидов	Поляковская свита (толща) до 2000 м кремнистые алевролиты, ритмичное переслаивание алевролитов, тонкозернистых песчаников кварцевых и глинистых алевролитов, кремнистые аргиллиты	
		Катийский						
		Сандбийский						
	Средний	Дарри-вильский			Кураганская свита до 1000 м алевропесчаники аргиллиты	Дубоводольская свита до 1000 м алевролиты, аргиллиты		
		Дапинский						
		Флоский						
	Нижний	Тремадокский			Кидрясовская свита (верх) до 1000 м аркозовые и полимиктовые песчаники с прослоями гравелитов, алевролитов, аргиллитов			
							Новооренбургская толща до 600 м серицито-углисто-кварцевые сланцы	

Рис. 2. Сопоставление ордовикских отложений Южного Урала

Fig. 2. Comparison of Ordovician deposits of the Southern Urals

2018]. Рассматривая продолжительность, структуру и движущие силы биодиверсификации, Servais and Harper [2018] выделили три фазы GOBE:

1) планктонная революция, возникшая в позднем кембрии и продолжившаяся в раннем ордовике. Сюда включается взрывное распространение граптолитов [Servais and Harper, 2008].

2) диверсификация придонных биосообществ, охватившая период от позднего тремадока до сандбийского яруса. Максимальное увеличение биоразнообразия приходится на основание дарривильского яруса, когда планктонные организмы массово заселяют новые экологические ниши и проникают даже в мелководные сообщества. Процесс диверсификации достиг максимума к катийскому ярусу позднего ордовика [Webby et al., 2004; Harper, 2006].

3) средне-позднеордовикская радиация рифостроительных организмов [Webby et al., 2004].

На Южном Урале GOBE проявляется в раннедарривильское время массовым появлением на одном уровне в разрезах Западно-, Восточнозилаирской и Курагано-Сакмарской зон планктонных организмов (граптолитов, конодонтов и хитинозой) [Якупов, 2011] и определяется по появлению глубоководных таксонов в основании дарривиллия среднего ордовика. В это время происходит резкое увеличение численности и так-

сономического разнообразия фауны конодонтов и хитинозой. Появляются и распространяются конодонты родов *Periodon*, *Prioniodus*, *Pygodus*, *Drepanoistodus*, *Protopanderodus* [Мавринская, Якупов, 2016]. Относительный размер хитинозой существенно увеличивается, что может говорить о холодноводной обстановке в Южноуральском палеобассейне и о повышении содержания кислорода в воде [Якупов, 2018; Якупов и др., 2018]. В нижней части сухоядской толщи Восточнозилаирской зоны [Якупов и др., 2002] и в белекейской свите зоны Уралтау [Якупов, 2008] комплексы хитинозой в основании дарривильского яруса наиболее представительны и встречаются массово. Совместное с ними нахождение конодонтов и граптолитов в мощных терригенных отложениях континентального склона [Мавринская, Якупов, 2016] позволяет рассматривать этот уровень как распространение глубоководной фауны в ранее незаселенные ареалы и новые экологические ниши, то есть об увеличении экологического разнообразия. Массовое появление различных нектонных и планктонных организмов (конодонтов, хитинозой, граптолитов), наблюдаемое в разрезах дарривильского яруса среднего ордовика в Восточнозилаирской зоне является региональным проявлением глобального события диверсификации GOBE.

Начиная с дапинского яруса отмечается изменения в составе конодонтовых комплексов, где появляются новые таксоны на родовом уровне [Мавринская, Якупов, 2016]. Растет биоразнообразие, но вычлнить биотические события пока не позволяет степень изученности разрезов.

