

*Т. В. Гонта*¹✉

Первые находки древнейших эндопсаммонных остракод песчанистого мелководья в ордовике Сибирской платформы

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: gontatv@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В прибрежно-мелководных песчаниках киренско-кудринского горизонта (сандбийский ярус, ордовик) на р. Мойеро (Сибирская платформа) установлен моновидовой комплекс остракод. На основе анализа тафономических, палеоэкологических, палеогеографических и морфометрических характеристик обоснован автохтонный характер захоронения сообщества. Установлено, что изученные остракоды вели зарывающийся образ жизни и относятся к эндопсаммонным формам, что представляет собой древнейшую известную находку инфаунных остракод.

Ключевые слова: зарывающиеся остракоды, эндопсаммон, палеоэкология, тафономия

*T. V. Gonta*¹✉

Earliest record of endopsammic infaunal ostracods from ordovician sandy shallow-marine deposits of the Siberian platform

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: gontatv@ipgg.sbras.ru

Abstract. A monospecific ostracod assemblage has been recovered from nearshore shallow-marine sandy deposits of the Kirensko–Kudrinian Regional Stage (Sandbian Stage, Upper Ordovician) exposed along the Moyero River, Siberian Platform. Taphonomic, paleoecological, paleogeographic, and morphometric evidence indicates an autochthonous origin of the assemblage. The studied ostracods are interpreted as burrowing endopsammic forms, representing the earliest documented occurrence of infaunal ostracods.

Keywords: infaunal ostracods, endopsammon, paleoecology, taphonomy

Введение

Первые находки остракод на Сибирской платформе датируются второй половиной кимайского горизонта (дапинский ярус). Остракодовые сообщества этого времени отличались низким таксономическим разнообразием и не высокой плотностью популяций. Начиная с муктэйского горизонта (дарривильский ярус), соответствующего началу волгинской трансгрессии, отмечается значительный рост биоразнообразия остракод. В волгинское время (дарривильский ярус), однотипные сообщества остракод были распространены во всех структурно-фациальных районах Сибирской платформы, а также смежных складчатых областях (Таймыр, Верхояно-Чукотская складчатая область, Новосибирские острова), представлявших различные части сибирского палеобассейна, отличающиеся по

ряду физико-географических обстановок [1, 2]. В регрессивные фазы развития бассейна, в результате возникновения барьеров, препятствующих свободному расселению бентосных групп организмов, происходила дифференциация остракод по латерали и формирование в различных частях палеобассейна эндемичных сообществ.

Для реконструкции палеоэкологических и палеобиогеографических обстановок Сибирского палеобассейна А.В. Каныгиным была предложена палеоэкологическая типизация ордовикских остракод [3]. На основании фациальной приуроченности, структуры сообществ, положения в биоценозе и адаптивной морфологии остракод из ордовикских палеобассейнов Сибири и Северного Казахстана было выделено пять основных экологических типов, соответствующих обстановкам от литорали и сублиторали, до более глубоководных частей палеобассейна [3]. Особую роль среди сообществ ордовикских остракод этого времени, занимали представители, населяющие наиболее мелководные участки моря (прибрежно-мелководный экологический тип) [3]. Как крайний характер проявления остракод этого экологического типа, не имея фактического материала, прямо указывающего на развитие зарывающихся форм, А.В. Каныгин предполагал, что начиная с середины среднего ордовика среди остракод появились первые представители инфауны [3, 4]. Однако, до последнего времени достоверных находок ордовикских остракод, подтверждающих предположение, выдвинутое А.В. Каныгиным не было.

Целью данной работы является описание первых находок инфаунных остракод, которые, по-видимому, представляют собой древнейших известных представителей этой экологической группы.

