

УДК 551.71 + 551.72

ПЕРВЫЕ НАХОДКИ ИСКОПАЕМЫХ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ОПОРНОМ РАЗРЕЗЕ ВЕНДА ЮЖНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2021 г. С. В. Рудько^{1,2,*}, А. В. Колесников^{1,2,**}, академик РАН М. А. Федонкин¹

Поступило 25.07.2021 г.

После доработки 25.07.2021 г.

Принято к публикации 28.07.2021 г.

В опорном разрезе венда юга Сибирской платформы на Уринском поднятии впервые обнаружены ископаемые остатки эдиакарских макроскопических водорослей в верхней части дальнетайгинской серии. Эти ископаемые морфологически и тафономически сходны с некоторыми представителями Миаохонской биоты из эдиакария южного Китая, однако занимают более низкое стратиграфическое положение. Открытие остатков макроскопических водорослей в дальнетайгинской серии существенно повышает палеонтологический и биостратиграфический потенциал одного из самых представительных разрезов верхнего докембрия, что имеет ключевое значение для познания эволюции морских экосистем в протерозое.

Ключевые слова: венд, эдиакарий, Уринское поднятие, Сибирская платформа, макроскопические водоросли, Metaphyta, эдиакарская биота

DOI: 10.31857/S2686739721110128

Появление и диверсификация фотоавтотрофных эукариот представляет один из важнейших этапов в эволюции биосферы и трансформации морских экосистем в протерозойское время. Вместе с тем палеонтологические данные о длительной (от 1000 до 540 млн лет) эволюции и характере обитания многоклеточных фотоавтотрофных организмов весьма дискретны и остро нуждаются в пополнении. Наиболее древние представители бентосных красных водорослей известны из отложений возрастом около 1 млрд лет в Канаде [1] и Китае [2]. О существенной диверсификации морских растений в эдиакарии свидетельствуют макрофоссилии из фосфоритовых слоев формации Доушаньто [3] и весьма разнообразные макроскопические углефицированные водоросли в вышележащей формации Денинь, получившие название Миаохонская биота [4]. Ближе к нижней границе кембрия видовое разнообразие фотоавтотрофных организмов возрастает, о чем свидетельствуют многочисленные находки макрофитной флоры в отложениях венда (терминального эдиа-

кария) Беломорья [5], Среднего [6] и Южного Урала [7], а также Оленекского поднятия северо-востока Сибирской платформы [8]. В настоящей статье мы представляем первые находки макроскопических остатков многоклеточных водорослей в отложениях дальнетайгинской серии в разрезе верхнего докембрия на Уринском поднятии.

Дальнетайгинская серия относится к патомскому комплексу, слагающему наиболее полный разрез неопротерозоя на южной периферии Сибирской платформы. Исследования проводились на Уринском поднятии, где вскрывается типовой разрез верхней части патомского комплекса в объеме дальнетайгинской, жуинской и трехверстной серий (рис. 1). Нижняя часть дальнетайгинской серии сложена ледниковыми отложениями большепатомской свиты [9], перекрытыми в основании вышележащей баракунской свиты горизонтом венчающих доломитов (cap dolomites). Изотопные и литологические признаки этого горизонта [10, 11] находят полную аналогию с характеристиками доломитов формации Нуккалина, определяющими подошву (GSSP) эдиакария [12]. В песчаниках нижней части баракунской свиты обнаружены отпечатки вендских организмов *Beltanelloides sorichevae* [13], а вышележащие карбонатные отложения фиксируют положительную аномалию $\delta^{13}\text{C}$ раннего эдиакария. Верхняя часть баракунской свиты и вышележащие относительно глубоководные терригенные отложения