Великое позднеордовикское вымирание LOME (Late Ordovician Mass Extinction)

Крупнейшее из пяти фанерозойских вымираний произошло в хирнантском веке позднего ордовика [Sheehan, 2001]. Его связывают с катастрофическим изменением климата, оледенением, наиболее ярко проявленном в Северо-Гондванской провинции (тиллиты и диамиктиты в отложениях позднего ордовика современной Южной Америки, Ближнего Востока и Африки). С этим событием непосредственно связано геохимическое событие положительного экскурса $\delta^{13}\text{C}$ NICE (Hirnantian Isotope Carbon Excursion) [Goldman et al., 2020].

В разрезе западного склона Южного Урала у д. Набиуллино, в котором изучены комплексы конодонтов из отложений верхов сандбийского яруса, катийского и хирнантского ярусов зафиксирована положительная аномалия $\delta^{13}\text{C}$ с максимумом до 3,3‰, связанная с глобальным хирнантским

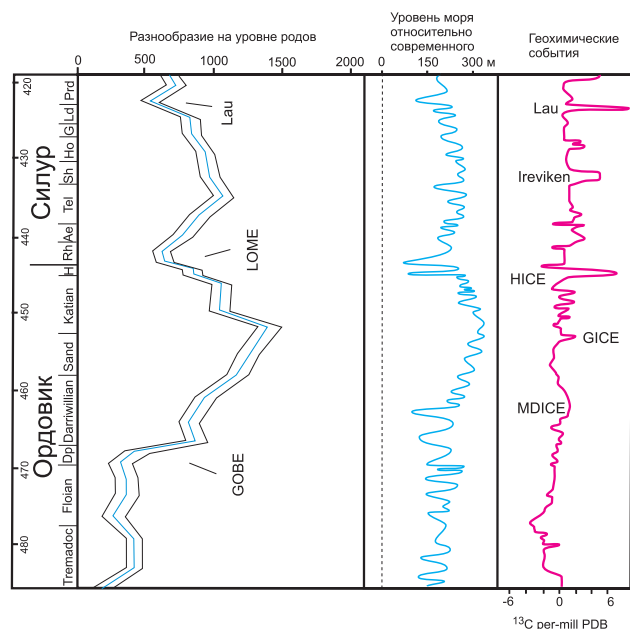


Рис. 3. Кривые биоразнообразия, колебаний уровня моря и изменения изотопного состава углерода для ордовика и силура [Rasmussen et al. 2019]

Fig. 3 Ordovician-Silurian biodiversity, sea level, and carbon isotopic change curves [Rasmussen et al. 2019]

изотопным событием НІСЕ и отражающая глобальное гляциоэвстатическое событие. Положительная аномалия фиксирует начало хирнантского яруса в терригенно-карбонатном разрезе верхнего ордовика на Южном Урале и совпадает с появлением хирнантского вида конодонтов *Gamachignathus ensifer* и появлением мелководной биофацции *Aphelognathus-Ozarkodina* [Якупов и др., 2018]. Конодонты, встреченные в верхнем интервале разреза Набиуллино, представлены выжившими, преимущественно кониформными видами: *Panderodus*, *Pseudooneotodus*, *Drepanodus*, *Walliserodus* а также рамиформными *Oulodus* и *Ozarkodina*. Выше по разрезу наблюдается появление черных углисто-кварцевых алевролитов (что говорит об углублении бассейна и аноксидных условиях) с граптолитами зоны *post-persculptus/pre-ascenus*, которые предположительно соответствуют самым верхам хирнантского яруса. Граница с силуром находится стратиграфически выше и не выделяется литологически, так как перекрывающие породы не вскрыты [Суяркова, Якупов, 2020]. Комплекс граптолитов переходной зоны *post-persculptus/pre-ascenus* представлен переходными и узкоспециализированными видами, что, наряду с резкой сменой литофаций и аноксидной обстановкой, позволяет предполагать здесь уровень проявления Великого хирнантского вымирания LOME.

