

## МОРФОЛОГИЯ ЦЕФАЛОПОД И МЕТОДЫ ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ

### МИКРОСТРУКТУРНАЯ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА РОСТРОВ НЕКОТОРЫХ БАТСКИХ МЕГАТЕУТИДИД (BELEMNITIDA)

А.П. Ипполитов<sup>1</sup>, И.С. Барсков<sup>2,3</sup>, В.Л. Косоруков<sup>3</sup>, Бх. Десаи<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт РАН, г. Москва  
ippolitov.ap@gmail.com

<sup>2</sup>Палеонтологический институт РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>4</sup>Нефтяной университет им. Пандит Диндаял, г. Гандинагар (Индия)

**Введение.** Вопрос о первичной структуре и минералогическом составе ростров белемнитов остается одним из актуальных в современной палеозоологии головоногих. До сих пор не выработано единой точки зрения ни о степени первичной пористости роста (в разное время различными авторами обосновывались гипотезы о том, что ростр был в значительной степени минерализован вторично – Spath, 1971; Догужаева, Кабанов, 1989; Benito et al., 2016; Hoffman et al., 2016 и мн. др.), ни о его первичном минеральном составе (кальцит или арагонит?) (ср. Dauphin, 1988 – полностью арагонитовый ростр, и Stevens et al., 2017 – полностью кальцитовый ростр; см. также Барсков, 1970).

Присутствие арагонита прямым методом (рентгенодифракционный анализ) к настоящему времени установлено для валовых проб из ростров древней группы колеоидей – аулакоцерид (Jeletzky, Zapfe, 1967), альвеолярной части раннемеловых *Hibolithes* (Spath, 1971) и верхнемеловых *Praeactinocamax* (Найдин и др., 1987; как *Goniocamax*), сложенной «белесым кальцитом», а также ростров белемнотеутидид, имеющих вид тонкой оболочки вокруг фрагмокона (Fuchs et al., 2007). Кроме того, существует гипотеза, основанная на непрямых доказательствах, согласно которой арагонитом был сложен примордиальный ростр (тонкая оболочка вокруг фрагмокона, утолщающаяся вблизи протоконха), а также осевая часть эпиростров некоторых юрских и меловых белемнитов (Bandel, Spath, 1988).

В настоящей работе приводятся краткие результаты минералогического и микроструктурного обследования ростров некоторых юрских белемнотидей, которые позволяют нам утверждать, что ростр (1) не был пористым при жизни животного

в своей основной части, (2) имел первичный смешанный кальцит-арагонитовый состав, причем (3) арагонит локализуется лишь в определенных зонах – примордиальном ростре и осевой части роста.

**Материал и методы.** Были изучены ростры раннебатских белемнитов *Barskovisella issae* Ippolitov, 2018 и *B. variabilis* Ippolitov, 2018, собранные в отвалах Плетнёвского карьера (Пензенская область; описание разреза см. Гуляев, Ипполитов, 2017). Эти формы относятся к сем. Megateuthidae и являются неозндемичным дериватом рода *Paramegateuthis*, проникшего на территорию Русской плиты во время открытия в раннем бате субмеридионального пролива, соединившего Среднерусское море с арктическими бассейнами (Ипполитов, 2018).

Находки указанных видов белемнитов *in situ* в Плетнёвском карьере редки и приурочены исключительно к нижней части разреза (слой 1b по Гуляев, Ипполитов, 2017). В этой части последовательности присутствуют как заведомо арагонитовые (отпечатки перламутровых раковин аммонитов), так и заведомо кальцитовые (многочисленные раковины двустворок *Meleagrinnella*, образующие массовые скопления) фоссилии. Сами же ростры барсковиселл макроскопически характеризуются набором следующих признаков, указывающих на исключительно хорошую сохранность материала:

- наличие визуализируемого перламутра (=арагонита) в стенке фрагмокона;
- сохранившиеся септы фрагмокона почти у всех ростров;
- камеры фрагмокона (вплоть до протоконха) не заполнены ни вмещающей породой, ни вторичными минералами.

- на септах также нет корочек вторичных минералов.

С целью выявления микроструктурных особенностей два ростра *B. issae* Ippolito, 2018 были исследованы с помощью СЭМ в простых расколах вдоль фронтальной плоскости роста. Эта плоскость является у многих мегатеутидид ослабленной зоной, по которой скалывание происходит естественным образом. Минералогический состав вещества ростра определялся в порошковых навесках из разных частей тех же экземпляров с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3М, на котором исследовался диапазон  $2\theta = 29-37^\circ$ , включающий по одному главному пику как кальцита, так и арагонита.