¹ Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

² Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, Иркутск, Россия

*E-mail: rudserega@yandex.ru

**E-mail: kolesnikov@ginras.ru

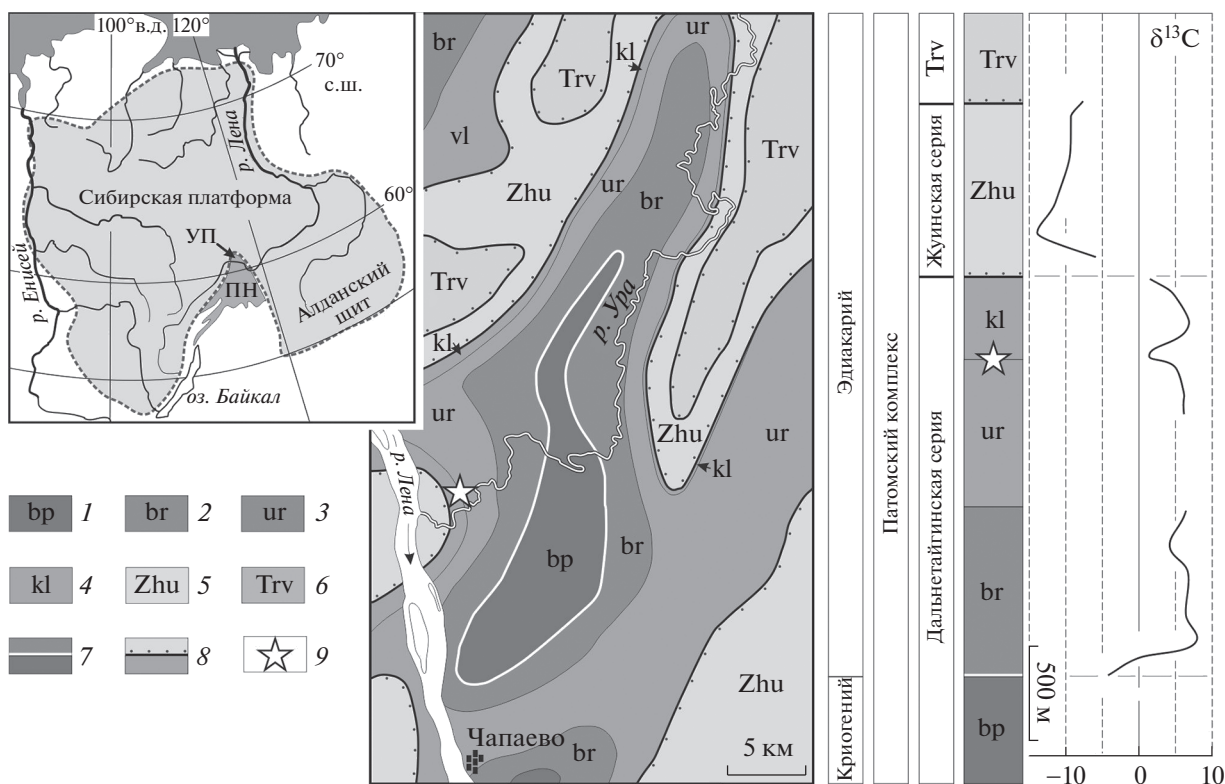


Рис. 1. Географическое положение отложений патомского комплекса, схематическая геологическая карта центральной части Уринского поднятия, сводная стратиграфическая последовательность отложений по [15] и вариации изотопного состава углерода в разрезе дальнетайгинской и жуинской серий по [3]. 1 – диамиктиты большепатомской свиты; 2 – баракунская свита, карбонаты, песчаники, аргиллиты; 3 – уринская свита, алевролиты и аргиллиты; 4 – каланчевская свита, карбонаты и мергели; 5 – жуинская серия, карбонаты и мергели; 6 – трехверстная серия, песчаники, карбонаты; 7 – горизонт венчающих доломитов; 8 – стратиграфические перерывы; 9 – находки макроскопических водорослей; ПК – Патомский комплекс, УП – Уринское поднятие.

уринской свиты охарактеризованы богатым комплексом палинофлоры [14]. Разрез дальнетайгинской серии завершает каланчевская свита, представленная карбонатными отложениями мелководной карбонатной платформы. В каланчевской свите наблюдается постепенный рост, а затем понижение значений $\delta^{13}\text{C}$, формирующие вторую положительную аномалию изотопного состава углерода в дальнетайгинской серии. В подошве жуинской серии наблюдается смена источников сноса терригенного материала и предполагается стратиграфическое несогласие [15]. Всю мощность карбонатных отложений вышележащей жуинской серии (около 1000 м) охватывает отрицательная аномалия $\delta^{13}\text{C}$, уверенно сопоставляемая с изотопным событием “Шурам-Вонока” в средней части эдиакария [16, 17]. Граница кембрия и докембрия фиксируется в отложениях трехверстной серии по появлению мелкораквинной фауны [11].