В ряде разрезов силура Южного Урала на границе лландоверийского и венлокского ярусов, где отмечается резкое обеднение фауны, ярко выражено изменение в таксономическом разнообразии конодонтов и граптолитов [Якупов, Суяркова, 2009; Мавринская, 2011]. Практически полностью исчезают лландоверийские таксоны. В разрезах происходит литологическая смена черных битуминозных известняков, обогащенных органическими остатками, глинистыми сланцами узянской свиты. На этом уровне во многих регионах мира распознается Иревикенское событие массового вымирания конодонтов и трилобитов.

Обсуждение фактического материала и выводы

Наиболее перспективными для изучения био- и абиотических событий ордовика-силура являются разрезы на западном склоне Южного Урала, представленные терригенно-карбонатными отложениями.

Геохимические события — положительные экскурсии $\delta^{13}\text{C}$.

Среднедарривилльское геохимическое событие (Mid Darriwillian carbon isotope excursion — MDICE) на Южном Урале трудно выявить из-за отсутствия карбонатных разрезов этого интервала.

Гуттенбергское геохимическое событие положительного экскурса $\delta^{13}\text{C}$ (Guttenberg carbon isotope excursion — GICE) на границе сандбийского и катийского ярусов. Специализированные исследования на поиск и обоснование GICE не проводились. В наиболее представительном разрезе Набиуллино хорошо обнажен и отмаркирован интервал, в котором могут быть найдены геохимические маркеры события положительного изотопного экскурса ($\delta^{13}\text{C}$).

Хирнантское изотопное событие положительного экскурса $\delta^{13}\text{C}$ (Hirnantian carbon isotope excursion — НІСЕ) [Якупов и др., 2018], для его обоснования наиболее перспективны разрезы Набиуллино и Максютново. Разрез Гремячий в Юрюзанской структуре тоже содержит интервал с фауной позднекатийского — хирнантского яруса, где есть вероятность найти первые положительные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$.

Позднеазронское изотопное событие и биособытие Сэндвик, которое известно на западном склоне Приполярного Урала [Безносова, Матвеев, 2022] может быть описано и на Южном Урале. В основании силурийской пачки разреза Максютново найден рамиформный элемент конодонтов *Pranognathus tenuis*. Для уверенной датировки и корреляции необходимо найти платформенный элемент этого вида. Азронские мелководные доломиты перекрываются глубоководными теличскими алевролитами с конодонтами и граптолитами [Суяркова, Якупов, 2020].

Биотические события — массовые вымирания, биотические кризисы и события радиации.

Великое позднеордовикское вымирание (LOME) может быть изучено в разрезах Набиуллино и Максютново. В Набиуллино в позднем ордовике (верхи хирнанта) в образцах конодонты перестают выпадать в верхней части доломитов. Выше доломиты перекрываются небольшой пачкой углисто-кремнистых алевролитов с граптолитами предположительно самых верхов хирнанта. В Максютново есть интервал, в котором пачка азронских и теличских доломитов с конодонтами и граптолитами налегает на ордовикские отложения. Требуется детальное изучение пограничных ордовикско-силурийских отложений для получения органических остатков и прослеживания позднеордовикского вымирания и последующего восстановления биоразнообразия.

Иревикенское событие вымирания конодонтов и трилобитов на границе лландоверийского и венлокского отделов силура и аналогичное биособытие Лау потребует изучения этого интервала в разрезах Кага-В. Авзян, Максютково, Кургашлы.

Макрофауна ордовика и силура позволяет определить максимумы биоразнообразия в развитии придонных сообществ Уральского палеоокеана. К таким сообществам можно отнести тремадокские и более поздние трилобитовые комплексы Сакмарской зоны [Анцыгин, 2001], позднеордовикские бентосные комплексы (трилобиты, раковинная фауна) из основания бактинской свиты [Якупов, 2014] и раннесилурийские черные известняки с трилобитами «азнагуловской» свиты [Якупов и др., 2002].

Микрофауна (конодонты и хитинозои) и граптолиты хорошо показывают сменяемость мелководных и глубоководных биофаций [Якупов и др., 2018], начальные этапы биодиверсификации [Якупов, 2011] и региональные проявления вымирания со сменой комплексов микро- и макрофауны [Якупов, Суяркова, 2009; Мавринская, 2011].