### Результаты

Макроскопические характеристики ростров (рис. 1а-в). Стенка фрагмокона сложена непрозрачным кремово-серым карбонатом. Она окружена тонкой непрозрачной оболочкой (примордиальный ростр), визуально сливающейся с фрагмоконом и заметно утолщающейся в области протоконха. И фрагмокон, и примордиальный ростр характеризуются высокой хрупкостью и легко выкрашиваются. Примечательной является наружная поверхность примордиального ростра – она имеет рельеф в виде неправильно-полигональной сетки со слегка утолщенной центральной частью полигонов (Рис. 1б,в). Располагающаяся поверх контакта основная часть ростра сложена плотным, не крошащимся полупрозрачным коричневатым материалом, резко отличным по облику от примордиального ростра.

Осевая часть ростра позади протоконха слагается непрозрачным кремово-серым карбонатом, причем в области протоконха она смыкается с задним концом примордиального ростра без визуализируемой границы. Вблизи протоконха непрозрачный белесый карбонат осевой части ростра контактирует с основной (полупрозрачной коричневатой) частью ростра по резкой продольной границе. По направлению назад эта граница постепенно приобретает нечеткий характер, а сама центральная зона расширяется.

Микроструктура стенки фрагмокона (рис. 1г). В стенке фрагмокона на СЭМ визуализируются три слоя – сравнительно толстый внутренний призматический слой, перламутровый и тонкий наружный призматический.

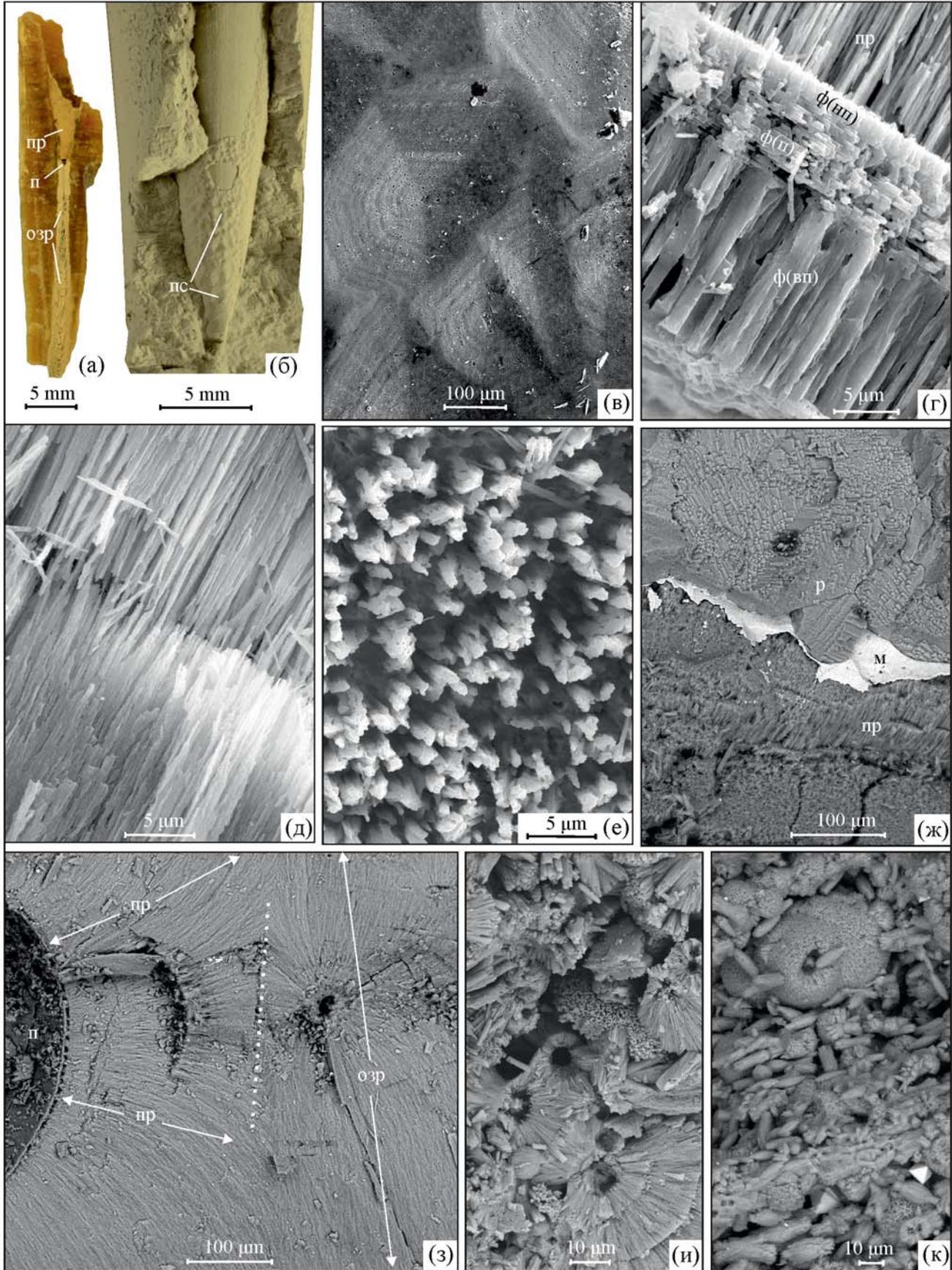
Микроструктура примордиального ростра (рис. 1д,е). Примордиальный

