

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ, СТРАТИГРАФИЯ

Научная статья

УДК 551.733.1:552.5:561.263:561.273

doi: 10.17223/25421379/34/1

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИЗВЕСТКОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ И МИКРОФАЦИИ ВЕРХНЕОРДОВИКСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА ГОРНОГО АЛТАЯ



Илья Газинурович Закирьянов^{1,2}, Николай Валерианович Сенников³

^{1,3} Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

² Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

^{1,2} ZakiryaynovIG@gmail.com

³ SennikovNV@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Выходы ордовика на Горном Алтае имеют значительное распространение. Состав и генезис пород этого возраста также изменяются в широких пределах: известны как терригенные толщи (от аргиллита до конгломератов), так и карбонатные (известняки, доломиты и переходные разновидности) пачки. Исследуемые в настоящей работе породы смешанного терригенно-карбонатного состава содержат остатки известковых водорослей. Их, в свою очередь, можно использовать для палеогеографических реконструкций. В данной работе впервые зафиксированы известковые водоросли родов *Girvanella* Nicholson et Etheridge, 1878, *Vermiporella* Stolley, 1893, *Contexta* Gnilovskaja, 1972 и *Solenopora* Dybowski, 1878. Показана возможность их практического применения при реконструкции обстановок осадконакопления.

Ключевые слова: известковые водоросли, карбонатные породы, верхний ордовик, Горный Алтай, методика

Благодарности: авторы выражают признательность О.Т. Обут, Р.А. Хабибулиной, Д.А. Токареву и Т.А. Щербаненко за помощь при полевых исследованиях, В.А. Лучининой – за консультации в области палеоальгологии, рецензенту – за ценные замечания.

Источник финансирования: работа выполнена в рамках госзаданий РАН по фундаментальным научным исследованиям (проекты FWZZ-2022-0003, FWZZ-2022-0007, № госрегистрации 123011800013-6).

Для цитирования: Закирьянов И.Г., Сенников Н.В. Таксономический состав известковых водорослей и микрофагии верхнеордовикских образований северо-востока Горного Алтая // Геосферные исследования. 2025. № 1. С. 6–19. doi: 10.17223/25421379/34/1

Original article

doi: 10.17223/25421379/34/1

TAXONOMIC COMPOSITION OF CALCAREOUS ALGAE AND MICROFACIES OF THE UPPER ORDOVICIAN FORMATIONS OF THE NORTH-EASTERN GORNY ALTAI

Ilya G. Zakiryaynov^{1,2}, Nikolay V. Sennikov³

^{1,3} Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

² A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, Ekaterinburg, Russia

^{1,2} ZakiryaynovIG@gmail.com

³ SennikovNV@ipgg.sbras.ru

Abstract. The territory of the Gorny Altai includes a wide range of bedrock formations from the Ordovician period. The composition and origin of these rocks also varies widely, with both terrigenous layers (from argillite to conglomerate) and carbonate beds (limestone, dolomite and transitional forms) being known. For example, reef-forming bodies are exposed in the western and northwestern parts of the Gorny Altai, while normal-laminated limestone is recorded in large numbers in the northeastern part of the Gorny Altai. The Ordovician of the Gorny Altai has been studied for a long time, but there is very little information about calcareous algae in the literature. However, during field work, rock material was collected from several sections of the northeastern Gorny Altai ("Biya", "Lebed'", and "Bura"). Petrographic thin sections were made from this material. Their study showed a high content of calcareous algal remains in these outcrops. The detected remains were identified as *Girvanella* Nicholson et Etheridge, 1878, *Vermiporella* Stolley, 1893, *Contexta* Gnilovskaja, 1972 and *Solenopora* Dybowski, 1878. In addition to these calcareous

algal remains, invertebrate bioclasts such as trilobites, ostracods, corals, bryozoans, shell brachiopods, gastropods and echinoderm fragments were found in the studied strata. In addition to identifying calcareous algae, carbonate rock structures (as classified by R. Dunham with additions) and carbonate microfacies have been identified. It has been determined that microfacies of polybioclastic wackestones to packstones, algal-peloid packstones, polybioclastic-oolitic packstones to grainstones, trilobite-algal wackestones to packstones, and recrystallized silty limestones may be present in these sections. Good and average preservation of calcareous algae finds allowed us to perform their brief paleontological description and to establish that some Gorny Altai species are closely related to the apparent remains described in the Ordovician of China, East Kazakhstan, Norway, Scotland and other localities. Thus, the remains of the genus *Solenopora* were identified as *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski, *Vermiporella* was identified as *Vermiporella* aff. *diffuens* Gnilovskaja, and the preserved calcareous covers of *Girvanella* were identified as *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge, 1878. Upper Ordovician sedimentation is assumed to have occurred near the source of organogenic remains. However, it is possible that the source of clastic material was located distant from the deposition basin. At the same time, there is evidence that the energy of transport agents may have increased, leading to the formation of clastic packs. A model for the possible formation of these strata is proposed.

Keywords: calcareous algae, carbonate rocks, Upper Ordovician, Gorny Altai, methodology

Acknowledgments: the authors are grateful to O.T. Obut, R.A. Khabibulina, D.A. Tokarev and T.A. Scherbanenko for advices and assistance in collecting samples in the field, to V.A. Luchinina for paleoalgalological consultations and to the reviewer for valuable comments.

Source of financing: The investigations were done with support of the Russian Academy of Sciences on Fundamental Scientific Research (project FWZZ-2022-0003, FWZZ-2022-0007, State Registration Number 123011800013-6).

For citation: Zakiryanov I.G., Sennikov N.V. (2025) Taxonomic composition of calcareous algae and microfacies of the Upper Ordovician formations of the northeastern Gorny Altai. *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 1. pp. 6–19. (In Russian) doi: 10.17223/25421379/34/1

Введение

На территории Горного Алтая представлено большое количество выходов коренных пород ордовикского возраста. Эти породы формируют полигенетические геологические тела: так, рифогенные формы обнажены на западе и северо-западе Горного Алтая. Согласно региональной стратиграфической схеме ордовикских отложений [Сенников и др., 2018a], это Ануйско-Чуйская и Чарышско-Инская структурно-фациальные зоны (СФЗ). Нормально-слоистые известняки зафиксированы на северо-востоке Горного Алтая – в Уйменско-Лебедской СФЗ.

Несмотря на то, что ордовик Горного Алтая упоминался с 30-х гг. XX в. [Никонов, 1931], за всё время изучения крайне незначительное внимание уделялось известковым водорослям. Так, имеются лишь отдельные упоминания находок без их описания, например [Ермиков и др., 1979]. Также в литературе встречаются упоминания водорослевых «закатышей» без деталей их строения и состава [Сенников и др., 2018b]. Цель настоящей статьи – определить состав комплекса известковых водорослей в карбонатных образованиях верхнего ордовика нерифогенного генезиса и проверить возможность использования полученных данных при реконструкции обстановок осадконакопления.

Объект и методика исследований

В рамках полевых работ 2023 г. был собран каменный материал с известковыми водорослями из разрезов Уйменско-Лебедской СФЗ – разрез «Бия», «Лебедь» и «Бура», которые находятся на расстоянии 80,

96 и 100 км соответственно восточнее г. Горно-Алтайск (рис. 1, 3). Для изучения органогенных остатков в продольном, поперечном и косом сечений из образцов были сделаны шлифы в трёх плоскостях.