Для уверенной корреляции биотических и абиотических событий, сопоставления событийных уровней с глобальной эвстатической кривой и выяснения корреляционного потенциала региональных событий Южного Урала необходимо решить следующие задачи:

1) Комплексное изучение разрезов палеозоя с целью выделения биотических и абиотических событий и дальнейшее их применение для обоснования границ глобальных подразделений МСШ на Урале.

2) Актуализация зональных шкал разрезов палеозоя по пелагическим группам фауны (конодонтам, граптолитам) и разработка шкалы по хитинозоям для региональных и глобальных корреляций.

3) Определение границ региональных стратиграфических подразделений.

4) Обновление стратиграфических схем Южного Урала.

Остается актуальной проблема дальнейшего совершенствования Уральской региональной шкалы палеозойских отложений и увязка ее с международным стандартом (МСШ) [Маслов и др., 2008].

Список литературы

Анцыгин Н. Я. Тремадокские трилобиты Урала. Екатеринбург, 2001. 248 с.

Безносова Т. М., Матвеев В. А. Проявление поздне-аэронского события в разрезе силура на западном склоне приполярного Урала // Литосфера. 2022. Т. 22. № 5. С. 599–611. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-5-599-611

Голованова И. В., Данукалов К. Н., Сальманова Р. Ю. Позднепалеозойское перемагничивание — независимый индикатор протекания тектонических процессов на Южном Урале // Геологический вестник. 2022. № 2. С. 56–68. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-2-5

Краузе С. Н., Маслов В. А. Ордовик, силур и нижний девон западного склона Башкирского Урала. Уфа: Изд-во БФАН СССР, 1961. 94 с.

Корень Т. Н. Дополнение 2. Событийная стратиграфия/Дополнения к стратиграфическому кодексу России. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. С. 67–80.

Мавринская Т. М. Корреляция ордовикских отложений Южного Урала по конодонтовой фауне // Геологический сборник. 2011. № 9. С. 14–18.

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

Маслов В. А., Артюшкова О. В., Якупов Р. Р., Мавринская Т. М. Проблемные вопросы стратиграфии нижнего и среднего палеозоя Южного Урала // Геологический сборник. 2008. № 7. С. 193–204.

Маслов В. А., Черкасов В. Л., Тищенко В. Т., Смирнова И. А., Артюшкова О. В., Павлов В. В. Стратиграфия и корреляция среднепалеозойских вулканогенных комплексов основных медноколчеданных районов Южного Урала. Уфа: УНЦ РАН, 1993. 217 с.

Пучков В. Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.

Рязанцев А. В., Дубинина С. В., Кузнецов Н. Б., Белова А. А. Ордовикские структурно-формационные комплексы в аллохтонах Южного Урала // Геотектоника, 2008. № 5. С. 49–78.

Суяркова А. А., Якупов Р. Р. Граница ордовика и силура на Южном Урале: новые данные по граптолитам и ревизия определений прошлых лет (разрез Набиулло, Западно-Зилаирская СФЗ) // Труды палеонтологического общества. Том III. 2020. С. 64–79.

Якупов Р. Р. Хитинозои из метаморфических комплексов Уралтау (Южный Урал) // Новости палеонтологии и стратиграфии Приложение к журналу “Геология и геофизика”. Т. 49, вып. 10–11. 2008. С. 184–187.

Якупов Р. Р. Развитие пелагической фауны (хитинозои, конодонты, граптолиты) в раннедарривилских бассейнах западного склона Южного Урала // Темпы эволюции органического мира и биостратиграфия. Материалы LVII сессии палеонтологического общества (5–8 апреля). Санкт-Петербург, 2011. С. 140–141.