Остатки водорослей обнаружены в высыпках обнажения на правом берегу реки Ура в 5 км выше ее устья. Здесь вскрыты верхняя часть алевритистых

аргиллитов уринской свиты и в слабо обнаженной части выше по склону – основание каланчевской свиты, представленной обломочными и, в том числе, зернистыми ооидными известняками и доломитами. Именно из этого обнажения происходят наиболее представительные находки микрофоссилий уринской свиты, получившие название Уринской биоты [18]. Найденные в высыпках водорослевые остатки, по-видимому, приурочены к основанию каланчевской свиты, поскольку они обнаружены на плитках оолитовых известняков. Оолитовые известняки имеют структуру хорошо сортированного грейнстоуна и отвечают высокоэнергетическим фациям ооидных отmelей или каналов, которые вряд ли могли служить стабильным субстратом для роста прикрепленных многоклеточных водорослей. На переотложенное состояние водорослей указывает и то, что их фрагменты частично отсортированы по размерности. Наиболее полно сохранившиеся формы запечатлены в виде безрельефных уплотненных углефицированных остатков (фитолейм) на поверхностях плиток известняка (рис. 2). Остатки водорослей сохраняются также в виде объемных форм – имеющих

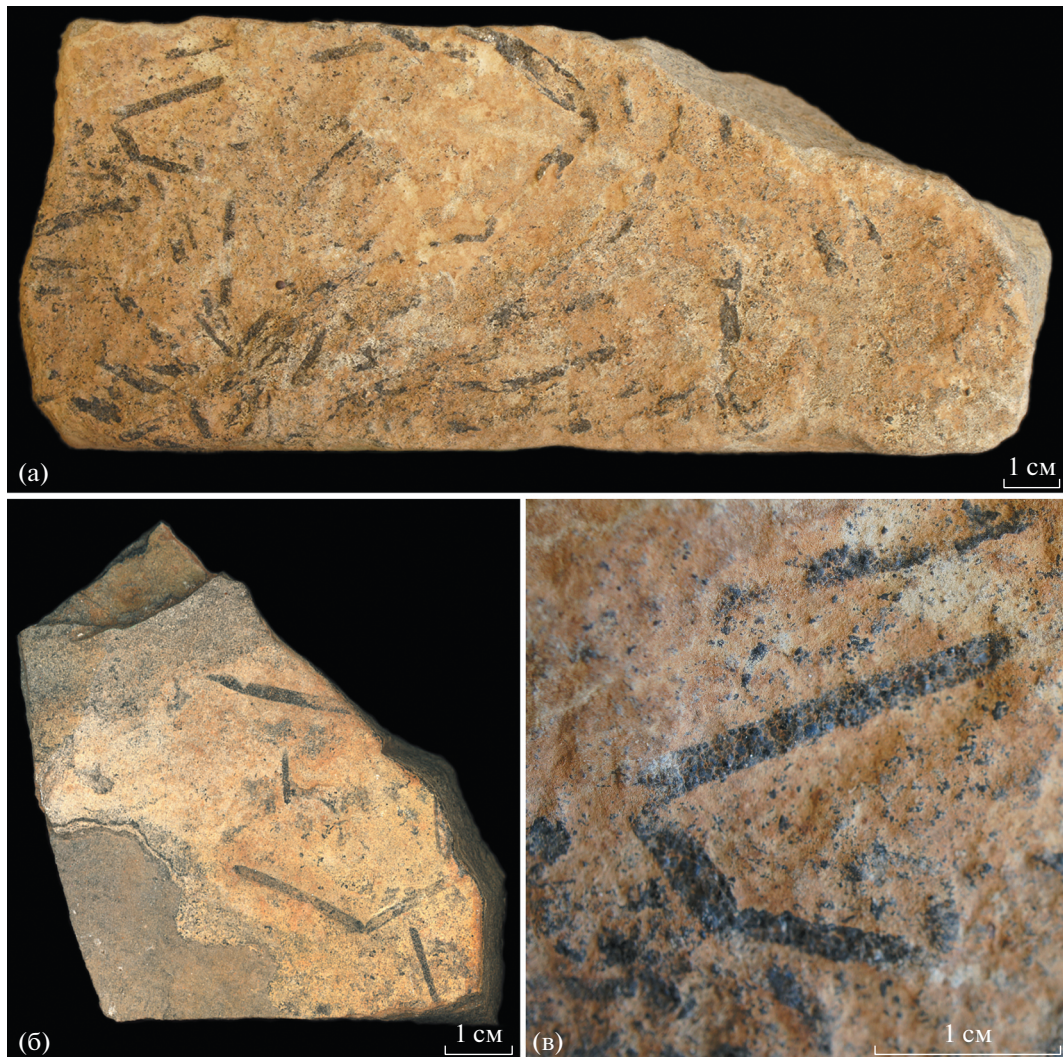


Рис. 2. Фотографии макроскопических остатков многоклеточных водорослей из дальнетайгинской серии Уринского поднятия, Республика Саха (Якутия): а – общий вид ископаемых водорослей; б – лопастевидные талломы водорослей, расположенные под углом друг к другу; б – увеличенный фрагмент таллома водорослей и его внутреннее строение.