Микрофациальный анализ карбонатов был основан на изучении состава известняков в шлифах согласно [Flügel, 2010]. Структуры известняков определялись на основе классификации Р. Данхэма [Dunham, 1962] с дополнениями А. Эмбри и Дж. Клована [Embry, Klován, 1971], В. Райта [Wright, 1992], включая замечания С. Локье и М. Юнайби [Lokier, Junaibi, 2016].

Под термином «известковые водоросли» авторами понимаются остатки цианобактерий и водорослей (зелёных, красных и др.), сохранившиеся благодаря обызвествлению (частичному или полному) слоевищ и талломов согласно [Амон, 2011]. Вопросы систематики всей группы «известковых водорослей» в рамках настоящей статьи не рассматриваются.

Результаты исследований

Краткое описание карбонатных пачек разреза «Бия». На правом берегу р. Бия выше устья руч. Чеченек расположены выходы коренных пород хорошей обнажённости общей мощностью около 180 м (рис. 2, 3). Это верхнеордовикский разрез «Бия», упоминающийся в относительно небольшом количестве работ XX в. [Сенников и др., 1959; Кульков и Севергина, 1989], впервые послойно описанный Н.В. Сенниковым с соавторами [Сенников и др., 2018b].

В разрезе присутствуют отложения сандбийского и катийского веков в составе двух свит: гурьяновской (её нижней и верхней подсвит) (пачки 1–23) и чеборской (пачка 24). В строении нижнегурьяновской подсвиты наблюдаются известняки, преимущественно глинистые, которые чередуются с

терригенными породами – песчаниками, алевролитами и аргиллитами. В верхнегурьяновской подсвите, в свою очередь, преобладают кластические породы над карбонатными. Последние чаще всего образуют слои мощностью 5–60 см, единично до 1–2 и более метров.

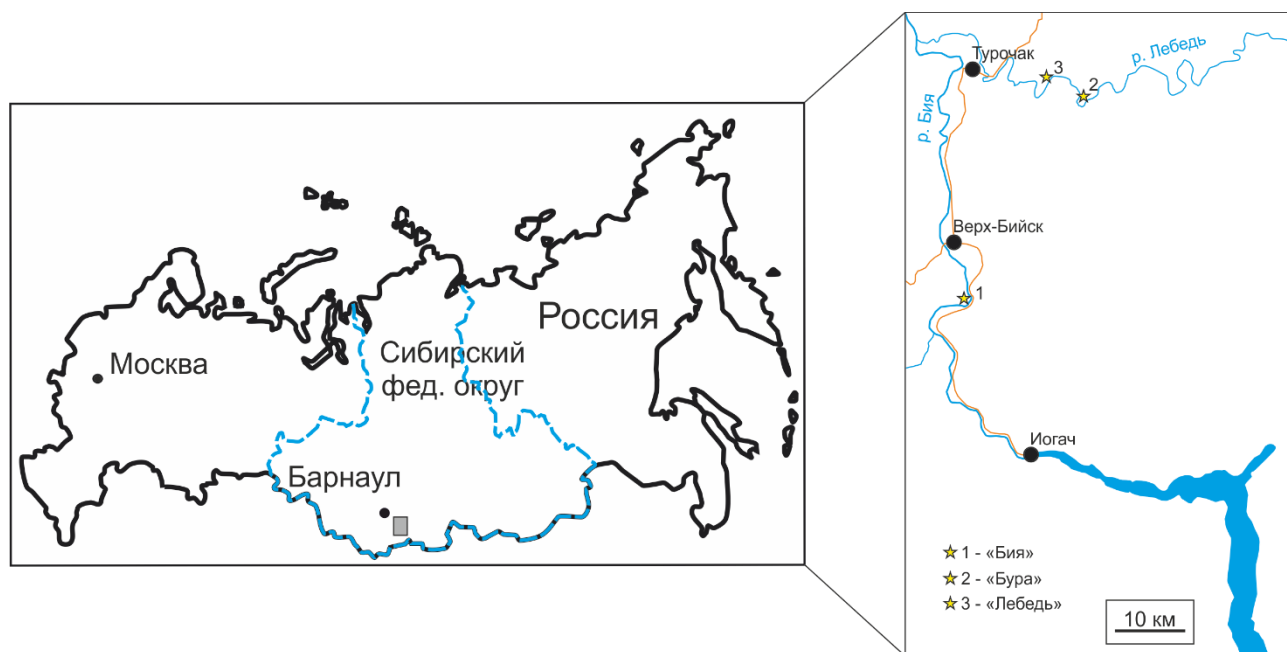


Рис. 1. Географическое положение изученных ордовикских разрезов

Fig. 1. Geographical position of the studied Ordovician sections

Приведем детализированное описание пачек разреза «Бия», содержащих остатки водорослей и микропроблематики.

Пачка 7 (мощностью 12 м) сложена полибиокластовыми вакстоунами. Среди биокластов отмечаются фрагменты трилобитов, гастропод, члеников криноидей и обломки колониальных известковых водорослей *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge, 1878 и *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski (рис. 4, а–е). Кроме биокластов, в шлифах диагностируются карбонатные интракласты. Соотношение форменных элементов и микрита составляет 1:4. Нередки линзы (мощностью до 6 мм) глинистых известняков с биокластами раковинных организмов – трилобитов, реже брахиопод. В незначительном количестве (не более 1 % от площади шлифа) присутствует терригенная примесь: зёрна кварца мелкоалевритовой размерности, плохо- и неокатанные, угловатые.

Пачка 18 (мощностью 0,6 м) представлена водорослево-пелоидными пакстоунами, участками до вакстоунов. Установлены биокласты известковых водо-

рослей *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski, в незначительных количествах – фрагменты члеников криноидей и раковин брахиопод. Отмечается неотчётливая ориентировка пелоидов. Известняки незначительно иссечены маломощными трещинами, выполненными кальцитом и ориентированных по направлению, совпадающим с ориентировкой пелоидов. Более развиты микростилолитовые швы небольших амплитуд, выполненные смесью глинистого и органического вещества. Кластический материал по своей характеристике аналогичен таковому в пачке 7.

Пачка 20 (мощностью 1,2 м) – биокластово-оолитовые пакстоуны до грейнстоунов. Немногочисленные (до 10–15 % от площади шлифа) биокласты представлены фрагментами мшанок и известковых водорослей, раковин трилобитов и брахиопод. Размер обломков раковинной фауны увеличивается по сравнению с пачками 18 и 7. Оолиты субизометричной, реже слабоудлинённой формы, имеют хорошую и среднюю сохранность. Содержание форменных элементов в породах достигает 40 % (от площади

шлифа). Размер кластического материала также увеличивается до крупноалевритового, единично до песчаного (диаметром 1 мм). При этом возрастает количество эффузивных интракластов при сохранении общей доли силикокластики на уровне 1–2 % от площади шлифа.

Карбонатная пачка 23 (мощностью 2,3 м), сложенная полибиокластово-оолитовыми грейнстоунами, завершает верхнегурьяновскую подсвиту. Из биокластов здесь отмечаются фрагменты раковин трилобитов (преобладают) и брахиопод, реже членики криноидей и обломки красных водорослей *Contexta* sp. (рис. 4, f). Оолиты, несмотря на свой размер (в диаметре до 0,5 мм), имеют среднюю и плохую сохранность. Изредка наблюдается регенерация оолитов. Содержание силикокластики достигает 3–5 %, а в слоях обогащения углито-глинистым материалом – до 25 %. Участками отмечается пятнистое строение за счёт субизометричных интракластов (достигающих в диаметре 3–4 мм) известняков алевритовых, слабо глинистых.