Якупов Р. Р. Стратотип бактинской свиты ордовика на территории Южно-Уральского заповедника // Труды Южно-Уральского государственного природного заповедника. Вып. 2. Уфа: Гилем, Башкирская энциклопедия, 2014. С. 176–185.

Якупов Р. Р. Биотическое событие GOBE в разрезах ордовика Южного Урала // Труды XVII Всероссийского Микрорепалеонтологического совещания «Современная микрорепалеонтология — проблемы и перспективы» (Казань, 24–29 сентября 2018 г.). М.: ПИН РАН, 2018. С. 546–550.

Якупов Р. Р., Мавринская Т. М., Абрамова А. Н. Палеонтологическое обоснование схемы стратиграфии северной части Зилаирского синклиория. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2002. 160 с.

Якупов Р. Р., Мавринская Т. М., Смолева И. В. Положительная аномалия $\delta^{13}\text{C}$ в хирнантском ярусе разреза Набиулдино (Южный Урал) // Доклады Академии наук. 2018. Т. 478. №6. С. 679–682. Doi: 10.7868/s0869565218060130

Якупов Р. Р., Суяркова А. А. Позднелландоверийские отложения западного склона Южного Урала и их корреляция по граптолитам // Палеонтология и совершенствование стратиграфической основы геологического картографирования. Материалы LV сессии Палеонтологического общества, 2009. С. 171–172.

Botting J. P., Yakupov R. *Acutipuerilis* and other non-lithistid sponges from the early Silurian of the Southern Urals, Russia // GFF. 2019. Vol. 141. Issue 3. P. 191–199. DOI: 10.1080/11035897.2019.1621375

Goldman D., Sadler P. M., Leslie S. A., Melchin M. J., Agterberg F. P., Gradstein F. M. Chapter 20 — The Ordovician Period // Geologic Time Scale, 2020. V. 2. Ch. 20–21. P. 631–725. DOI: 10.1016/B978-0-12-824360-2.00020-6

Hallam A., Wignall P. B. Mass extinctions and sea-level changes // Earth-Science Reviews. 1999. Vol. 48. Issue 4. P. 217–250. Doi: 10.1016/S0012-8252(99)00055-0

Harper D. A. T. The Ordovician biodiversification: setting an agenda for marine life. Palaeogeography // Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2006. Vol. 232. Issue 2–4. P. 148–166. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.07.010

Nowak H., Servais Th., Monnet C., Molyneux S. G., Vandembroucke Th. R. A. Phytoplankton dynamics from the Cambrian Explosion to the onset of the Great Ordovician Biodiversification Event: A review of Cambrian acritarch diversity // Earth-Science Reviews. 2015. Vol. 151. P. 117–131. DOI: 10.1016/j.earscirev.2015.09.005

Rasmussen C. M., Kröger B., Nielsen M. L., Colmenar J. Cascading trend of Early Paleozoic marine radiations paused by Late Ordovician extinctions // Proceedings of the National Academy of Science. 2019. 116 (15). P. 7207–7213. Doi: 10.1073/pnas.1821123116

Raup D. M., Sepkoski Jr. J. J. Mass Extinctions in the Marine Fossil Record // Science. 1982. Vol. 215. Issue 4539. P. 1501–1503. https://doi.org/10.1126/science.215.4539.1501

Rong J.-Y., Harper D. A. T. Brachiopod survival and recovery from the latest Ordovician mass extinctions in South China // Geological Journal. 1999. Vol. 34. P. 321–348.

