ПРИЖИЗНЕННЫЕ ЗАХОРОНЕНИЯ МОРСКИХ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ В ВЕНЛОКСКИХ ШТОРМОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ПОДНЯТИИ ЧЕРНОВА

Т. М. Безносова, В. Ю. Лукин, В. А. Матвеев

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; beznosova@geo.komisc.ru

Результаты изучения разреза Безымянный на поднятии Чернова позволяют предположить штормовой режим седиментации с преобладанием волновой турбулентности в венлоке и относительно высокие темпы осадконакопления. В разрезе выделены четыре интервала с прижизненными захоронениями донных сообществ и остатков минерализованной биоты, замещенных пиритом в строматолитах. Образование пирита связывают с аноксидными условиями, создававшимися сразу после гибели организмов. Полученные результаты расширяют возможность реконструкции эволюции древних экосистем в раннем силуре.

Ключевые слова: захоронение фауны, штормовые отложения, брахиоподы, табуляты, строматолиты.

IN-SITU BURIALS OF BENTHIC COMMUNITIES IN WENLOCK STORM SEDIMENTS OF THE CHERNOV SWELL

T. M. Beznosova, V. Yu. Lukin, V. A. Matveev

Institute of Geology, Komi SC UrB RAS, Syktyvkar, Russia

The represented data suggest storm mode of sedimentation with predominance of wave turbulence in the Wenlock. We found unique in-situ burials of benthic communities and remains of mineralized biota in stromatolites, replaced by pyrite, which formation had been caused by anoxic conditions after the organism death. The obtained results support reconstruction of evolution of the Early Silurian ecosystems.

Keywords: storm sediments, taphonomy, brachiopods, tabulate corals, stromatolites.

Введение

Анализ характера захоронений фаунистических сообществ в изученных Тимано-Уральских разрезах силура свидетельствует о значительном влиянии изменений седиментационных обстановок на развитие и территориальное распространение бентосных организмов в венлокском морском бассейне. Смена обстановок была связана с возможностью миграции или изолированностью бассейна, течениями, штормами, увеличением поступления терригенного материала, изменениями рельефа дна и глубины бассейна. По мере масштабности проявления абиотических факторов выделяются различные типы захоронений бентосных организмов в изученном разрезе Безымянный [2].

Захоронения органических остатков в прижизненном положении или вблизи места их обитания встречаются редко. Одной из возможных причин возникновения таких захоронений считаются штормы [7], во время которых происходило погребение части донного сообщества в прижизненном положении. Например, в этих захоронениях присутствуют скопления целых сочлененных раковин разных размеров и различных возрастных стадий, у которых сохраняются тонкая скульптура, шлейфы, тонкие иглы, элементы внутреннего строения. Другая часть раковин при этом может переотлагаться и смешиваться с фрагментами других сообществ — мелких остракод, гастропод.

Обсуждение результатов

Венлокский возраст толщи, слагающей разрез по ручью Безымянному, впервые был определен по многочисленным остаткам брахиопод и остракод, которые присутствуют почти от его основания до кровли [1]. Последующее изучение состава отложений этого разреза и характера захоронений органических остатков позволили сделать вывод о неста-

Рис. 1. Местонахождение разреза венлокских отложений по руч. Безымянному (широта 67°53'29.94"С, долгота 62°22'23.30"В)

Fig. 1. Location of Wenlockian outcrop near Bezmyanny Brook (latitude 67°53'29.94"N, longitude 62°22'23.30"E)

бильных условиях осадконакопления в венлокское время, что подтверждается периодическими остановками роста биостромов, интенсивным выпадением илового, био- и литокластового материала и его перетолжений [3, 10, 13].

Разрез по ручью Безымянному мощностью 197 м (рис. 1, 2, Г) характеризуется таксономическим разнообразием ископаемой биоты, представленной брахиоподами, гастроподами, остракодами, пелициподами, члениками криноидей, реже ортоцератидами и трилобитами, а также конодонтами *Ozarkodina kozhimica* Melnikov, *Oz. waugoolaensis* (единичный уровень), *Oulodus rectangulus*, *Oul. kozhimicus*, *Nudibelodina sensitiva*, *Pterospadodus* sp. A, *Apsidognathus* sp. лландоверийско-венлокского возраста, которые определены в толще мощностью 125 м [3]. В отдельных прослоях были обнаружены фораминиферы [1] и кораллово-строматопоровая фауна, которая формировала два биострома в нижней и верхней части разреза (рис. 3, А).