Пачка 24 (мощностью более 8 м) – полибиокластово-оолитовые грейнстоуны алевритовые, песчаные. Биокласты, среди которых часто встречаются обломки колоний *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge (рис. 4, c–d), аналогичны таковым из пачки 23, однако значительную долю породы (около 25–30 % от площади шлифа) составляет терригенная примесь. Она представлена зёрнами кварца, плагиоклаза, обломками эффузивных пород и кварцитами. Акцессорные минералы представлены цирконом. Участками встречаются сульфиды железа (пирит).

Пачка 24 (мощностью более 8 м) – полибиокластово-оолитовые грейнстоуны алевритовые, песчаные. Биокласты, среди которых часто встречаются обломки колоний *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge (рис. 4, c–d), аналогичны таковым из пачки 23, однако значительную долю породы (около 25–30 % от площади шлифа) составляет терригенная примесь. Она представлена зёрнами кварца, плагиоклаза, обломками эффузивных пород и кварцитами. Акцессорные минералы представлены цирконом. Участками встречаются сульфиды железа (пирит).



Рис. 2. Панорама верхней части разреза «Бия» [фотография Обут О.Т., интерпретация Печериченко Д.А.]

Fig. 2. Panorama of the upper part of the "Biya" section
[photo by Obut O.T., interpretation by Pecherichenko D.A.]

Краткое описание изученных карбонатных пачек разреза «Бура». Разрез «Бура», вскрывающийся в правом борту р. Лебедь выше устья одноимённой реки, является по большей части одновозрастным разрезу «Бия» (см. рис. 3, рис. 5). В его составе выделяются ниже- и верхнегурьяновская подсвиты сандбийского яруса верхнего отдела ордовикской системы. Отличительной особенностью от бийского разреза является преобладание карбонатных пачек над терригенными. Разрез «Бура» общей мощностью около 170 м является стратотипитом гурьяновской свиты. Однако изменение положения русла реки и развитие растительности привели к задернованности части разреза. По данным предыдущих исследований [Сенников, 1962; Кульков, Севергина, 1989;

Сенников и др., 20186], общая мощность стратотипа с учётом недоступной для изучения части составляет около 400–500 м. Дополнительный отбор проб авторами настоящей статьи был произведён из пачек 4, 10, 12 и 13.

Ниже дано детализированное описание пачек разреза «Бура», содержащих остатки водорослей и микропроблематики.

Пачка 4 сложена полибиокластовыми вакстоунами. Биокласты представлены многочисленными фрагментами брахиопод, гастропод, члениками криноидей, обломками кораллов, мшанок и известковых водорослей *Vermiporella* aff. *diffuens* Gnilovskaja (зелёных) и *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge (микропроблематик).

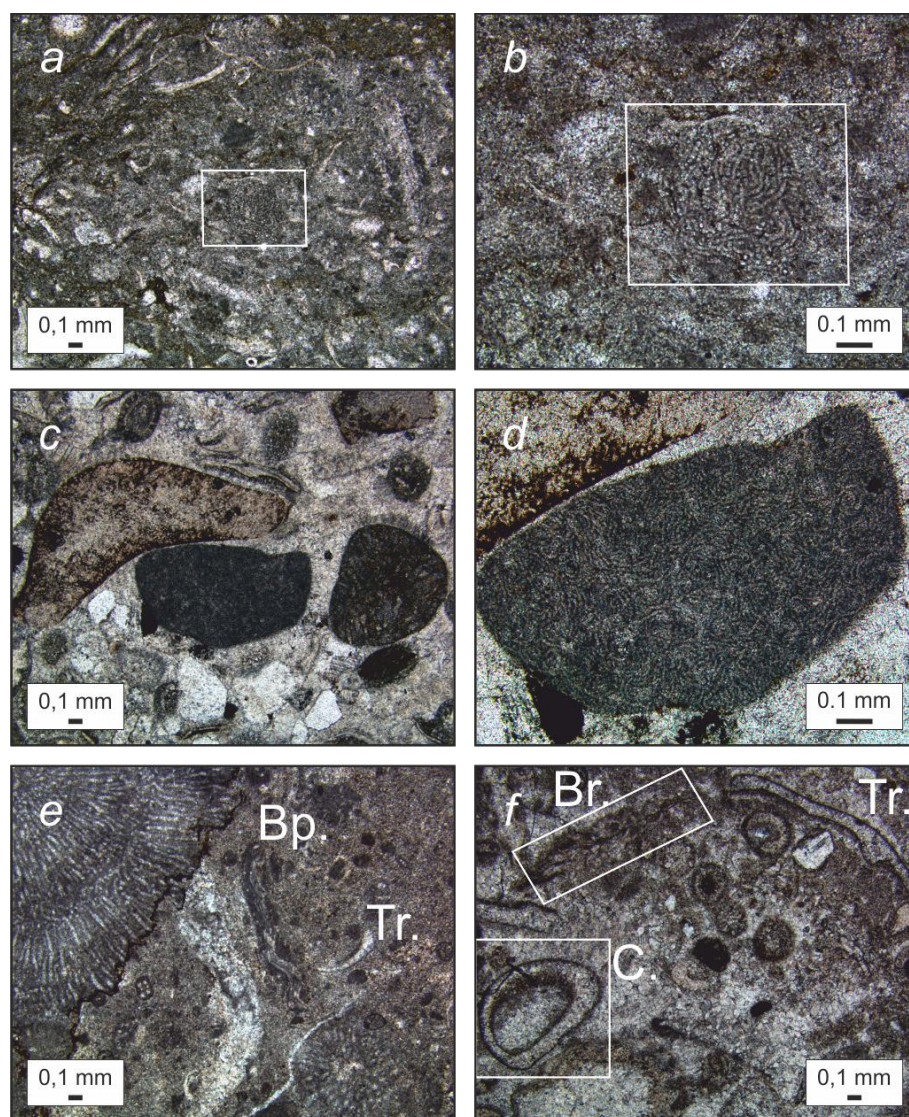


Рис. 4. Особенности строения карбонатных пород разреза «Бия» в шлифах. Николи параллельны
a–d – Girvanella problematica Nicholson et Etheridge, 1878: *a, b* – в прижизненном положении (пачка 7); *c, d* – в виде обломка колоний (пачка 24); *e* – обломки талломов красных водорослей *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski и фрагменты раковин трилобитов (Tr.), брахиопод (Br.) и микропроблематик (пачка 7); *f* – биокласты мшанок (Br.), трилобитов (Tr.), красных водорослей *Contexta* sp. (C.) и оолитов средней сохранности (пачка 23)

Fig. 4. Peculiarities of the structure of carbonate rocks of the section "Biya" in thin sections. Passing light
a–d – Girvanella problematica Nicholson et Etheridge, 1878: *a, b* – *in situ* (Member 7); *c, d* – as fragment of colonies (Member 24); *e* – fragments of thalloms of red algae *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski and fragments of shells of trilobites (Tr.), brachiopods (Br.) and microproblematic (Member 7); *f* – bioclasts of bryozoans (Br.), trilobites (Tr.), red algae *Contexta* sp. (C.) and oolites of medium preservation (Member 23)