Ruban D. A. Palaeoenvironmental setting (glaciations, sea level, and plate tectonics) of Palaeozoic major biotic radiations in the marine realm // Annales de Paléontologie. 2010. Vol. 96. P. 143–158. DOI:10.1016/j.annpal.2011.05.004

Servais T., Harper D. A. T., The Great Ordovician Biodiversification Event (GOBE): definition, concept and duration // Lethaia. 2018. Vol. 51. P. 151–164. DOI: 10.1111/let.12259

Sheehan P. M. The Late Ordovician mass extinction // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2001. Vol. 29. P. 331–364. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.29.1.331

Stigall A. L., Bauer J. E., Lam A. R., Wright D. F. Biotic immigration events, speciation, and the accumulation of biodiversity in the fossil record // Global and Planetary Change. 2017. Vol. 148. P. 242–257. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.12.008

Stigall A. L., Edwards C. T., Freeman R. L., Rasmussen C. M. Coordinated biotic and abiotic change during the Great Ordovician Biodiversification Event: Darriwilian assembly of early Paleozoic building blocks // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2019. Vol. 530. P. 249–270. DOI: 10.1016/j.palaeo.2019.05.034.

Webby B. D., Paris F., Droser M. L., Percival I. G. The Great Ordovician Biodiversification Event. New York: Columbia University Press, 2004. 496 p.

References

Antsygin N. Ya. (2001). Tremadokskie trilobity Urala [Tremadocian trilobites of Ural]. Ekaterinburg, 2001. 248 p. (In Russian).

Beznosova T. M., Matveev V. A. (2022). Proyavlenie pozdneoronskogo sobytiya v razreze silura na zapadnom sklone pripolyarnogo urala [Manifestation of the Late Aeronian event in the Silurian section on the western slope of the Subpolar Urals]. Litosfera. 22 (5). P. 599–611. (In Russian). DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-5-599-611

Golovanova I. V., Danukalov K. N., Salmanova R. Yu. (2022). Pozdnepaleozojskoye peremagnichivaniye — nezavisimiy indikator protekaniya tektonicheskikh processov na Yuzhnom Urale [Late paleozoic remagnetisation as an independent indicator of tectonic processes in the Southern Urals]. Geologicheskii vestnik. №2. P. 56–68. (In Russian). DOI: 10.31084/2619-0087/2022-2-5

Krauze S. N., Maslov V. A. (1961). Ordovik, silur i nizhnij devon zapadnogo sklona Bashkirskogo Urala. Ufa. BFAN SSSR. 94 p. (In Russian).

Koren' T. N. (2000). Dopolnenie 2. Sobyitinaya stratigraphia. Dopolnenia k stratigraphicheskomu kodeksu Rossii. [Appendix 2. Event stratigraphy. Additions to the stratigraphic code of Russia]. St.-Petersburg. VSEGEI. P. 67–80. (In Russian).

Mavrinskaya T. M. (2011). Correjatsiya ordovikskikh otlozhenij Yuzhnogo Urala po konodontovoy faune [Correlation of Ordovician deposits of the Southern Urals by conodont fauna]. Geologicheskij sbornik. №9. IG UFRC RAN. P. 14–18. (In Russian).

Mavrinskaya T. M., Yakupov R. R. (2016). Ordovikskiy otlozheniya zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala i ikh korrelatsiya po konodontam i hitinozoyam [Ordovician deposits of the western slope of the Southern Urals and their correlation by conodonts and chitinozoans]. Russian Geology and Geophysics. 57 (2). P. 333–352. (In Russian).

Maslov V. A., Artushkova O. V., Yakupov R. R., Mavrinskaya T. M. (2008). Problemniiye voprosy stratigraphii nizhnego i srednego paleozoya Yuzhnogo Urala [Problematic issues of stratigraphy of the lower and middle Paleozoic of

the Southern Urals]. *Geologicheskij sbornik*. № 7. IG UFRC RAN. P. 193–204. (In Russian).

Maslov V. A., Cherkasov V. L., Tischenko V. T., Smirnova I. A., Artushkova O. V., Pavlov V. V. (1993). Stratigraphiya i korrelatsiya srednepaleozojskikh vulkanogennykh kompleksov osnovnykh mednokolchedannykh rajonov Yuzhnogo Urala [Stratigraphy and correlation of Middle Paleozoic volcanogenic complexes of the main copper pyrite regions of the Southern Urals]. Ufa: UNC RAN. 217 p. (In Russian).