Методы и материалы

Коллекция остракод получена из песчаников, накопление которых происходило в обстановках прибрежного мелководья, предположительно отвечающих береговым подводным валам. Остракоды в слое распределены не равномерно и встречаются в виде небольших локализованных скоплений с высокой концентрацией раковин хорошей сохранности. Вдоль слоя было отобрано несколько образцов на разном расстоянии друг от друга, в одном из них был установлен моновидовой комплекс остракод. Раковины в захоронении не образовывали так называемые «ракушняковые мостовые», а рассеяны в породе образца равномерно.

Извлечение остракод из породы проводилась методом сплавления с тиосульфатом натрия. Популяционный анализ проводился согласно рекомендациям [5, 6, 7, 8]. При анализе учитывались соотношения раковин взрослых форм и личиночных стадий (A/J); соотношение целых раковин и разрозненных створок (C/V); соотношение самцов и самок.

Раковины остракод изучались на биноклях Zeiss Stemi 2000 и Zeiss Discovery V 12. Изображения и анализ элементного состава раковин остракод проводились в ЦКП «Коллекция ГЕОХРОН» Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск) на сканирующем

электронном микроскопе (СЭМ) Zeiss EVO 10, оснащенным системой энерго-дисперсионного микроанализа (EDS-детектор) Oxford Xplore 30.

Результаты

Всего в изученном образце было установлено свыше 2000 экземпляров остракод, принадлежащих одному виду. В подавляющем большинстве материал представлен целыми раковинами очень хорошей сохранности (рис. 1). Анализ соотношения С/V показал значения $\sim 1:8$, в пользу целых раковин, при этом соотношение самцов и самок оказалось примерно 1:1 с незначительным перевесом с сторону самок (из 100 случайно отобранных экземпляров взрослых форм 56, принадлежали самкам).



Рис. 1. Коллекция остракод из песчаников киренско-кудринского горизонта (сандбийский ярус) р. Мойеро

Любые работы, связанные с палеоэкологическими исследованиями, направленных на реконструкцию палеопопуляций, начинаются с тафономических наблюдений и определения сформировался ли тафоценоз на месте обитания организмов (In situ) или скелетные остатки были подвергнуты посмертному переносу. Важным

инструментом для определения характера захоронения ископаемых остракод является выделение стадий онтогенетического развития сообщества [6, 8, 9].

Надежной характеристикой возрастной структуры популяции остракод служат морфометрические характеристики раковин, в частности отношение длины раковины к высоте [6, 10]. Как правило, подобные наблюдения, в связи с дискретностью размеров раковин на разных личиночных стадиях, по локализации значений на диаграмме, позволяют выявить этапы онтогенетического развития остракод. Всего, для анализа соотношения A/J было проведено более 1500 наблюдений. Классический подход к выделению возрастных стадий, путем нанесения точек на график отношения длины раковины к высоте, не дал достоверных результатов, полученные значения представлены в виде поля сплошного распределения точек, расположенных в узком диапазоне (рис. 2А). Поэтому в структуру данных, кроме длины и высоты раковины был внесен еще один параметр - частота повторов значений, и на этой основе построена пузырьковая диаграмма (рис. 2Б). Диаграмма четко иллюстрирует наличие 4 стадий развития в изученном сообществе остракод.

Другим важным индикатором жизненного цикла, смертности и последующего посмертного переноса является соотношение раковин взрослых форм и личиночных стадий (A/J) [8]. Для каждой возрастной стадии было посчитано количество экземпляров остракод и на этой основе построена диаграмма размерно-частотного распределения раковин в популяции (рис. 2В).

В унифицированном виде морфометрические данные приведены в таблице 1, в которой для каждой возрастной стадии развития приведены количество экземпляров, диапазоны изменения длины и высоты раковины и их средневзвешенные значения и на этой основе посчитаны «коэффициенты роста» (осредненные значения изменения длины и высоты раковины остракод в межличиночные периоды их развития).