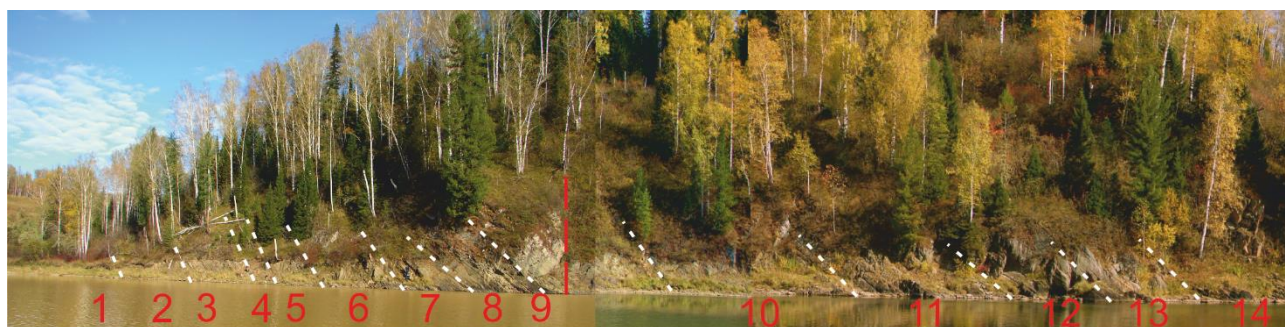


Рис. 5. Панорама нижней части разреза «Бура»

Fig. 5. Panorama of the lower part of the "Bura" section

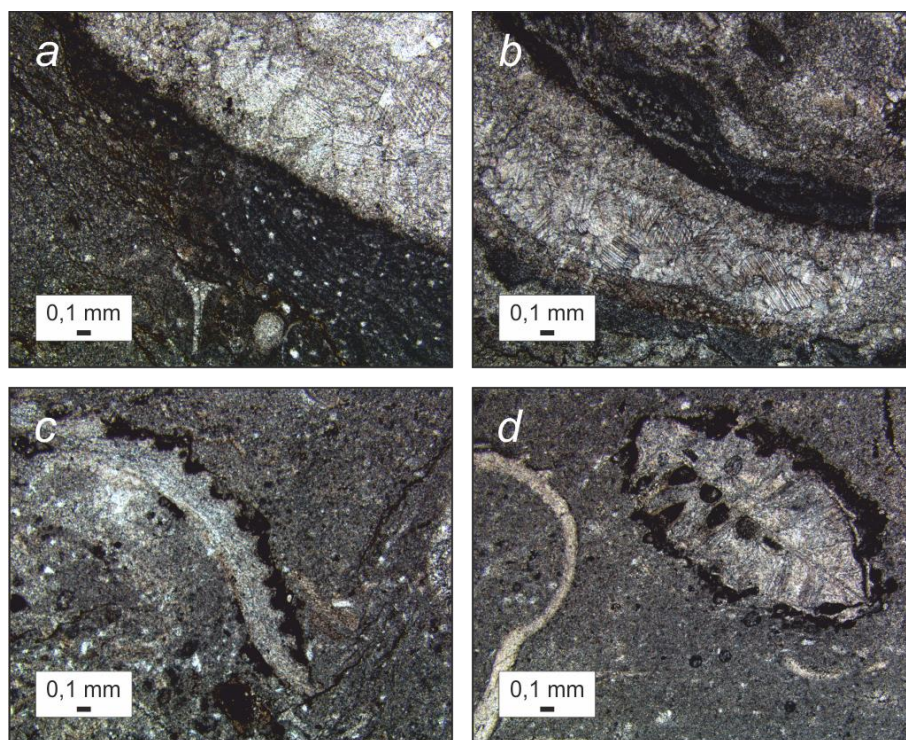


Рис. 6. Микритизация биокластов в разрезе «Бура»

a, b – формирование микритовой корочки колониями *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge, 1878 (*a* – пачка 4, *b* – пачка 10); *c* – микритизация фрагмента раковины брахиоподы (пачка 13); *d* – микритизация обломка мшанок (пачка 13). Никколи параллельны

Fig. 6. Micritization of bioclasts in the "Bura" section

a, b – formation of micrite crust by colonies of *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge, 1878 (*a* – Member 4, *b* – Member 10); *c* – micritization of a brachiopod shell fragment (Member 13); *d* – micritization of a bryozoan fragment (Member 13). Passing light

Доля терригенной примеси, представленной зёрнами кварца мелкоалевритовой размерности, не превышает 1–2 %. Порода пронизана многочисленными трещинами, направление которых совпадает с ориентировкой крупных биокластов. Трещины маломощные (до 0,01 мм), выполнены смесью глинистых минералов и гематита, который иногда формирует кристаллы. Предположительно, гематит является псевдоморфозой по пириту, развивавшемуся по органическому веществу. Некоторые биокласты подвержены микритизации, которая является результатом деятельности бактериальных сообществ (см. рис. 6).

Пачка 10 представлена полибиокластовыми вакстоунами, участками до пакстоунов. Из биокластов фиксируются фрагменты брахиопод, гастропод, членики криноидей, мшанки, кораллы, проблематики и остатки красных водорослей *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski. Среди других форменных элементов наблюдаются пелоиды и онколиты. В центре последних – интракласты перекристаллизованных известняков, которые окружены оболочкой известковых водорослей *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge. Близкое строение наблюдается и у пелоидов (они, в отличие от онколитов, полностью состоят

из почти нацело микритизированных реликтов *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge). Участками отмечаются прерывистые маломощные слойки (до 0,02 мм), выполненные смесью гематитизированных кристаллов пирита и глинистого материала. Кластический материал присутствует только в линзах (мощностью до 6 мм), обогащённых тонкоагрегатной смесью глинистых минералов.

В строении пачки 12 участвуют полибиокластово-оолитовые пакстоуны до грейнстоунов. Редкие биокласты представлены фрагментами панцирей трилобитов, гастропод, члениками криноидей и зелёными водорослями *Vermiporella* aff. *diffuens* Gnilevskaja. Оолиты хорошей и средней сохранности, в их центре находятся микритизированные элементы, вокруг которых развиваются радиально-лучистые кристаллы кальцита. В некоторых случаях вокруг оолитов может присутствовать внешняя стенка толщиной до 0,07 мм. Размер самих оолитов достигает 0,5 мм. Доля кремнекластического материала (преимущественно кварцевых зёрен) в основной породе составляет 2–3 %. Встречаются слойки и линзы мощностью до 0,8 мм, выполненные алевритом мелкозернистым, глинистым.

Пачка 13, состоящая из полибиокластовых вакстоунов, по особенностям строения похожа на вакстоуны пачки 4. Из биокластов здесь преобладают трилобиты, реже – брахиоподы, криноидеи, мшанки, зелёные *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja и филлоидные водоросли. Редкие крупные форменные элементы подвержены микритизации (см. рис. 6). Содержание кремнеклястики варьирует в пределах 2–3 % в вакстоунах до 5–7 % в слоях обогащения глинистым материалом (мощностью до 1 мм).

Краткое описание изученных карбонатных пачек разреза «Лебедь». Изученная часть разреза «Лебедь» (фрагмент разреза на рис. 8), вскрывающегося в правом борту одноимённой реки в 300 м от бывшей д. Стретинка вверх по течению, относится к гурьяновской свите верхнего ордовика. Здесь наблюдается

чередование терригенных и карбонатных пачек приблизительно в соотношении 1:1. Опробование показало, что известковые водоросли фиксируются в пачках 5–7, 9 и 11. Далее приведено детализированное описание этих пачек.

Пачка 5 сложена алевролитами тонкозернистыми, глинистыми, слабо карбонатистыми. Текстура неотчётливая микрослоеватая за счёт ориентировки слабо удлинённых зёрен. В породе присутствуют обломки мшанок и фрагменты раковин брахиопод. Фиксируются линзы полибиокластовых пакстоунов мощностью менее 1 см. Среди биокластов наблюдаются остатки криноидей, трилобитов, фрагменты гастропод и обломки известковых красных водорослей *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski и микропроблематик *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge.