Рис. 2. Стратиграфическое распространение фаунистических остатков и захоронений in situ в разрезе Безымянный: А — схематичное строение разреза Безымянный; Б — брахиоподы *Spirinella nordensis* (Ljashenko) — возрастная ряд (раковины из линзы in situ). Образец 2/007, x1; В — остатки фоссилизованных микроорганизмов в венлокских строматолитах: фиг. 1 — минерализованный чехол трубчатого нитевидного образования; фиг. 2 — овальная форма; фиг. 3 — шаровидная форма со сглаженной мелкобугристой поверхностью; фиг. 4 — шаровидная форма с губчатой поверхностью; фиг. 5 — куполообразные фоссилии; фиг. 6 — фрагмент микробной биопленки; Г — Выходы пород войвывского горизонта. Условные обозначения: 1 — известняк, 2 — глинистый, 3 — биотурбированный, 4 — комковатый, 5 — мергели, 6 — строматолиты, 7 — знаки волновой ряби, 8 — трещины усыхания, 9 — плоскогалечники, 10 — конгломерат, 11 — косая слоистость, 12 — массивные табуляты, 13 — ветвистые табуляты, 14 — ругозы, 15 — строматопороидеи, 16 — трилобиты, 17 — брахиоподы, 18 — фрагменты брахиопод, 19 — гастроподы, 20 — остракоды, 21 — криноидеи, 22 — биостром

Fig. 2. Stratigraphic development of fauna remains and burials in situ in Bezmyanny section: A — Schematic structure of section Bezmyanny; Б — Brachiopods *Spirinella nordensis* (Ljashenko) — age series (shells from lens in situ). Sample 2/007, x1; В — remains of fossilized microorganisms in Wenlockian stromatolites: Fig. 1 — mineralized cover of tubular filamentary form; Fig. 2 — oval form; Fig. 3 — spherical form with smooth hummocky surface; Fig. 4 — spherical form with a spongy surface; Fig. 5 — dome-like fossils; Fig. 6 — fragment of a microbial biofilm; Г — outcrops of ovyvsky horizon in section Bezmyanny. Legend: 1 — limestone 2 — clay, 3 — bioturbated, 4 — lumpy, 5 — marls, 6 — stromatolites, 7 — signs of wave ripples, 8 — mud cracks, 9 — flat pebbles, 10 — conglomerate, 11 — cross-bedding, 12 — massive tabulates, 13 — branching tabulates, 14 — rugoses, 15 — stromatoporoids, 16 — trilobites, 17 — brachiopods, 18 — fragments of brachiopods, 19 — gastropods, 20 — ostracods, 21 — crinoids, 22 — biostrom

Отложения, слагающие разрез Безымянный, и захоронения органических остатков свидетельствуют об активной гидродинамической среде неглубокого морского бассейна. Это подтверждает характер слоистости, обилие окатанных галек и створок раковин брахиопод, обломков гастропод и трилобитов, переслаивание тонкоплитчатых известняков, известковых глин со следами илоедов, известняков иловых с тонким детритом и неотчетливой слойчатостью, мергелей и известняковых гравелито-песчаников,

биокластовых известняков с крупными гальками (рис. 2, Д, Ж, З), остраково-иловых известняков, брахиоподовых и остраково-водорослевых (микробиальных) известняков, ракушечников остраковых (рис. 3, Г), плоскогалечниковых конгломератов, мощность прослоев которых изменяется от 3 см до нескольких десятков см, известняков с пелоидами, биокластовых известняков с текстурами взвешивания — турбулентности среды (рис. 3, И), известняков строматолитовых с уплотненными гальками,