Таблица 1. Сводная таблица количественных и морфометрических характеристик раковин остракод: (l – длина, h – высота раковин, μl и μh – осредненные значения длины и высоты раковины, Δl и Δh – осредненные значения изменения длины и высоты)

Стадия развития	Количество экземпляров	l , мм	h , мм	μl , мм	μh , мм	Δl мм	Δh , мм
A3	321	0,3-0,45	0,18-0,4	0,39	0,29	0,15	0.11
A2	570	0,475-0,6	0,3-0,5	0,54	0,4		
A1	449	0,625-0,8	0,4-0,65	0,7	0,53	0,16	0.13
B	192	0,85-0,925	0,575-0,675	0,89	0,63	0,19	0.1

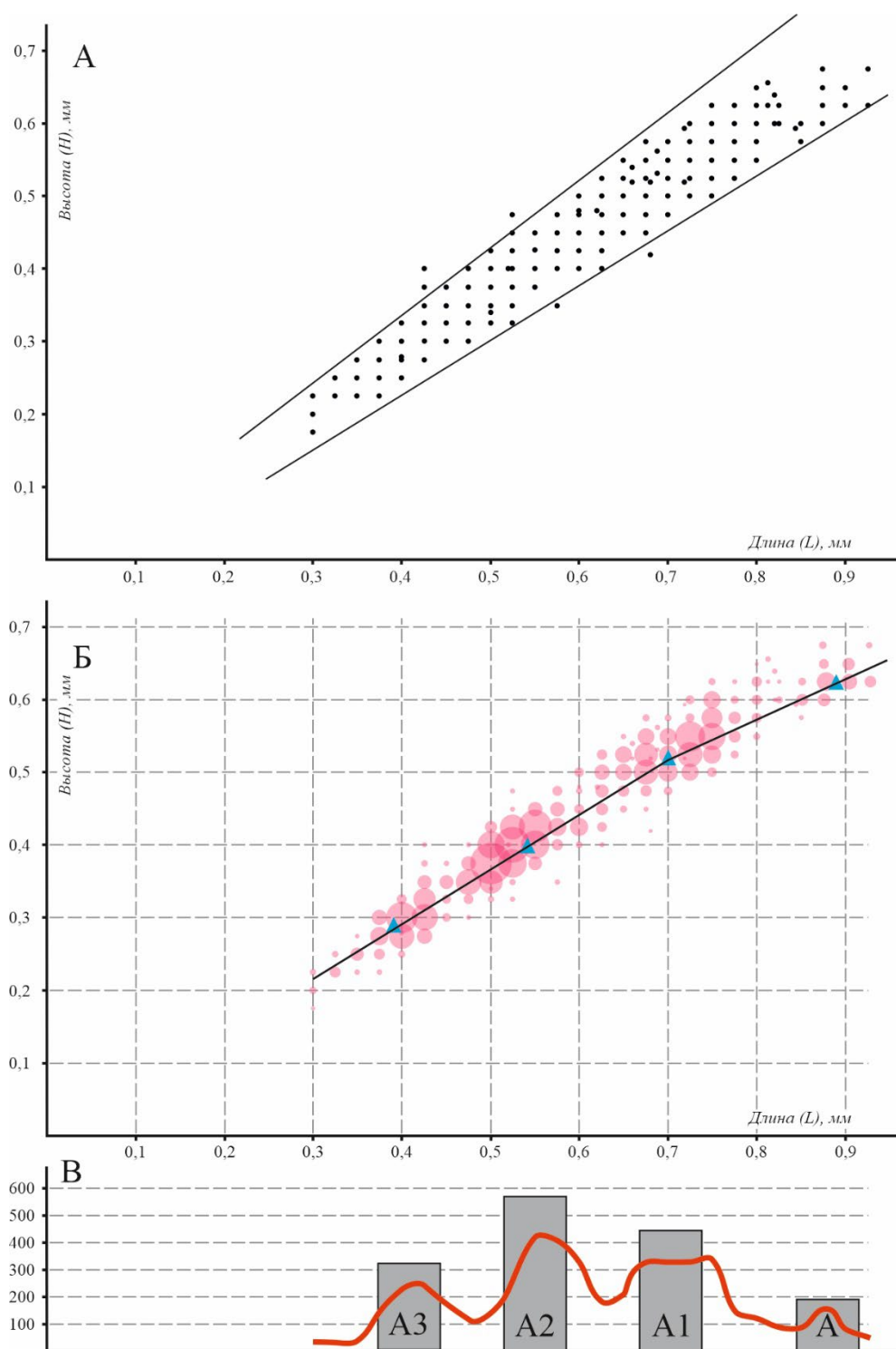


Рис. 2. Морфометрические характеристики изученного комплекса остракод:
 А – соотношение длины раковины (l , мм) к высоте (h , мм); В - пузырьковая диаграмма соотношения длины раковины к высоте, треугольниками показаны средние значения длины и высоты раковины для онтогенетических стадий развития, линией показан тренд увеличения раковин остракод от личиночных стадий к взрослым формам; С – размерно-частотное распределение раковин остракод для различных стадий развития (А - взрослые формы; А1-А3 личинки) красной линией показана кривая фактического распределения раковин остракод с шагом 0,025 мм.

Раковины остракод, обитающих в экстремально мелководных условиях с активным водообменом, после линьки или отмирания животного подвержены замещению или химическому (вызванному распреснением прибрежных вод материковым стоком и относительно более высоким содержанием кислорода) или механическому (в результате абразии кварцевыми зернами) разрушению. Уникальность рассматриваемого местонахождения определяется раннедиагенетической фосфатизацией раковин остракод. Ранее в данной части разреза реки Мойеро была зафиксирована область активного фосфатонакопления [11]. Это событие связано с тем, что на рубеже среднего и верхнего ордовика на эту часть Сибирской платформы оказывал существенное влияние апвеллинг на фоне глобальных (изменение циркуляции вод мирового океана) и региональных (фациальные особенности) благоприятных условий накопления фосфоритов. На рисунке 3 показаны результаты анализа элементного состава раковин остракод.