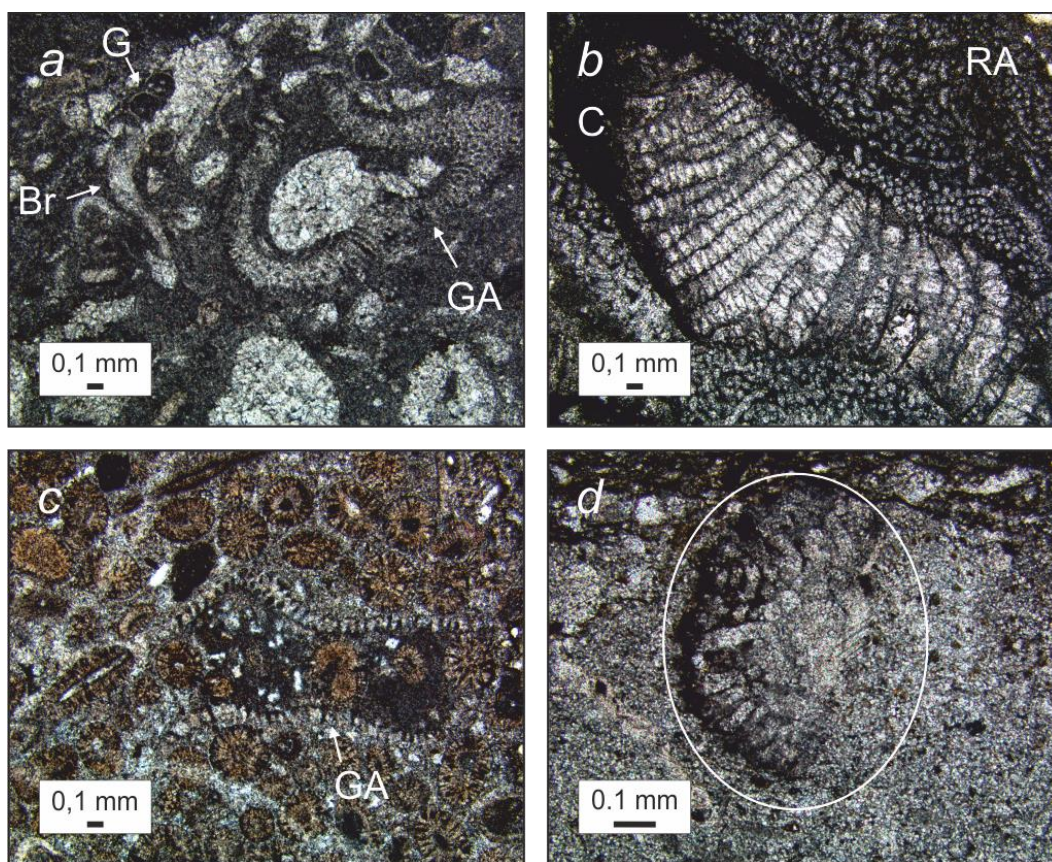


Рис. 7. Фотографии некоторых биокластов разреза «Бура»

a – полибиокластовый вакстоун пачки 4 с биокластами гастропод (G), брахиопод (Br) и зелёных водорослей *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja (GA); b – колония красных водорослей *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski (RA) растёт по обломку кораллов (C), пачка 10; c – биокласт зелёных водорослей *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja в полибиокластово-оолитовом пакстоуне пачки 12; d – биокласт красных водорослей *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski (RA) плохой сохранности в полибиокластовом вакстоуне пачки 13. Николи параллельны

Fig. 7. Photographs of some bioclasts from the "Bura" section

a – polybioclastic wackestone of Member 4 with bioclasts of gastropods (G), brachiopods (Br) and green algae *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja (GA); b – colony of red algae *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski (RA) growing on coral fragment (C), Member 10; c – bioclast of green algae *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja in polybioclast-oolite packstone of Pack 12; d – bioclast of red algae *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski (RA) of poor preservation in the polybioclastic wackestone, Member 13. Passing light



Рис. 8. Панорама средней части разреза «Лебедь»

Fig. 8. Panorama of the middle part of the "Lebed'" section

Пачка 6 представлена трилобитовыми (?) вакстоунами. Среди биокластов (за исключением трилобитов) присутствуют редкие фрагменты брахиопод и гастропод, членики криноидей, обломки мшанок и известковых зелёных водорослей *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja. Содержание терригенной примеси составляет 15–20 %. Она представлена преимущественно мелкоалевритовыми зёрнами кварца и единичными обломками калиевых полевых шпатов субизометричной формы размером 0,15 мм. Зёрна чаще всего полуокатанные. Наблюдаются разноориентированные маломощные (не более 0,02 мм) прерывистые глинистые слои.

Пачка 7 – перекристаллизованные алевритовые известняки (бывшие трилобитово-криноидные вакстоуны?). Интенсивно развитая перекристаллизация известняков почти полностью скрыла первичную структуру. Сохранились биокласты трилобитов, фрагменты члеников криноидей, реже – известковые водоросли *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja (плохой сохранности) и остатки неясной систематической принадлежности. Встречаются интракласты стромаголитов. Содержание обломков кварца достигает 25–30 %, в прослоях (мощностью менее 1 мм) – до 40 %. Повсеместно развиты глинистые слои мощностью не более 0,15 мм. Единичные органические остатки пиритизированы.

Пачка 9 – трилобитово-водорослевые вакстоуны до пакстоунов. В этих породах отмечается повышенное содержание обломков трилобитов и известковых водорослей *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja. Другие биокласты представлены обломками гастропод, остракод, криноидей, мшанок. Содержание кремнекlastики в виде кварца достигает 15–20 % от площади шлифа. Повсеместно развиты глинистые слои мощностью не более 0,25 мм.

Пачка 11 – полибиокластовые вакстоуны до пакстоунов. Биокласты представлены обломками известковых водорослей (*Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja, реже *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge, 1878 и *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski), гастропод, редкими члениками криноидей и единичными фрагментами брахиопод. Единичные

органические остатки незначительно микритизированы в связи с жизнедеятельностью *Girvanella*. Терригенная примесь представлена полуокатанными мелкими субизометричными (диаметром до 0,05 мм) и слабо удлинёнными (размером до 0,03 × 0,08 мм) зёрнами кварца. Содержание её не превышает 10–15 % от площади шлифа. Стиллитовые швы малоамплитудные, секут форменные элементы. Некоторые стиллитовые швы накладываются на трещины (толщиной менее 0,2 мм), выполненные спаритовым кальцитом.

Описание таксонов изученных алтайских верхнеордовикских водорослей и микропроблематик

О Т Д Е Л Chlorophyta Pascher, 1914

Род *Vermiporella* Stolley, 1893

Vermiporella aff. *diffluens* Gnilovskaja

Рис. 7, а, с; рис. 9, с–е

Описание и размеры. Известковая часть таллома имеет изогнутую форму. Оболочки не смыкаются полностью (см. рис. 7, а, с). В некоторых срезах присутствует спаритовый кальцит – результат заполнения щели, рассекающей массу органического кальцита согласно [Гниловская, 1972].