Рис. 3. Колония табулят и микроструктуры известняков в разрезе Безымянный: А — табуляты *Aulocystella aseptata* (Barskaja, 1967), продольное сечение, обр. 149; Б — пелоидный известняк с плоскими интрокластами; В — строматолитовый известняк с «линзами» плоскогалечников; Г — пелитоморфный известняк с личинками остракод; Д — известняк биокластовый с фрагментами криноидей, остракод и брахиопод; Е — известняки полосчатые с градиционной слоистостью; Ж — известняк биокластовый с крупными фрагментами криноидей, гастропод, остракод и брахиопод; З — известняк литобиокластовый; И — известняк детритовый, биоморфный с полуокатанными хаотичными штормовыми выносами

Fig. 3. Tabulate colony and limestone microstructures in Bezymyanny section: А — tabulates *Aulocystella aseptata* (Barskaja, 1967), longitudinal section, sample 149; Б — peloid limestone with flat introclasts; В — stromatolite limestone with pebble «lenses»; Г — pelitomorphic limestone with ostracod larvae; Д — bioclastic limestone with fragments of crinoids, ostracods and brachiopods; Е — banded limestone with graded bedding; Ж — bioclastic limestone with large fragments of crinoids, gastropods, ostracods and brachiopods; З — lithobioclastic limestones; И — detrital limestone, biomorphic with subrounded chaotic storm cone

имеющими признаки взмучивания осадка (рис. 3, В), известняков с «линзами» плоскогалечников (рис. 3, Б), известняков полосчатых с градиционной слоистостью (рис. 3, Е).

В этом разрезе исключение составляют четыре интервала, которые формировались в условиях нормализации морских условий в бассейне и благодаря которым можно наблюдать последовательную смену экологических доминантных сообществ от нижних слоев разреза до его кровли, а также изменения глубин обитания сообществ. Эти захоронения фиксируют периоды стабилизации условий осадконакопления, во время которых формировались сообщества кораллов, брахиопод, а также строматолитовые постройки в приливно-отливной зоне [3, 9, 11].

Первый интервал мощностью 0.5 м представлен кораллово-строматопоровым биостромом в нижней части разреза, в котором доминируют тонковставистые *Parastriatopora* и *Striatopora*, колонии табулят *Riphaeolites lamelliformis* Klaamann и мелкотрубчатые *Romingeria* sp., а также колонии строматопороидей и одиночные ругозы.

Второй интервал мощностью 4.4 м с захоронением брахиопод *Spirinella nordensis* (Ljashenko) выделен в средней части разреза. Изучавший разрез Безмянный в 1971 г. Н. И. Тимонин отметил в своем полевом дневнике этот интервал как «брахиоподовый горизонт». Брахиоподы монотаксонного сообщества *S. nordensis* отличаются хорошей сохранностью целых раковин различных стадий роста от ювенильных до зрелых (рис. 2, Б) с сочлененными створками, с сохранившимися элементами внутреннего строения, тонкими пластинами нарастания и иглами на поверхности раковин. Проведенные биохимические исследования раковин брахиопод *S. nordensis* из этого захоронения зафиксировали отчетливо выраженный в них максимум содержания аминокислот, достигающий более 100 мкг/г [4]. Хорошая сохранность раковин позволила исследовать их морфологические особенности, которые свидетельствуют о возможности адаптации этих брахиопод к различным условиям существования. Раковины *S. nordensis* относятся к экологическому якорному типу и батиметрически — к третьему бентосному комплексу А. Буко [5]. Загнутая макушка наряду с ножкой и развитой ареей способствовали фиксации раковины в нужном положении на твердом субстрате, а тонкие иглы и складки на поверхности раковины помогали удерживаться ей на мягком субстрате. Брахиоподы *S. nordensis* в разрезе Безмянным являются доминирующими остатками бентосной фауны по численности раковин и распространены в разрезе с первого слоя до его кровли. Но в отличие от описанного захоронения во втором интервале, в прослоях известняков с линзами плоскогалечного конгломерата, известняков биокластовых и с текстурами взвихривания (среды турбулентности) (рис. 3, И) они представлены преимущественно отдельными створками раковин, а также ракушечниками в виде лома раковин совместно с остракодами, гастроподами, пелелиподами, члениками криноидей и трилобитами (рис. 3, Ж).