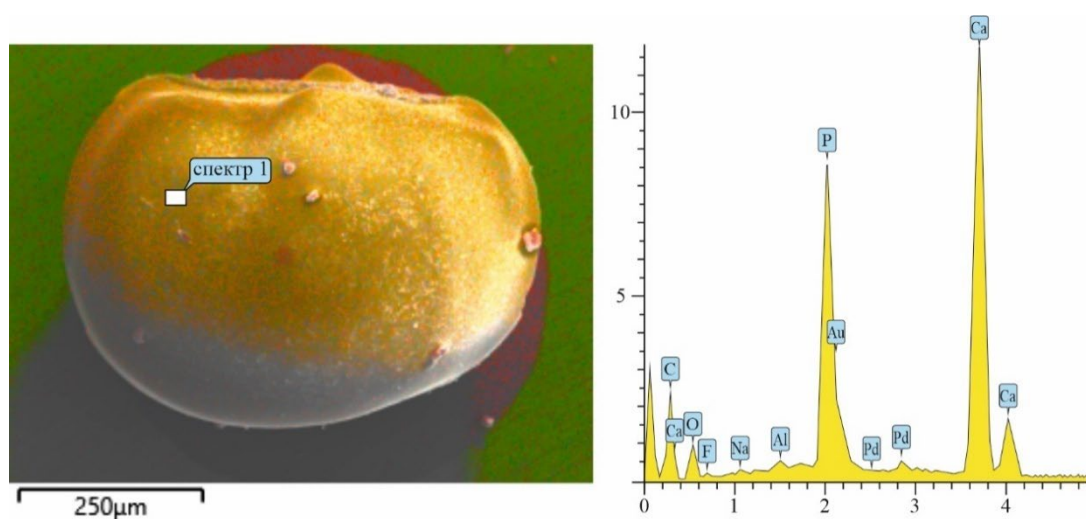


Рис. 3. Элементный состав раковины изученных остракод

Обсуждение

Лучшим индикатором для интерпретации гидродинамических обстановок (высокой или низкой энергии) в местах обитания остракод и условий формирования захоронений является соотношений A/J и идентификация различных онтогенетических стадий в сообществах [6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17;]. Ассоциации, в которых одновременно присутствуют взрослые и молодые особи, считаются танатоценозами, формирование которых происходило на месте обитания животного (In-situ), с незначительным или полным отсутствием переноса. Для более надежной интерпретаций палеообстановок, также необходимо учитывать количественные показатели на каждой из стадий. Максимальная высокая смертность в популяциях фиксируется среди молодежи, постепенно снижаясь к более взрослым формам. Таким образом, кривая размерно-частотного распределения популяции, захороненной на месте жизни, будет смещена влево, так как в выборках будут преобладать экземпляры, находящиеся на ранних стадиях индивидуального развития [8].

На графике отношения длины раковины к высоте (рис. ...) четко выделяется 4 стадии развития – взрослая (А) и 3 личиночные (А1 – А3). На гистограмме размерно-частотного распределения раковин (рис. ...) показано, что наибольшее количество экземпляров приходится на вторую (от взрослых форм) стадию развития (А2) и постепенно снижается в сторону «зрелых» форм, что соответствует теоретическим и фактическим «кривым выживания» популяции. Такая кривая распределения отвечает низкоэнергетическому автохтонному танатоценозу с некоторой потерей ранних возрастных стадий из-за растворения [8, 18]. Вероятно, вторичная фосфатизация была достаточной для сохранения раковин в хорошем состоянии, но недостаточно быстрой для сохранения мягких тканей животного и более тонких ювенильных раковин остракод.

Другой важной особенностью ордовикских остракод является отсутствие замочного аппарата. Прочность смыкания створок у них не значительна и обусловлена, главным образом, воздействием замыкательных мускулов на створки раковины. На рисунке 4 показано отсутствие замочного аппарата у установленного вида остракод. Недавние исследования тафономии остракод [19] показали, что дисартикуляция раковин происходит даже в низкоэнергетической среде из-за естественной смерти и линьки, а не только в результате их переноса. Таким образом наличие в образце большого количества целых раковин, многократно превышающих по количеству отдельные створки исключает развитие биоценоза и его последующего захоронения на поверхности дна бассейна.

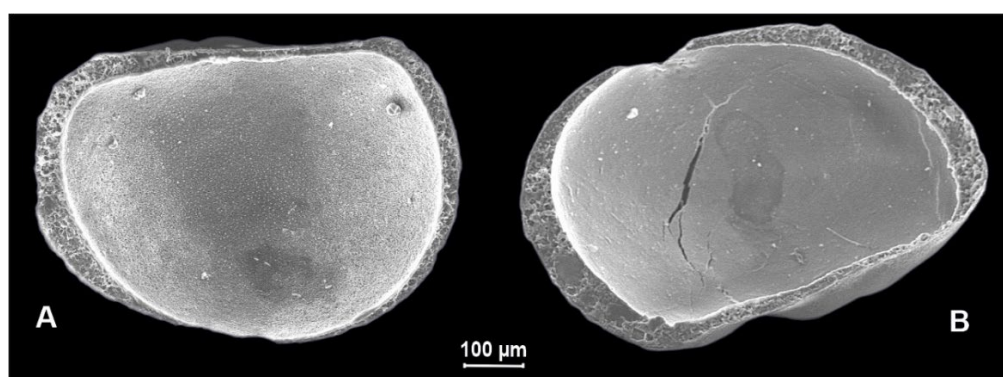


Рис. 4. Изображение раковин изученных остракод с внутренней стороны:
А – левая створка; В – правая створка

Такое соотношение целых раковин и разрозненных створок, по мнению многих исследователей [например: 6, 7, 8, 12, 13, 14] может указывать на быстрое захоронение, которое предотвращает расчленение створок. Однако, литологические данные указывают на отсутствие темпеститов.