Длина, мм	Ширина, мм	Толщина стенки, мм		Внутренний диаметр, мм	
		От	До	От	До
2,5	0,8	0,12	0,25	0,29	0,95
1,0	0,44	0,12	0,45	0,25	0,62
1,94	1,17	0,07	0,16	0,14	0,26

З а м е ч а н и я. Алтайские находки по своей форме весьма близки к виду *V. diffluens* Gnilovskaja, 1965, от которого отличаются меньшим размером. Возможно, этот фактор является следствием особенностей экосистемы.

М а т е р и а л. Значительное количество талломов в разрезах «Бура» (пачка 4 точка 226, пачка 12 точка 230, пачка 13 точка 231) и «Лебедь» (пачка 6 точка 223, пачка 7 точки 221 и 222, пачка 9 точка 218, пачка 11 точка 215).

ОТДЕЛ Rhodophyta Pascher, 1925

Род *Contexta* Gnilovskaja, 1972

Contexta sp.

Рис. 4, f

Описание и размеры. Поперечное сечение таллома алтайских форм слабоудлинённой формы, достигающие в ширину 700 мкм и в длину 1000 мкм. Таллом имеет двучленное строение: внутренняя часть (размером 370–600 мкм) выполнена мелкокристаллическими субизометрическими кристаллами кальцита размером менее 10 мкм. Внешний слой (толщиной 60–200 мкм) представлен спаритовым кальцитом, размер кристаллов которого не превышает 30 мкм. Имеются две микритовые стенки: толщина внешней относительно постоянна и не превышает

24 мкм, а толщина внутренней изменяется в пределах 20–60 мкм.

Замечания. От всех известных видов рода *Contexta* алтайские находки отличаются строением таллома. В частности, *Contexta sphaerica* имеет внутреннюю часть, сложенную мелкокристаллическим кальцитом и отделённую микритовой стенкой от внешнего слоя, выполненного радиаксиальным кальцитом. *Contexta capitata* похожа на *Contexta sphaerica*. Талломы *Contexta binata* пронизаны хорошо выраженными нитями, что наблюдается в их сечениях и что отсутствует в изучаемых находках. А *Contexta tumidula* имеет иное строение таллома, отличное от алтайских находок.

Материал. Три таллома в разрезе «Бия» (пачка 23 точка 203).

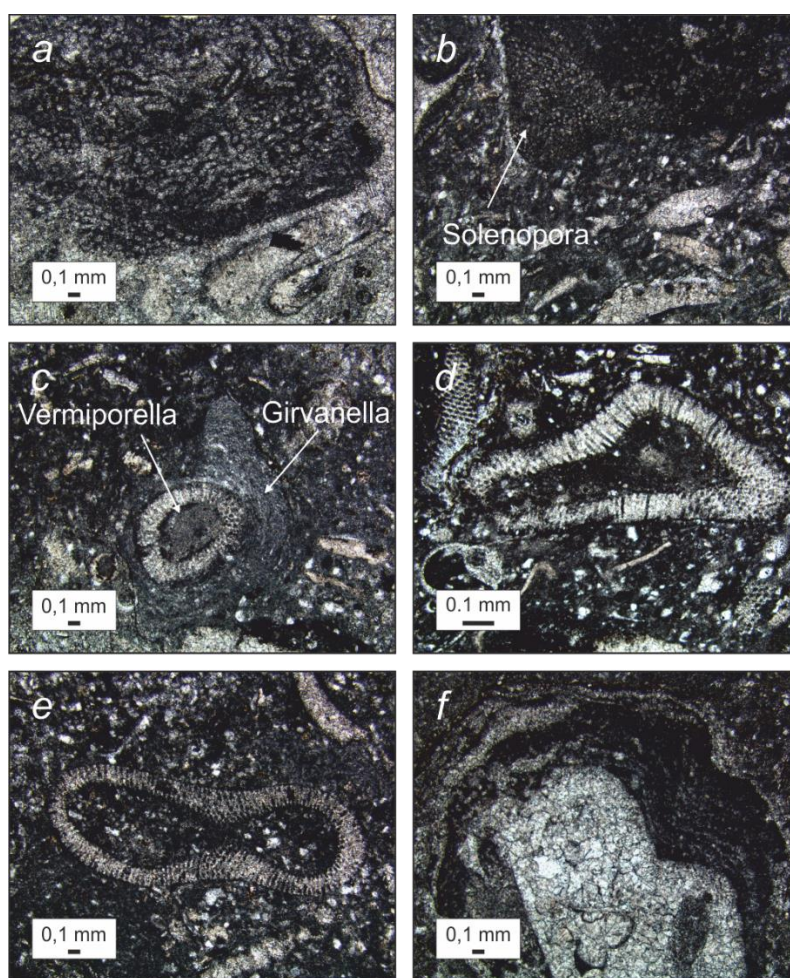


Рис. 9. Известковые водоросли разреза «Лебедь»

a, b – биокласты *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski; c – вокруг таллома *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja развиваются *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge, 1878; d, e – фрагменты *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja; f – слоевища *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge, 1878 обволакивают перекристаллизованный интракласт. Никели параллельны

Fig. 9. Calcareous algae of the "Lebed'" section

a, b – bioclasts of *Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski; c – *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge, 1878 develop around the thallus of *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja; d, e – fragments of *Vermiporella* aff. *diffluens* Gnilovskaja; f – filaments of *Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge, 1878 envelope the recrystallized intraclast. Natural light

Под *Solenopora* Dybowski, 1878
***Solenopora* aff. *spongoides* Dybowski**

Рис. 4, e; рис. 7, b, d; рис. 9, a, b

Описание и размеры. Талломы состоят из грубых нитей. Гипоталлий и органы размножения не наблюдаются. Длина клеток периталлия составляет 51–145 мкм, ширина 32–61 мкм. Толщина стенки 5–28 мкм. Клетки расходятся веерообразно.

Замечания. От вида *S. compacta* Billings, 1885 отличается строением клеток. От других видов рода *Solenopora* отличается формой клеток (у алтайских находок клетки округлые, субизометричные, имеют тонкую стенку) и расположением нитей (в изученных образцах нити имеют более сложные и неправильные взаимоотношения). По размерам клеток, согласно данным В. П. Маслова [1962], похожа на *S. spongoides* Dybowski, однако алтайские соленопоровые характеризуются меньшей средней длиной клетки (менее 10 мкм). В связи с этим нет полной уверенности, что обнаруженные остатки можно отнести к виду *S. spongoides* Dybowski несмотря на их близость.

Материал. Более десяти талломов из разрезов «Бия» (пачка 7 точка 208, пачка 18 точка 205), «Бура» (пачка 10 точка 228, пачка 13 точка 231) и «Лебедь» (пачка 5 точка 224, пачка 7 точка 222, пачка 11 точка 215).

Calcified Microproblematica

Под *Girvanella* Nicholson et Etheridge, 1878

***Girvanella problematica* Nicholson et Etheridge, 1878**

Рис. 4, a–d; рис. 6, a, b; рис. 9, c, f

1878 *Girvanella problematica* Nicholson & Etheridge: 23, pl. 9, fig. 24.

1890 *Girvanella ducii* Wethered: 280, pl. 11, fig. 2, a–c.

1932 *Girvanella problematica* Nicholson & Etheridge; Høeg: 64, pl. 1, figs 4–6.

1981 *Girvanella problematica* Nicholson & Etheridge; Bourque et al.: 95, pl. 1, figs 2–4.

2001 *Girvanella problematica* Nicholson & Etheridge; Riding & Fan: 789, text-figure 3, B, C.

2011 *Girvanella problematica* Nicholson & Etheridge; Liu et al.: 495, pl. I, fig. 4.

2016 *Girvanella problematica* Nicholson & Etheridge; Liu et al.: 188, fig. 4, B.