Puchkov V. N. (2000). Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa: Dauria. 146 p. (In Russian).

Ryazantsev A. V., Dubinina S. V., Kuznetsov N. B., Belova A. A. (2008). Ordovikskiyе структурно-формационные комплексы в аллохтонных Южного Урала [Ordovician structural-formational complexes in allochthons of the Southern Urals]. *Geotektonika*. № 5. P. 49–78. (In Russian).

Souyarkova A. A., Yakupov R. R. (2020). Granitsa ordovika i silura na Yuzhnom Urale: novye dannye po graptolitam i reviziya opredelenii proshlykh let (razrez Nabiullino, Zapadno-Zilairskaya SFZ) [The Ordovician-Silurian boundary in the Southern Urals: new data on graptolites and revision of definitions of previous years (Nabiullino section, West Zilair SFZ)]. *Trudy paleontologicheskogo obshchestva*. Tom III. P. 64–79. (In Russian).

Yakupov R. R. (2008). Khitinozoi iz metamorficheskikh kompleksov Uraltau (Yuzhny Ural) [Chitinozoans from metamorphic complexes of Uraltau (Southern Urals)]. *Novosti paleologii i stratigraphii: Prilozhenie k zhurnalu "Geologiya i geofizika"*. 49 (10–11). P. 184–187. (In Russian).

Yakupov R. R. (2011). Razvitiye pelagicheskoy fauny (khitinozoi, konodonty, graptolity) v rannedarrivillskikh basseinakh zapadnogo sklona Biotic event GOBE in Ordovician sections of the Southern Urals [Progress of pelagic fauna (chitinozoans, conodonts, graptolites) in the early Darrivillian basins of the western slope of the Southern Urals]. *Tempy evolyutsii organicheskogo mira i biostratigraphiya*. Materialy LVII sessii paleontologicheskogo obshchestva. St. Petersburg. P. 140–141. (In Russian).

Yakupov R. R. (2014). Stratotip baktinskoj svity ordovika na territorii Yuzhno-Uralskogo zapovednika [Stratotype of the Ordovician Bakta Formation on the territory of the South Ural Nature Reserve]. *Trudy Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika*. № 2. Ufa: Gilem, Bask. encyclopedia. P. 176–185. (In Russian).

Yakupov R. R. (2018). Bioticheskoye sobytiye GOBE v razrezakh ordovika Yuzhnogo Urala [GOBE Biotic event in Ordovician sections of the Southern Urals]. *Trudy XVII Vserossiyskogo mikropaleontologicheskogo soveshaniya «Sovremennaya mikropaleontologiya — problemy i perspektivy»*. Moscow: PIN RAS. P. 546–550. (In Russian).

Yakupov R. R., Mavrinskaya T. M., Abramova A. N. (2002). Paleontologicheskoye obosnovaniye skhemy stratigraphii severnoy chasti Zilairskogo sinklinoriya [Paleontological substantiation of the stratigraphic scheme of the northern part of the Zilair synclinorium]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN. 160 p.

Yakupov R. R., Mavrinskaya T. M., Smoleva I. V. (2018). Polozhitelnaya anomalija $\delta^{13}\text{C}$ v hirnantskom yaruse razre-

za Nabiullino (Yuzhny Ural) [Positive $\delta^{13}\text{C}$ anomaly in the Hirnantian stage of the Nabiullino section (Southern Urals)]. *DAN*. 478 (6). P. 679–682. (In Russian).

Yakupov R. R., Souyarkova A. A. (2009). Pozdnelandoverijskiye otlozheniya zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala i ikh korrelatsiya po graptolitam [Late Landoverian deposits of the western slope of the Southern Urals and their correlation with graptolites]. *Paleontologiya i sovershenstvovaniye stratigraphicheskoy osnovy geologicheskogo kartografirovaniya*. Materialy LV sessii paleontologicheskogo obshchestva. P. 171–172. (In Russian).