ростр сложен кристаллами игольчатого облика, ориентированными перпендикулярно внутренней поверхности и разделенными синхронными плоскостями остановок роста, расслаивающими примордиальный ростр. Этот тип структуры является высокопористым: радиальные кристаллы упакованы неплотно, что выявляется в тангенциальном сечении (рис. 1е).

Граница примордиального ростра с основной частью ростра (рис. 1ж). В отличие от примордиального ростра, основная часть ростра имеет массивный облик без внутренних полостей, и лишь на поверхности некоторых экземпляров наблюдаются лабиринтообразные углубления, возможно, отражающие неодновременное нарастание карбонатного вещества со стороны внешней поверхности. Контакт ростра и примордиального ростра в продольном сечении имеет зигзагообразный характер, что вполне соответствует наблюдавшемуся полигональному рельефу (см. выше). Линии нарастания свободно пересекают этот контакт, переходя из ростра в примордиальный ростр и обратно. На одном из экземпляров в районе протоконха между примордиальным ростром и основной частью ростра также наблюдалась пиритизованная мембрана.

Микроструктура осевой части ростра (рис. 1з-к). Осевая (кремово-серая) часть ростра слагается сферулитами с полостью центральной частью, как и примордиальный ростр, состоящих из неплотно упакованных игольчатых кристаллов. Непосредственно позади протоконха сферулиты формировались одновременно с примордиальным ростром, на что указывает первоначальный ксеноморфный контакт обеих структур по отношению друг к другу и полное «слияние» в единую структуру на дальнейших стадиях роста (рис. 1з). На больших увеличениях видно, что внутренняя зона сферулитов на границе с центральной полостью сложена мелкими, хаотически ориентированными кристаллами призматической формы, среди которых наблюдаются пустоты небольшого размера.

Размер сферулитов максимален близ протоконха, и уменьшается по направлению назад. Их укладка становится менее плотной (рис. 1и,к), а форма менее правильной: в структуре появляются неправильно-секториальные разновидности, а также изолированные призматические кристаллы, количество которых постепенно возрастает. В осевой части ростра появляются многочисленные полости-зазоры между слоями роста, количество



← Рис. 1. Макроскопические и микроструктурные особенности строения ростров *Barskovisella*.

а – *B. issae* Ippolitov, 2018, экз. ГГМ ИСС/105, общий вид раскола во фронтальной плоскости; б – *B. variabilis* Ippolitov, 2018, экз. ГГМ ИСС/02, отпрепарированный контакт примордиального ростра и основной части ростра с полигональной скульптурой; в-к – *B. issae* Ippolitov, 2018, экз. ГГМ ИСС/105, особенности микроструктурного строения: в – верхняя поверхность примордиального ростра под СЭМ; г – стенка фрагмокона и внутренняя часть примордиального ростра, продольное сечение; д – примордиальный ростр, продольное сечение; е – примордиальный ростр, тангенциальное сечение; ж – пиритизованная мембрана на контакте ростра и примордиального ростра; з – контакт примордиального ростра и осевой зоны ростра вблизи протоконха (пунктиром показан ксеноморфный участок границы между примордиальным ростром и сферулитами осевой зоны ростра, доказывающий их одновременное формирование); и – структура осевой части в середине постальвеолярной части ростра; к – микроструктура осевой части ростра вблизи заднего конца.