Таким образом, популяционный анализ, а также ряд тафономических и палео-экологических особенностей остракод, такие как: моновидовой состав комплекса; отсутствие признаков переноса и сортировки; наличие большого количества целых раковин, встречающихся совместно с разрозненными створками; равномерное распределение раковин внутри породы, без образования ракушняковых мостовых;

смещение кривой размерно-частотного распределения раковин влево, указывают на прижизненное захоронение сообщества остракод. Принимая во внимание гидродинамические обстановки у поверхности дна бассейна с активными волновыми движениями водных масс и отсутствие штормовых отложений, с уверенностью можно утверждать, что развитие биоценоза и последующее формирование тафоценоза происходило не на поверхности осадка, а в его толще, что, в свою очередь, обеспечивало защиту раковин от внешнего механического воздействия. Из чего следует вывод о том, что рассматриваемая популяция представлена формами зарывающихся остракод (инфауна). Ian Boomer [8] также предполагал, что раковины остракод, обитающих в толще осадка могут сохраняться целыми при условии их захоронения в месте обитания.

Boaden [20] для классификации жизненного пространства современной мейобентосной фауны выделял три экологические группы: эпи-, эндо- и мезопсаммон. К первой группе он относит представителей, обитающих на поверхности осадка. Две другие группы в совокупности составляют представителей инфауны: эндопсаммонные – роющие организмы, раздвигающие или заглатывающие частицы грунта при движении; к представителям мезопсаммонной фауны относятся узкоспециализированные группы организмов, приспособленные к жизни в капиллярных пространствах между частицами песка – интерстициальная фауна. Анализ соотношения размеров раковин, превышающих размеры зерен песчаника, в котором они обнаружены, по этой классификации указывает на принадлежность установленных остракод к эндопсаммонной экологической группе.

Заключение

Впервые в ордовикских отложениях Сибирской платформы установлены зарывающиеся остракоды. Их принадлежность к этой экологической группе обоснована тафономическими, палеоэкологическими и популяционными особенностями сообщества. По классификации Боадена [20] установленные остракоды относятся к эндопсаммонной экологической группе. На сегодняшний день, данную находку можно рассматривать как древнейшую находку зарывающихся представителей остракод.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы госзадания № FWZZ-2026-0042, утвержденной Минобрнауки России и госзаданий РАН по программе фундаментальных научных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каныгин А.В., Гонга Т.В., Тимохин А.В. Происхождение палеозойских террейнов Северо-Восточной Азии: геологические доказательства раскола перикратонной окраины Сибирского палеоконтинента и миграции ее фрагментов // Геология и геофизика – том 61 – № 11 – С. 1459-1475 – 2020
2. Каныгин А.В., Гонга Т.В., Тимохин А.В. Пространственное положение Сибирской платформы и кратонных террейнов ее складчатого обрамления в палеозое по палеонтологическим и геологическим данным // Геология и геофизика – том 61 – № 4 – С. 447-467 – 2020