Третий интервал мощностью 22.4 м, заключающий строматолитовые постройки, сложен чередованием маломощных прослоев известняков тонко-

слоистых, плитчатых, с остатками раковин остракод, брахиопод, гастропод и известняков со строма-толитами. В этом интервале впервые на территории Европейского Северо-Востока были обнаружены остатки строма-толитовобразующей биоты (рис. 2, В). Микрозондовый анализ показал, что эти остатки замещены пиритом [11]. Уникальная сохранность обнаруженных остатков биоты, обусловлена, вероятно, мгновенным захоронением части строма-толитовых построек. Свидетельством такой сохранности также служит установленный элементный состав шаровидных фосфоритов, замещенных пиритом (рис. 2, В, фиг. 3). Образование пирита связано с аноксидными условиями, которые создавались сразу после гибели организмов. Известно, что в пирите могут быть за-консервированы химические соединения, аминокислоты и некоторые другие органические молекулы [8]. Экспериментальное изучение образования пирита путем замещения организмов была осуществлена группой исследователей во главе с С. Дэрроу [18].

Четвертый интервал представляет собой биостром в верхней части разреза, в основании которого залегает прослой (0.35 м) с колониями строма-топороидей. Выше биостром мощностью 0.9 м сложен колониями трубчатых табулят *Aulocystella aseptata* (Barskaja) (рис. 3, А) и массивными *Riphaeolites lamelliformis* Klaamann. Биостром перекрывают известняки тонкоплитчатые с трещинами усыхания осадка (2.5 м) и знаками волновой ряби, в кровле которых залегают известняки со строма-топороидеями.

Заключение

В разрезе Безмянным установлены интервалы с уникальными захоронениями сообществ донных организмов обитавших «in situ», которые фиксируют батиметрические изменения условий осадконакопления и важны для стратиграфических выводов и корреляции изученных отложений по ручью Безмянному с разрезами западного склона Приполярного Урала, поднятия Чернышева, островов Долгий, Сев. Земля, Сааремаа, Готланд, а также Таймыра, Южного Верхоянья, Зеравшано-Гиссарской области, Сибирской платформы [6, 16].

Известно, что ранний венлок в разрезах Эстонии, Сибирской платформы, на островах Таймыр, Северная Земля, Долгий, на Аляске знаменует-ся расцветом коралловой фауны [12, 14, 17, 19]. Но на территории западного склона Урала, поднятия Чернова и Чернышева коралловая фауна представлена только поздневенлокскими ассоциациями табулят *Riphaeolites*, *Parastriatopora* и *Aulocystella* [3, 9]. Этот факт может служить палеонтологическим подтверждением установленного нами ранее перерыва в осадконакоплении на рубеже ландовери и венлока в разрезе западного склона Приполярного Урала и отсутствия нижней части венлока в североуральских разрезах [2].

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН, проект № 15-18-5-37 «Тимано-Североуральский палеобассейн в палеозое. Закономерности динамики биотических комплексов, палеобиогеография и палеоклиматология».