2021 *Girvanella problematica* Nicholson & Etheridge; Liu et al.: 5, fig. 4.1.

Описание. Трубочатые нити длинные, часто и тесно сплетены между собой. Диаметр нитей 12–15 мкм, толщина стенки 2–4 мкм.

Сравнение. Описываемый вид отличается от большинства представителей рода *Girvanella* размерами клеток.

Замечания. Гирванеллы могут встречаться как в виде нитчатых обломков (см. рис. 4, d), так и колоний, обволакивающих другие форменные элементы, в том числе с образованием желвачков (см. рис. 6, a, b).

Материал. Десятки остатков в виде биокластов, состоящих из сплетённых трубчатых нитей хорошей сохранности, обнаруженные в разрезах «Бия» (пачка 7 точка 208, пачка 24 точка 200), «Бура» (пачка 4 точка 226, пачка 10 точка 228) и «Лебедь» (пачка 6 точка 223, пачка 7 точка 222, пачка 11 точка 215).

Обсуждение и выводы

В разрезе «Бия» зафиксированы остатки колониальных известковых водорослей *Girvanella* и *Solenopora*, а также обломки красных водорослей *Contexta*. При этом отмечаются чаще всего в виде обломков колоний и крайне редко в прижизненном положении. Фактором, указывающим на то, что найденные остатки известковых водорослей являются чаще всего обломками, а не формами в прижизненном положении, являются чёткие, резкие границы с вмещающей массой (микритом или цементом), подчёркнутые часто стилолитовыми швами (см. рис. 4, e), а также развитыми на внешней стенке инкрустирующими кальцимикробами и связанной с этим микритизацией (см. рис. 6).

В то же время в разрезе «Бура» установлены остатки зелёных водорослей *Vermiporella*, красных водорослей *Solenopora* и кальцимикробов *Girvanella*. В этом местонахождении встречаются не только биокласты *Solenopora* и *Girvanella*, но и их прижизненные формы. Причём представители этих родов здесь чаще всего растут на фрагментах беспозвоночных, т.е. являются инкрустирующими формами.

В некоторых пачках разреза «Лебедь» установлены остатки *Girvanella*, *Solenopora* и *Vermiporella* с преобладанием последних. При этом остатки известковых водорослей обнаружены в виде биокластов, но также встречаются и прижизненные формы гирванелл, формирующих корки и желваки вокруг других форменных элементов.

Необходимо отметить, что в ~50 км с юго-востоку в разрезе «Верхний Турочак» были обнаружены онколиты, состоящие на 80–90 % из известковых водорослей рода *Solenopora* хорошей сохранности. Такие онколиты называют родоидами [Сенников и др., 2022]. В разрезе «Бура», вероятно, можно наблюдать одну из стадий формирования родоидов (см. рис. 7, b).

Значительное количество биокластов в целом и известковых водорослей в частности говорит о близком расположении предполагаемого источника сноса органогенных остатков.

На это указывает средняя и хорошая сохранность биокластов и других форменных элементов (например, оолитов). Однако в этих разрезах также высока доля терригенного материала, что подразумевает

нахождение области осадконакопления вблизи берега. На основании этих фактов предполагается, что формирование отложений происходило в проксимальной части литорали. Это предположение согласуется с ранними результатами исследований [Сенников и др., 20186], при этом оно дополняется данными по распределению известковых водорослей в разрезах «Бура» и «Бия».

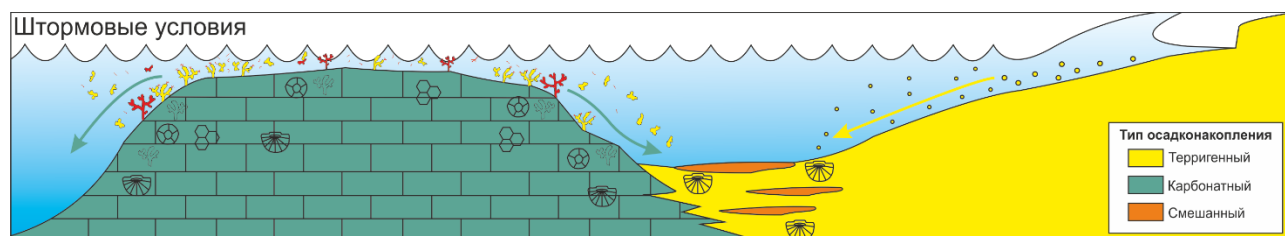


Рис. 10. Возможная модель перемешивания карбонатных и терригенных ордовикских отложений на северо-востоке Горного Алтая по [Mount, 1984; Chiarella et al., 2017], вне масштаба

Fig. 10. Possible mixing pattern of carbonate and terrigenous Ordovician sediments in the northeastern of the Gorny Altai by [Mount, 1984; Chiarella et al., 2017], out of scale

Вопросы причин и возможных механизмов формирования смешанных терригенно-карбонатных разрезов поднимались в значительном количестве литературы. Среди причин образования таких сложных типов разрезов выделяются экстремальные (штормовые) погодные условия во время осадконакопления или быстрые колебания уровня моря от высокого стояния к низкому [Chiarella et al., 2017]. При этом возможны как минимум три случая седиментации. Одна

из этих моделей, разобранный в работах [Mount, 1984; Chiarella et al., 2017], могла осуществляться и во время формирования ордовикских отложений на северо-востоке Горного Алтая (см. рис. 10). Дальнейшие работы детализируют строение пачек, наличие и распределение известковых водорослей и других форменных элементов, так как в рамках настоящей статьи из-за ограниченного фактического материала это сделать не представляется возможным.

Список источников

- Амон Э.О. Палеонтология микрофоссилий (микрорпалеонтология) : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во УГТУ, 2011. 520 с.
- Гниловская М.Б. Известковые водоросли среднего и позднего ордовика Восточного Казахстана. Л. : Наука, 1972. 196 с.
- Ермиков В.Д., Зейферт Л.Л., Петрунина З.Е., Пузырев А.А., Сенников Н.В. Тремадок северной части Горного Алтая // Геология и геофизика. 1979. Т. 20, № 11. С. 21–34.
- Кульков Н.П., Севергина Л.Г. Стратиграфия и брахиоподы ордовика и нижнего силура Горного Алтая. Новосибирск : Наука, 1989. 223 с.
- Маслов В.П. Ископаемые багряные водоросли СССР и их связь с фациями. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 222 с.
- Никонов А.А. Очерки геологии и стратиграфии Тигерекско-Чинетинского района в Рудном Алтае // Труды Гл. геол.-развед. упр. 1931. Вып. 28. С. 31–46.
- Печериченко Д.А., Обут О.Т., Сенников Н.В. Новые данные по верхнеордовикским конодонтам гурьяновской свиты северо-востока Горного Алтая // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2021. № 4 (48). С. 3–11.
- Сенников В.М. Ордовик Уйменско-Лебедского синклиория Горного Алтая. Материалы по региональной геологии // Труды СНИИГиМС. Вып. 24. М. : Госгеолтехиздат, 1962. С. 116–133.
- Сенников В.М., Винкман М.К., Кононов А.Н. Кембро-ордовик и ордовик Горного Алтая // Материалы по региональной геологии. М. : Госгеолтехиздат, 1959. С. 51–66.
- Сенников Н.В., Обут О.Т., Изох Н.Г., Киприянова Т.П., Лыкова Е.В., Толмачева Т.Ю., Хабибулина Р.А. Региональная стратиграфическая схема ордовикских отложений западной части Алтае-Саянской складчатой области (новая версия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2018а. № 7. С. 15–53.
- Сенников Н.В., Обут О.Т., Толмачева Т.Ю., Лыкова Е.В., Хабибулина Р.А. Верхний ордовик северо-востока Горного Алтая: строение и условия формирования // Геология и геофизика. 2018б. Т. 59, № 1. С. 89–107.
- Сенников Н.В., Закирьянов И.Г., Вараксина И.В. О фациальных особенностях верхнеордовикских карбонатов Прителецкой зоны Горного Алтая // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : материалы XVIII международной научной конференции (г. Новосибирск, 18–20 мая 2022 г.). Новосибирск, 2022. Т. 2, № 1. С. 216–222.
- Chiarella D., Longhitano S.G., Tropeano M. Types of mixing and heterogeneities in siliciclastic-carbonate sediments // Marine and Petroleum Geology. 2017. V. 88. P. 617–627. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2017.09.010