четкие границы областей черного кальцитового цемента, внутри доломит-кальцитовой массы. Нам представляется, что замещение первичного карбонатного цемента ооидного осадка черным кальцитовым спаритом (рис. 2в) сопровождалось инкорпорацией органического вещества за счет деградации углефицированного детрита.

В собранной коллекции остатки представлены в виде крупных фрагментов водорослей. Для них характерна уплощенная вытянутая лентовидная (рис. 2а) и прямолинейная лопастевидная (рис. 2б) форма талломов без видимых признаков ветвления. Ширина талломов не превышает 4 мм и остается постоянной в пределах отдельных экземпляров. Максимальная длина полностью сохранившегося таллома достигает 27 мм (рис. 2в). В ряде случаев талломы примыкают основаниями друг к другу под углом 120–130° (рис. 2б). В связи с тем, что найденные остатки в своем большинстве

представлены фрагментами водорослей, чье клеточное строение пока невозможно установить, определение их систематической принадлежности остается затруднительным до находок экземпляров лучшей сохранности. Предварительно можно отметить морфологическое сходство с углефицированными лентовидными формами родов *Vendotaenia* [5], *Protoarenicola* [19] и *Liulingjitaenia* [20].

Хотя, морфологически достаточно сложные, в том числе дихотомически ветвящиеся, формы многоклеточных водорослей обнаруживаются с начала неопротерозоя [2], сопоставимые по размеру с находками из дальнетайгинской серии макроскопические водоросли (первые сантиметры) известны лишь начиная с эдиакария среди представителей Миаохонской биоты. Близкие по морфологии к некоторым таксонам Миаохонской биоты новые находки фрагментов макро-

дорослей в отложениях дальнетайгинской серии занимают более низкое стратиграфическое положение в эдиакарии, о чем свидетельствует корреляция аномалий изотопного состава углерода в разрезах Китая и юга Сибири. Так, представители Миаохенской биоты обнаружены над изотопной аномалией Шурам-Вонока [20], а остатки из дальнетайгинской серии ниже этой аномалии, прослеженной в жуинской серии [11].