Обозначения: м – пиритизованная мембрана; п – протоконх; пр – примордиальный ростр; пс – полигональная скульптура, озр – осевая зона ростра; р – основная часть ростра; ф(вп) – фрагмокон, внутренний призматический слой стенки; ф(п) – фрагмокон, перламутровый слой стенки; ф(нпс) – фрагмокон, наружный призматический слой стенки.

этих полостей значительно увеличивается к заднему концу. Близ заднего конца сферулиты присутствуют также и в виде изолированных «линз» внутри основной части ростра (Ипполитов, 2018, табл. III, фиг. 8в).

**Арагонит и его локализация.** Навески полупрозрачного коричневатого карбоната, взятые как в альвеолярной, так и в постальвеолярной частях ростра, во всех случаях показали 100% кальцитовый состав с низким содержанием Mg. Напротив, примордиальный ростр, проанализированный в единой навеске с неотделимой от него стенкой фрагмокона, оказался 100% арагонитовым. Для осевой части ростра позади от протоконха был установлен смешанный кальцит-арагонитовый состав, причем вблизи протоконха доля арагонита в осевой части составляет 71%, а близ заднего конца – всего 41%. По-видимому, различные минеральные фазы выражены различными модификациями кристаллов, однако их пространственное разграничение пока остается неясным.

### Дискуссия

Как видно из приведенного выше описания, в ростре *Barskovisella* можно выделить как минимум три структурно-минералогических модификации карбонатного вещества:

- 1) высокопористая арагонитовая с игольчатой структурой кристаллического вещества (примордиальный ростр; осевая часть ростра непосредственно вблизи протоконха)
- 2) высокопористая смешанная кальцит-арагонитовая с низкой структурной упорядоченностью

кристаллического вещества (осевая часть ростра ближе к заднему концу).

- 3) массивная кальцитовая (основная часть ростра).

Полученные данные в целом подтверждают пространственную гипотезу о взаимоотношении кальцита и арагонита в эпирострах белемнитов, предложенную Банделем и Спэтом (Bandel, Spath, 1988) и являются первым доказательством присутствия арагонита в осевой части, полученным прямым методом. Хотя эпиростра в виде явного морфологически обособленного заднего конца у изученных ростров нет, микроструктурная гомология осевой части барсковиселл эпирострам других мегатеутидид несомненна.

Прекрасно сохранившиеся детали микроструктуры стенки фрагмокона в совокупности с резкой, морфологически высокоспецифичной границей между пористой и непористой частями ростра предполагают, что наблюдаемая консолидированность основной, внешней части ростра не может являться результатом посмертных преобразований изначально пористого ростра, как это предполагалось многими исследователями, а является прижизненной характеристикой. В свою очередь, осевая часть ростра, для которой был установлен смешанный кальцит-арагонитовый состав, сложена в основном сферулитами различной морфологии с полыми центрами, которые, вероятно, отражают положение клеток, участвовавших в формировании карбонатного вещества в осевой части ростра. Наблюдаемый характер контакта сферулитов с примордиальным ростром в области протоконха плохо согласуется с представлениями

некоторых авторов о вторичном происхождении сферулитов (Догужаева, Кабанов, 1990; cf. Doguzhaeva et al., 2003) и указывает на первичный характер этих образований, как это и предполагалось в (Benito et al., 2016).

Любопытно, что некоторыми современными исследователями осевая часть ростра белемнитов интерпретируется как исходно кальцитовая, пористая, и заполненная вторичным диагенетическим кальцитом (Ulmann et al., 2015). Эта зона всегда отбраковывается при любых изотопных исследованиях ввиду «свечения» при катодоллюминесцентном анализе, что якобы указывает на отличия ее сохранности (=наличие диагенетических изменений) от основной части ростра. Хотя в силу наблюдаемой нами пористости эта часть ростра, действительно, является более проницаемой и подверженной диагенезу, на данный момент становится очевидным, что катодоллюминесцентное свечение осевой части роствов белемнитов может объясняться не только диагенезом, но и исходными различиями в минералогии.