- Danham R.J.** Classification of carbonate rocks according to depositional texture // *Symposium Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 1962. V. 1. P. 108–121.
- Embry A.F., Klován J.E.** A late devonian reef tract on north-eastern Banks Island Northwest Territories // *Bull. Can. Petrol. Geol.* 1971. V. 19, № 4. P. 730–781.
- Flügel E.** *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application/ Second Edition.* Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 984 p.
- Lokier S.W., Al Junaibi M.** The petrographic description of carbonate facies: are we all speaking the same language? // *Sedimentology*. 2016. V. 63 (7). P. 1843–1885.
- Mount J.F.** Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments // *Geology*. 1984. V. 12. P. 432–435.
- Wright V.P.** A revised classification of limestones // *Sediment. Geol.* 1992. V. 76, № 3–4. P. 177–185.

References

- Amon Je.O. *Paleontologija mikrofossilij (mikropaleontologija): Uchebnoe posobie* [Paleontology of microfossils (micropaleontology): Textbook]. Ekaterinburg: URSMU, 2011. 520 p. In Russian
- Gnilovskaja M.B. *Izvestkovye vodorosli srednego i pozdnego ordovika Vostochnogo Kazakhstana* [Calcareous algae of the Middle and the Upper Ordovician of Eastern Kazakhstan]. Leningrad: Izdatel'stvo "Nauka", Leningradskoe otdelenie, 1972. 196 p. In Russian
- Ermikov V.D., Zeifert L.L., Petrunina Z.E., Puzyrev A.A., Sennikov N.V. *Tremadok severnoj chasti Gornogo Altaja* [Tremadoc of the northern part of the Gorny Altai] // *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics]. 1979. V. 20. No. 11. pp. 21–34. In Russian
- Kul'kov N.P., Severgina L.G. *Stratigrafija i brachiopody ordovika i nizhnego silura Gornogo Altaja* [Stratigraphy and brachiopods of the Ordovician and Lower Silurian of the Gorny Altai]. Novosibirsk: Nauka, 1989, 223 p. In Russian
- Maslov V.P. *Iskopaemye bagrjanye vodorosli SSSR i ih svjaz' s facijami* [Fossil purple algae of the USSR and their relation to facies]. Moscow: AN SSSR, 1962. 222 p. In Russian
- Nikonov A.A. *Oчерки геологии и стратиграфии Тигерекско-Чинетинского района в Рудном Алтае* [Sketches of geology and stratigraphy of the Tigerek-Chinetti region in the Rudny Altai] // *Materials of the Main Geological Exploration Department*. 1931. V. 28. pp. 31–46. In Russian
- Pecherichenko D.A., Obut O.T., Sennikov N.V. A new data on Upper Ordovician conodonts from the Guryanovka Formation, northeast of Gorny Altai // *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri* [Geology and mineral resources of Siberia]. 2021. No. 4 (48). pp. 3–11. doi: 10.20403/2078-0575-2021-4-3-11
- Sennikov V.M. *Ordovik Ujmensko-Lebedskogo sinklinorija Gornogo Altaja. Materials on regional geology* [Ordovician of the Uymensk-Lebed synclinorium of the Gorny Altai] // *Works of the Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials*. 1962. V. 24. pp. 116–133. In Russian
- Sennikov V.M., Vinkman M.K., Kononov A.N. *Kembro-ordovik i ordovik Gornogo Altaja* [Cambro-Ordovician and Ordovician of the Gorny Altai] // *Materialy po regional'noj geologii*. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1959, pp. 51–66. In Russian
- Sennikov N.V., Obut O.T., Izokh N.G., Kipriyanova T.P., Lykova E.V., Tolmacheva T.Yu., Khabibulina R.A. The regional stratigraphic chart for the Ordovician of the western part Altai-Sayan Folded Area (new version) // *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri* [Geology and mineral resources of Siberia]. 2018a. No. 7. pp. 15–53. In Russian
- Sennikov N.V., Obut O.T., Tolmacheva T.Yu., Lykova E.V., Khabibulina R.A. The Upper Ordovician of northeastern Gorny Altai: stratigraphy and depositional environments // *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics]. 2018b. V. 59. No. 1. pp. 89–107. In Russian
- Sennikov N.V., Zakiryanov I.G., Varaksina I.V. *O fatsial'nykh osobennostyakh verkhneordovikskikh karbonatov Priteletskoy zony Gornogo Altaja* [Peculiarities of the Upper Ordovician carbonate facies of the Teletskoe Lakeside Zone, Gorny Altai] // *Interexpo GEO-Siberia*. IPGG SB RAS. Novosibirsk. 2022. V. 2. No. 1. pp. 216–222. In Russian
- Chiarella D., Longhitano S.G., Tropeano M. Types of mixing and heterogeneities in siliciclastic-carbonate sediments. *Marine and Petroleum Geology*. 2017. V. 88. pp. 617–627. doi:10.1016/j.marpetgeo.2017.09.010
- Danham R.J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture // *Symposium Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 1962. V. 1. pp. 108–121.
- Embry A.F., Klován J.E. A Late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island // *Bull. Can. Petrol. Geol.* 1971. V. 19. No. 4. pp. 730–781.
- Flügel E. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application.* Second Edition. Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 984 p.
- Lokier S.W., Al Junaibi M. The petrographic description of carbonate facies: are we all speaking the same language? // *Sedimentology*. 2016. V. 63 (7). pp. 1843–1885.
- Mount J.F. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments // *Geology*. 1984. V. 12. pp. 432–435.
- Wright V.P. A revised classification of limestones // *Sediment. Geol.* 1992. V. 76. No. 3–4. pp. 177–185.

Информация об авторах:

Закирьянов И.Г., инженер, лаборатория седиментологии, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия; инженер-исследователь, лаборатория литологии, Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия.
E-mail: ZakiryanovIG@gmail.com

Сенников Н.В., доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, лаборатория палеонтологии и стратиграфии палеозоя, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия.
E-mail: SennikovNV@ipgg.sbras.ru

*Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

Information about the authors:

Zakiryanov I.G., specialist, Laboratory of Sedimentology, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Novosibirsk; specialist-researcher, Laboratory of Lithology, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, Ekaterinburg, Russia. E-mail: ZakiryanovIG@gmail.com

Sennikov N.V., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), principal research scientist, Laboratory of Paleozoic Stratigraphy and Paleontology, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: SennikovNV@ipgg.sbras.ru

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.11.2023; одобрена после рецензирования 12.04.2024; принята к публикации 03.03.2025

The article was submitted 28.11.2023; approved after reviewing 12.04.2024; accepted for publication 03.03.2025