3. Каныгин А.В. Экологические типы ордовикских остракод // Среда и жизнь в геологическом прошлом. Палеоэкологические проблемы. Наука, Новосибирск, 1974, с. 87-100
4. Каныгин А.В. Основные этапы экологической эволюции остракод. в кн. Практическое руководство по микрофауне СССР. Т. 4. Остракоды палеозоя. М-во геологии СССР, Всесоюз. научно-иссл. геол. ин-т. - Л.: Недра, 1990. с. 180-182.
5. Whatley R.C. The application of Ostracoda to palaeoenvironmental análisis \ R.F. Maddocks (Ed.), Applications of Ostracoda, University of Houston (1983), pp. 51-77
6. Whatley R.C. Population structure of ostracods: some general principles for the recognition of palaeoenvironments \ P. De Deckker, J.P. Colin, J.P. Peypouquet (Eds.), Ostracoda in the Earth Sciences, Elsevier, Amsterdam (1988), pp. 245-256
7. Wakefield M.I. Ostracod biostratigraphy at lagoonal shorelines: examples from the great estuarine group, middle Jurassic, Scotland \ Proc. Geol. Assoc., 106 (1995), pp. 211-218
8. Boomer I., Horne D.J., Slipper I.J. The use of Ostracods in paleoenvironmental studies, or what can you do with an ostracods shells // Paleontol. Soc. Pap., 9 (2003), pp. 153-180
9. Brouwers E. M. Sediment transport detected from the analysis of ostracod population structure: An example from the Alaskan continental shelf // Ostracoda in the Earth Sciences / P. De Deckker, J.-P. Colin, J.-P. Peypouquet (eds.). – Amsterdam : Elsevier, 1988. – P. 231–244.
10. Cooper C. L. Moulting stages of the Pennsylvanian ostracode *Ectodemites plummeri* // Journal of Paleontology. 1945. Vol. 19, No. 4. P. 368–375. DOI: 10.2307/1299047.
11. Лыков Н.А., Ростовцева Ю.В., Закирьянов И.Г., Тимохин А.В., Дронов А.В., Гонта Т.В., Постникова О.В. Известковые цианобактерии в биогермах и пеллециподовых банках конца среднего ордовика разреза реки Мойеро (север Сибирской платформы) // Геология и геофизика. – 2025. – 66. – № 11. – С.1434-1446
12. Palacios-Fest M.R., Cohen A.S., Anadón P. Use of Ostracods as Paleoenvironmental tools in the interpretations of ancient lacustrine records \ Rev. Esp. Palaontol., 9 (2) (1994), pp. 145-164
13. Arias C. Procesos de transporte en las asociaciones de Ostrácodos del Jurásico Inferior de la cordillera Ibérica, España // Rev. Esp. Palaontol., 14 (1) (1999), pp. 1-11
14. De Decker P. Ostracod palaeoecology \ The Ostracoda: Applications in Quaternary Research Geophysical Monograph (2002), p. 131
15. Coimbra J.C., Badaraco Costa K., Fauth G. Paleoenvironmental significance of allochthonous vs. autochthonous late quaternary ostracodes from Imaruí lagoon and D'una river, southern Brazil \ Rev. Bras. Palaontol., 9 (3) (2006), pp. 295-302
16. Palacios-Fest M., Holliday V. Paleoecology of a ciénaga at the mockingbird gap site, Chupadera Draw, New Mexico \ Quat. Res., 1 (2017), p. 15 DOI: 10.1017/qua.2017.82
17. Palacios-Fest M. R., Duke D., Young D. C., Kirk J. D., Oviatt C. G. A Paleo-Lake and wetland paleoecology associated with human use of the distal Old River Bed Delta at the Pleistocene-Holocene transition in the Bonneville Basin, Utah, USA // Quaternary Research. 2021. Vol. 106. P. 75–93. DOI: 10.1017/qua.2021.64.
18. Захаров В.А. Значение полевых литолого-палеонтологических наблюдений для исследований по систематике // Среда и жизнь в геологическом прошлом. Палеоэкологические проблемы. Наука, Новосибирск, 1974, с. 8-15
19. Silva dos Santos K., Feijó Ramos M. I. Taphonomic analysis on Neogene ostracods from Solimões formation, Borehole 1AS-5-AM, Brazil: A tool to the paleoenvironmental reconstitution // Journal of South American Earth Sciences. 2023. Vol. 122. P. 104172. DOI: 10.1016/j.jsames.2022.104172.
20. Boaden P. 1962. Grazing in the interstitial habitat: a review. British Ecological Society Symposium. 4:299–303.

© Т. В. Гонта, 2026