Представленный выше палеонтологический материал недостаточно представлен для детальных исследований в области морфологии, гистологии, систематики и палеоэкологии. Тем не менее появляется отчетливая перспектива для поиска полноценного местонахождения углефицированных остатков макроскопических эвкарриотных водорослей в отложениях дальнетайгинской серии. Поиски следует вести в пределах силикокластических толщ верхней части уринской свиты, формировавшихся в относительно мелководных бескарбонатных условиях, в которых водоросли быстро захоронялись в тонкозернистом или глинистом осадке, а ткани слоевищ и талломов не подвергались окислению и замещению карбонатным веществом. Представляется, что палеонтологический потенциал дальнетайгинской серии еще не раскрыт, а разрез венда Уринского поднятия еще раз закрепляет статус ключевого объекта для изучения и взаимной корреляции климатических, геохимических и биосферных событий позднего докембрия.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проведено при поддержке РФФ (Проект № 20-77-10066). Полевые работы в 2019 г. проведены при поддержке гранта Правительства РФ (№ 075-15-2019-1883). Исследования соответствуют темам госзадания ГИН РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Butterfield N.J., Knoll A.H., Swett K.* A Bangiophyte Red Alga from the Proterozoic of Arctic Canada // *Science*. 1990. V. 250. P. 104–107.
2. *Tang Q., Pang K., et al.* A One-billion-year-old Multicellular Chlorophyte // *Nature Ecology & Evolution*. 2020. V. 4 (4). P. 543–549.
3. *Xiao S., Knoll A.H., et al.* Phosphatized Multicellular Algae in the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China, and the Early Evolution of Florideophyte Red Algae // *American Journal of Botany*. 2004. V. 91 (2). P. 214–227.
4. *Zhao Y., Chen M., et al.* Discovery of a Miaohé-type Biota from the Neoproterozoic Doushantuo Formation in Jiangkou County, Guizhou Province, China // *Chinese Science Bulletin*. 2004. V. 49 (20). P. 2224–2226.
5. *Гилювская М.Б.* О древнейшей тканевой дифференциации докембрийских (вендских) водорослей // *Палеонтологический журнал*. 2003. № 2. С. 92–98.
6. *Марусин В.В., Гражданкин Д.В., Маслов А.В.* Редкинский этап эволюции вендских макрофитов // *ДАН*. 2011. Т. 436. № 5. С. 658–664.
7. *Kolesnikov A.V., Marusin V.V., et al.* Ediacaran Biota in the Aftermath of the Kotlinian Crisis: Asha Group of the South Urals // *Precambrian Research*. 2015. V. 263. P. 59–78.
8. *Vykova N., LoDuca S.T., et al.* Seaweeds through Time: Morphological and Ecological Analysis of Proterozoic and Early Paleozoic Benthic Macroalgae // *Precambrian Research*. 2020. V. 350. P. 105875.
9. *Чумаков Н.М., Капитонов И.Н. и др.* Вендский возраст верхней части патомского комплекса средней Сибири: U-Pb LA-ICPMS датировки обломочных цирконов никольской и жербинской свит // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2011. Т. 19. № 2. С. 115–119.
10. *Покровский Б.Г., Чумаков Н.М. и др.* Геохимические особенности неопротерозойских “венчающих доломитов” патомского палеобассейна и проблема их генезиса // *Литология и полезные ископаемые*. 2010. № 6. С. 644–661.
11. *Чумаков Н.М., Семихатов М.А., Сергеев В.Н.* Опорный разрез вендских отложений юга средней Сибири // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2013. Т. 21. № 4. С. 26–51.
12. *Knoll A.H., Walter M.R., et al.* A New Period for the Geologic Time Scale // *Science*. 2004. V. 305. P. 621–622.
13. *Леонов М.В., Рудько С.В.* Находка вендских фоссилий в отложениях дальнетайгинской серии Патомского нагорья // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2012. Т. 20. № 5. С. 96–99.
14. *Воробьева Н.Г., Петров П.Ю.* Микробиота баракунской свиты и биостратиграфическая характеристика дальнетайгинской серии: ранний венд уринского поднятия Сибири // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2020. Т. 28. № 4. С. 26–42.
15. *Рудько С.В., Кузнецов А.Б., Петров П.Ю.* Изотопный состав Sr в известняках дальнетайгинской серии Патомского бассейна: опорный разрез венда Сибири // *Литология и полезные ископаемые*. 2020. № 3. С. 243–256.
16. *Williams G.E., Schmidt P.W.* Shuram–Wonoka Carbon Isotope Excursion: Ediacaran Revolution in the World Ocean’s Meridional Overturning Circulation // *Geoscience Frontiers*. 2018. V. 9 (2). P. 391–402.
17. *Rooney A.D., Cantine M.D., et al.* Calibrating the Coevolution of Ediacaran Life and Environment / *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2020. V. 117 (29). P. 16824–16830.
18. *Файзуллин М.Ш.* Новые данные о микрофоссилиях байкалия Патомского нагорья // *Геология и геофизика*. 1998. Т. 39. № 3. 328–337.
19. *Dong L., Xiao S., et al.* Restudy of the Worm-like Carbonaceous Compression Fossils *Protoarenicola*, *Pararenicola*, and *Sinosabellidites* from Early Neoproterozoic Successions in North China // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2008. V. 258 (3). P. 138–161.
20. *An Z., Jiang G., et al.* Stratigraphic Position of the Ediacaran Miaohé Biota and Its Constraints on the Age of the Upper Doushantuo $\delta^{13}\text{C}$ Anomaly in the Yangtze Gorges Area, South China // *Precambrian Research*. 2015. V. 271. P. 243–253.

FIRST FINDS OF FOSSIL MACROSCOPIC ALGAE IN THE REFERENCE SECTION OF THE VENDIAN IN THE SOUTH OF SIBERIAN PLATFORM**S. V. Rud'ko^{a,b,#}, A. V. Kolesnikov^{a,##}, and Academician of the RAS M. A. Fedonkin^a**^a *Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*^b *Institute of the Earth's Crust Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk, Russian Federation*[#] *E-mail: rudserega@yandex.ru*^{##} *E-mail: kolesnikov@ginras.ru*

A fossil material of the Ediacaran macroscopic algae has been found in the reference section of the Vendian of the upper part of Dal'naya Taiga Group of the Ura Uplift, south of Siberian Platform. The microfossils discovered in the upper part of the Dal'naya Taiga Group are morphologically similar to carbonaceous Miaohu biota from the Ediacaran of South China, however, they occupy a lower stratigraphic level. Thus, finding of macroscopic algal fossils both develops the understanding of evolution of marine ecosystems in the Proterozoic, and also demonstrates that palaeontological potential of one of the most representative section of the Upper Precambrian has not entirely been realised.

Keywords: Vendian, Ediacaran, Ura Uplift, Siberian Platform, macroscopic algae, Metaphyta, Ediacaran Biota