**Заключение.** Полученные результаты представляются убедительными аргументами в пользу:

(1) первично массивной (непористой) природы основной части ростра;

(2) первичной природы арагонита в осевой части роствов белемнитов, что подтверждает в целом и уточняет в деталях модель пространственного взаимоотношения минеральных фаз, предложенную Банделем и Спэтом (Bandel, Spath, 1988);

(3) того, что ростр имел смешанный кальцит-арагонитовый минеральный состав с закономерной локализацией обоих минеральных фаз.

Можно ли экстраполировать наши наблюдения на «белемнитов в целом» или они актуальны только для мегатеутидид – покажут дальнейшие исследования. Ввиду чрезвычайного разнообразия представлений о составе, структуре, способе формирования ростра белемнитов, консенсус между исследователями вряд ли будет достигнут в скором времени. Надеемся, что представленные выше результаты и дальнейшие исследования позволят его приблизить.

Работа поддержана грантами РФФИ 16-05-01088а, 18-05-01070а, 18-55-45018-ИНД а и выполнена в рамках темы Госзадания 0135-2018-0035.

## Список литературы

*Барсков И.С.* О строении ростра белемнитид // Палеонтологический журнал. 1970. № 4. С. 110-112.

*Гуляев Д.Б., Ипполитов А.П.* Новые данные о морском нижнем бате Центральной России (Пензенская обл.) // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. VII Всероссийское совещание: Москва, 18-22 сентября 2017 г. Научные материалы. В.А. Захаров, М.А. Рогов, Е.В. Щепетова (ред.). Москва: ГИН РАН, 2017. С. 42–46.

*Догужаева Л.А., Кабанов Г.К.* Микроструктура и функциональная интерпретация ростра мелового белемнита *Neohibolites* (Mollusca, Cephalopoda, Coleoidea) // Докл. АН СССР. Т. 311. № 6. С. 1453–1455.

*Ипполитов А.П.* Белемниты и биостратиграфия нижнего бата центра и юга Восточно-Европейской платформы. Часть 1. Megateuthididae // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2018. Т. 26. № 2. С. 56–83.

*Найдин Д.П., Барсков И.С., Кияшко С.И.* Природа кальцита и арагонита роствов верхнемеловых белемнитов Западного Таймыра: данные по составу стабильных изотопов кислорода и углерода // Палеон. журн. 1987. № 3. С. 3–8.

*Bandel K., Spath C.* Structural differences in the ontogeny of some belemnite rostra. // Cephalopods - present and past. 2nd International Cephalopod Symposium. O.H. Schindewolf Symposium Tübingen 1985. Wiedmann I., Kullmann J. (Eds.). Stuttgart: Schweizerbart, 1988. P. 247–271.

*Benito M.I., Reolid M., Viedma C.* On the microstructure, growth pattern and original porosity of belemnite rostra: insights from calcitic Jurassic belemnites // Journal of Iberian Geology. 2016. Vol. 42. No. 2. P. 201–226.

*Dauphin Y.* Microstructure versus mineralogical and chemical data to estimate the state of preservation of fossil shells: a belemnite example (Cephalopoda-Coleoidea) // Revue Paléobiol. 1988. Vol. 7. No. 1. P. 1–10.

*Doguzhaeva L.A., Mutvei H., Weitschat W.* The Pro-ostacum and Primoridal rostrum at aearly ontogeny of Lower Jurassic belemnites from North-Western Germany // Berliner Paläobiol. Abh. 2003. Bd. 3. S. 79–89.

*Fuchs D., Keupp H., Mitta V., Engeser T.* Ultrastructural analyses on the Conotheca of the genus *Belemnitheutis* (Belemnitida: Coleoidea) // Cephalopods Present and Past: New Insights and Fresh Perspectives. Eds. Landman N.H. et al. Amsterdam: Springer, 2007. P. 299–314.

Hoffmann R., Richter D.K., Neuser R.D., Jöns N., Linzmeier B.J., Lemanis R.E., Fusseis F., Xiao X., Immenhauser A. Evidence for a composite organic–inorganic fabric of belemnite rostra: Implications for palaeoceanography and palaeoecology // *Sedimentary Geology*. 2016. doi: 10.1016/j.sedgeo.2016.06.001

Jeletzky J.A., Zapfe H. Coleoid and Orthocerid Cephalopods of the Rhaetian Zlambach Marl from the Fischerwiese near Aussee, Styria (Austria) // *Ann. Naturhist. Mus. Wien*. 1967. Bd. 71. S. 69–106.