Литература

1. Антошкина А. И., Безносова Т. М. Новые данные по стратиграфии венлокских отложений Большеземельской тундры // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. геол. 1988. Вып. 6. Т. 63. С. 32—39.
2. Безносова Т. М. Сообщества брахиопод и биостратиграфия верхнего ордовика и нижнего девона северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 218 с.
3. Безносова Т. М., Мянник П., Майдль Т. В., Лукин В. Ю., Матвеев В. А. Условия осадконакопления и биота на рубеже лландовери и венлока (поднятие Чернова) // Вестник Института геологии Коми научного центра УрО РАН. 2014. № 3. С. 14—18.
4. Безносова Т. М., Шанина С. Н. Биохимические индикаторы геобиологических событий в раннем палеозое на Европейском Северо-Востоке // ДАН. 2010. Т. 434. № 1. С. 76—78.
5. Буко А. Эволюция и темпы вымирания. М.: Мир, 1979. 378 с.
6. Волкова К. Н., Латыпова Ю. Я., Хайзникова К. Б. Ордовик и силур Южного Верхоянья (биостратиграфия и палеонтология). М.: Наука, 1978. 220 с.
7. Красилов В. А., Зубаков В. А., Шульдинер В. И., Ремизовский В. И. Экостратиграфия: Теория и методы. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 148 с.
8. Кизильштейн Л. Я. Как возникают окаменелости // Химия и жизнь. 2003. № 3. С. 30—35.
9. Лукин В. Ю. Систематическое положение вида *Syringoporus aseptata* Barskaja, 1967 из силурийских отложений поднятия Чернова (Большеземельская тундра) // Сыктывкарский палеонтологический сборник № 7. Сыктывкар, 2014. С. 25—30. (Тр. Ин-та геологии Коми научного центра УрО РАН. Вып. 129).
10. Майдль Т. В. Плоскогалечные конгломераты — штормовые отложения нижнего палеозоя Печорского седиментационного бассейна // Вестник Института геологии Коми научного центра УрО РАН. 2013. № 4. С. 2—6.
11. Матвеев В. А. Строматолитовые постройки венлока поднятия Чернова: основные морфотипы, микроструктура // Там же. 2011. № 11. С. 2—5.
12. Мягкова Е. И., Нестор Х. Э., Эйнасто Р. Э. Разрез ордовика и силура реки Мойеро (Сибирская платформа). Новосибирск: Наука, 1977. 176 с.
13. Сепкоски-мл. Дж. Дж. Плоскогалечные конгломераты, штормовые отложения и кембрийская донная фауна // Циклическая и событийная седиментация. М.: Мир, 1985. С. 345—357.
14. Силур Эстонии / Под ред. Д. Л. Кальо. Таллин: АН ЭССР «Валгус», 1970. 343 с.
15. Силурийские и нижнедевонские отложения острова Долгого: Сб. статей. Свердловск: УНЦ АН СССР, 198. 141 с.
16. Стратиграфия силура и девона архипелага Северная Земля / Ред. Р. Г. Матухин, В. Вл. Меннер. Новосибирск: СНИИГ и МС, 1999. 174 с.
17. Тесаков Ю. И., Предтеченский Н. Н., Бергер А. Я. и др. Опорный разрез Мойеро силура Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1985. 174 с.
18. Darroch, S. A. F., Laflamme, M., Schiffbauer, J. D., Briggs, D. E. G. Experimental formation of a microbial death mask // *Palaaios*. 2012. V. 27. P. 293—303.

19. Paleozoic Corals of Alaska (Geological Survey professional paper; 823 — B) // Oliver, W. A. Jr., Merriam, C. W. and Churkin, M., Jr. Ordovician, Silurian, and Devonian corals of Alaska. Washington: United States Government printing office, 1975. Pp. 13—44.