Botting J. P., Yakupov R. (2019). *Acutipuerilis* and other non-lithistid sponges from the early Silurian of the Southern Urals, Russia // *GFF*. Vol. 141. Issue 3. P. 191–199. DOI: 10.1080/11035897.2019.1621375

Goldman D., Sadler P. M., Leslie S. A., Melchin M. J., Agterberg F. P., Gradstein F. M. (2020). Chapter 20 — The Ordovician Period // *Geologic Time Scale*. V. 2. Ch. 20–21. P. 631–725. DOI: 10.1016/B978-0-12-824360-2.00020-6

Hallam A., Wignall P. B. (1999). Mass extinctions and sea-level changes // *Earth-Science Reviews*. Vol. 48. Issue 4. P. 217–250. Doi: 10.1016/s0012-8252 (99) 00055-0

Harper D. A. T. (2006). The Ordovician biodiversification: setting an agenda for marine life. *Palaeogeography // Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 232. Issue 2–4. P. 148–166. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.07.010>

Nowak H., Servais Th., Monnet C., Molyneux S. G., Vandenbroucke Th. R. A. (2015). Phytoplankton dynamics from the Cambrian Explosion to the onset of the Great Ordovician Biodiversification Event: A review of Cambrian acritarch diversity // *Earth-Science Reviews*. Vol. 151. P. 117–131. DOI: 10.1016/j.earscirev.2015.09.005

Rasmussen C. M., Kröger B., Nielsen M. L., Colmenar J. (2019). Cascading trend of Early Paleozoic marine radiations paused by Late Ordovician extinctions // *Proceedings of the National Academy of Science*. 116 (15). P. 7207–7213. Doi: 10.1073/pnas.1821123116

Raup D. M., Sepkoski Jr. J. J. (1982). Mass Extinctions in the Marine Fossil Record // *Science*. Vol. 215. Issue 4539. P. 1501–1503. <https://doi.org/10.1126/science.215.4539.1501>

Rong J.-Y., Harper D. A. T. (1999). Brachiopod survival and recovery from the latest Ordovician mass extinctions in South China // *Geological Journal*. Vol. 34. P. 321–348.

Ruban D. A. (2010.) Palaeoenvironmental setting (glaciations, sea level, and plate tectonics) of Palaeozoic major biotic radiations in the marine realm // *Annales de Paléontologie*. Vol. 96. P. 143–158. DOI:10.1016/j.annpal.2011.05.004

Servais T., Harper D. A. T. (2018). The Great Ordovician Biodiversification Event (GOBE): definition, concept and duration // *Lethaia*. Vol. 51. P. 151–164. DOI: 10.1111/let.12259

Sheehan P. M. (2001). The Late Ordovician mass extinction // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. Vol. 29. P. 331–364. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.29.1.331>

Stigall A. L., Bauer J. E., Lam A. R., Wright D. F. (2017). Biotic immigration events, speciation, and the accumulation of biodiversity in the fossil record // *Global and Planetary Change*. Vol. 148. P. 242–257. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.12.008>

- Stigall A. L., Edwards C. T., Freeman R. L., Rasmussen C. M. (2019). Coordinated biotic and abiotic change during the Great Ordovician Biodiversification Event: Darriwilian assembly of early Paleozoic building blocks // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 530. P. 249–270. DOI: 10.1016/j. palaeo. 2019.05.034.
- Webby B. D., Paris F., Droser M. L., Percival I. G. (2004). *The Great Ordovician Biodiversification Event*. New York: Columbia University Press. 496 p.

Сведения об авторе:

Якупов Рустем Раулевич к. г.-м. н., Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). jakupov@ufaras.ru

About the author:

Yakupov Rustem Raulevich, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, Russia. jakupov@ufaras.ru

Статья поступила в редакцию 06.10.2023; одобрена после рецензирования 06.10.2023; принята к публикации 10.11.2023

The article was submitted 06.10.2023; approved after reviewing 06.10.2023; accepted for publication 10.11.2023