Spath C. Aragonitische und calcitische Primärstrukturen im Schalenbau eines Belemniten aus der englischen Un-

terkreide // *Paläontologische Zeitschrift*. 1971. Bd. 45. Nr. 1/2. S. 33–40.

Stevens K., Griesshaber E., Schmahl W., Casella L. A., Iba Y., Mutterlose J. Belemnite biomineralization, development, and geochemistry: The complex rostrum of *Neohibolites minimus* // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2017. Vol. 468. P. 388–402.

Ulmann C.V., Frei R., Korte C., Hesselbo S.P. Chemical and isotopic architecture of the belemnite rostrum // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2015. Vol. 159. P. 231–243.

## MICROSTRUCTURAL AND MINERALOGICAL ARCHITECTURE OF THE ROSTRUM IN SOME BATHONIAN MEGATEUTHIDIDAE (BELEMNITIDA)

**A.P. Ippolitov., I.S. Barskov, V.L. Kosorukov and B. Desai**

The study of exceptionally preserved megateuthidid rostra from the Lower Bathonian of Central Russia revealed their complex mineralogical and structural architecture. XRD shows that primordial rostrum is fully aragonitic, while the axial zone of the rostrum proper has a mixed calcitic-aragonitic composition with the highest aragonite content just behind the protoconch. Microstructural characters and interrelations between the primordial rostrum, rostrum proper and axial zone of the rostrum proper suggest that the mineralogical composition of the rostra studied is unaltered. The data obtained also suggest that (1) the rostrum proper, except the axial zone, was not porous, contrary to the viewpoint recently shared by many authors; (2) aragonite in the axial zone, arranged into a spherulitic structure, is an authentic characteristic of megateuthidid rostra, and probably, of other belemnite taxa.

**Российская академия наук  
Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка  
Кафедра палеонтологии геологического факультета  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
Палеонтологическое общество при РАН  
Секция палеонтологии Московского общества  
испытателей природы  
Программа фундаментальных исследований № 17 Президиума РАН  
«Эволюция органического мира. Роль и влияние планетарных процессов»**

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ  
ГОЛОВОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ.  
МОРФОЛОГИЯ, СИСТЕМАТИКА, ЭВОЛЮЦИЯ,  
ЭКОЛОГИЯ И БИОСТРАТИГРАФИЯ**

**Выпуск 5**

**Москва, 2018**

УДК 564.5  
ББК 28.691

**С56** **Современные** проблемы изучения головоногих моллюсков. Морфология, систематика, эволюция, экология и биостратиграфия. Вып. 5. Материалы совещания (Москва, 29 – 31 октября 2018 г.) Российская академия наук, Палеонтологический институт им. А.А. Борисьяка РАН; под ред. Т.Б. Леоновой, И.С. Барскова, В.В. Митта. М.: ПИН РАН. 2018. 124 с. (илл. 38, фототаблиц 10).

Contributions to current cephalopod research: Morphology, Systematics, Evolution, Ecology and Biostratigraphy. Vol. 5. Proceeding of conference (Moscow, 29 – 31 October, 2018); Russian Academy of Sciences, Borissiak Paleontological Institute. T.B. Leonova, I.S. Barskov, V.V. Mitta (eds). – Moscow, PIN RAS, 2018. 124 p.

ISBN 978-5-6040412-6-7

В сборнике опубликованы материалы, представленные на совещании «Современные проблемы изучения головоногих моллюсков. Морфология, систематика, эволюция, экология и биостратиграфия». В статьях рассмотрены вопросы эволюции, филогенеза, морфогенеза, экогенеза, систематики, биостратиграфии, биогеографии, морфологии и методики исследования ископаемых и современных головоногих моллюсков. В специальном разделе кратко освещен научный вклад выдающихся исследователей цефалопод Н.Р. Азаряна, Б.И. Богословского, М.Н. Вавилова и М.К. Цветаевой.

Сборник адресован научным сотрудникам, преподавателям ВУЗов, аспирантам, студентам старших курсов, специализирующимся по палеонтологии и зоологии беспозвоночных.

Сборник издан при поддержке Программы фундаментальных исследований № 17 Президиума РАН

**УДК 564.5**  
**ББК 28.691**

ISBN 978-5-6040412-6-7

© Коллектив авторов, 2018  
© ПИН РАН, 2018  
© Обложка М.С. Бойко  
© ИП Скороходов В.А., 2018