References

1. Antoshkina A. I., Beznosova T. M. *Novye dannye po stratigraphii venlokskikh otlozhenij Bol'shezemel'skoj tundry* (New stratigraphical data of Wenlock deposits of Bolshezemelskaya tundra). Bulletin Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody, otel geologii, 1988, 6, V. 63, pp. 32—39.
2. Beznosova T. M. *Soobschestva brahiopod i biostratigrafiya verhnego ordovika, silura i nizhnego devona severo-vostochnoi okrainy paleokontinenta Baltiya* (Brachiopod communities and biostratigraphy of Upper Ordovician, Silurian and Lower Devonian of North-Eastern margin of Baltia paleocontinent). Ekaterinburg, 2008, 218 p.
3. Beznosova T. M., Shanina S. N. *Biokhimicheskie indicatory geobiologicheskikh sobytij v rannem paleozoe na Evropejskom Severo-Vostoke* (Bichemical indicators of the Early Paleozoic geobiology events of Europe part of the North-Eastern). DAN, 2010, V. 434, pp. 76—78.
4. Beznosova T. M., Lukin V. Yu., Mdnnik P., Maidl T. V., Matveev V. A. *Stratigrafiya i usloviya formirovaniya nizhniesilurijskikh otlozhenij na podnyatii Chernova* (Stratigraphy and conditions of formation of Lower Silurian deposits of Chernyshev Ridge). *Geologiya i mineralnye resursy Evropejskogo severo-vostoka Rossii*: Proceedings. Syktyvkar, Geoprint, 2014, V. 2, pp. 224—228.
5. Buko A. *Evolutsiya i tempy vymiraniya* (Evolution and tempos of extinction). Moscow, Mir, 1979, 378 p.
6. Volkova K. N., Latypova Yu. A., Hajznikova K. B. *Ordovik i silur Yuzhnogo Verkhoyan'ya (biostratigrafiya i paleontologiya)* (Ordovician and Silurian of the Verkhoyan'ya (biostratigraphy and stratigraphy). Moscow, Nauka, 1978, 220 p.
7. Krasilov V. A., Zybakov V. A., Shuldiner V. I., Remizovskij V. I. *Ecostratigrafiya. Teoriya i metody*. (Ecostratigraphy. Theory and methods). Vladivostok, DVNTC AN SSSR, 1985, 148 p.
8. Kizilshtein L. Ya. *Kak voznikayut okamenelosti* (How are forming fossils?). *Himiya i zhizn*, 2003, No.3, pp. 30—35.
9. Lukin V. Yu. *Sistematicheskoe polozhenie vida Syringoporus aseptata Barskaja, 1967 iz silurijskikh otlozhenij podnyatiya Chernova (Bol'shezemel'skaya tundra)* (Systematic position of the species *Syringoporus aseptata* Barskaja, 1967 from Silurian deposits of Chernov Ridge (Bolshezemel'skaya tundra). Syktyvkar'skij paleontologicheskij sbornik RAN, 129.
10. Majdl T. V. *Ploskogalechnye konglomeraty — shtormovye otlozheniya nizhnego paleozoya Pecherskogo sedimentacionnogo bassejna* (Flatpebble conglomerate from Lower Paleozoic storm deposits of the Pechora sedimentation basin). Vestnik of Institute of geology of Komi SC UB RAS, 2013, No. 4, pp. 2—6.
11. Matveev V. A. *Stromatolitovye postrojki venloka podnyatiya Chernova: osnovnye morfolitypy, mikrostruktura* (Venlockian stromatolites from Chernov Ridge: main morphotyp and microstructure). Vestnik of Institute of geology of Komi SC UB RAS, 2011, No. 11, pp. 2—5.
12. Myagkova E. I., Nestor X. E., Ejnasto R. E. *Razrez ordovika i silura reki Mojero (Sibirskaia platphorma)* (Ordovician and Silurian outcrop of the Mojero river (Siberian plate). Novosibirsk, Nauka, 1977, 176 p.
13. Sepkoski-ml. J. J. *Ploskogalechnye konglomeraty, shtormovye otlozheniya i kembrijskaya donnaya phauna* (Flatpebble

conglomerate, storm deposits and Cambrian benthic fauna). *Ciklicheskaya i sobytijnaya sedimentatsiya*, Moscow, Mir, 1985, pp. 345—357.

14. *Silur Estonii* (Silurian of Estonia). Pod red. D. L. Kaljo. Tallin, AN SSSR “Valgus”, 1970, 343 pp.

15. *Silurijskie i nizhnedevonskie otlozheniya ostrova Dolgogo* (Silurian and Devonian deposits of Dolgij Island), Sverdlovsk, UNC AN SSSR, 141 p.

16. *Stratigraphiya silura i devona arhipelaga Severnaya Zemlya* (Silurian and Devonian stratigraphy of Severnaya Zemlya archipelago). Ed. R. G. Matukhin, V. Vl. Menner. Novosibirsk, SNIIGGiMS, 1999, 174 p.

17. Tesakov Yu. I., Predtechenskij N. N., Berger A. Ya. et al. *Opornyy razrez Mojero silura Sibirskoj platforny* (Silurian outcrop of the Mojero river (Siberian plate). Novosibirsk, Nauka, 1985, 174 p.

18. Darroch, S. A. F., Laflamme, M., Schiffbauer, J. D., Briggs, D. E. G. Experimental formation of a microbial death mask. *Palaios*. 2012. V. 27, pp. 293—303.

19. Paleozoic Corals of Alaska (Geological Survey professional paper; 823 - B) // Oliver, W. A. Jr., Merriam, C. W. and Churkin, M., Jr. Ordovician, Silurian, and Devonian corals of Alaska. Washington: United States Government printing office, 1975, pp. 13—44.