

**Гонтарь В.И., Борисенко Ю.А.**  
**МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ СКЕЛЕТОВ BRYOZOA И ЕГО**  
**ПРИМЕНЕНИЕ В ЭВОЛЮЦИОННЫХ ПОСТРОЕНИЯХ СИСТЕМЫ**

Зоологический институт АН РАН, Санкт-Петербург, Россия;  
Кафедра геологии Харьковского Университета, Харьков, Украина  
gontarvi@gmail.com

Современная система мшанок все еще не совершенна, а критерии, используемые даже для крупных таксонов, различны и не универсальны. При сравнительно-морфологическом анализе часто оценивается функциональная роль отдельных структурных элементов для определения их таксономического и филогенетического значения. Последние десятилетия внимание уделяется также микроструктуре и ее связи с вещественным составом твердых частей скелета мшанок. Предложенный анализ минералогических особенностей колоний хейлостомных и циклостомных мшанок в качестве важного дополнительного таксономического критерия представляется актуальным. Мшанки главные продуценты известковых слоев в ряде ископаемых и современных бентических сообществах. (Kuklinski, Taylor, 2009).

Рентгеновским спектральным анализом изучены скелеты современных наиболее распространенных мшанок семи видов циклостомид и 48 видов хейлостомид из северных и дальневосточных морей России, а также антарктических вод. Биогеохимическое исследование колоний наиболее распространенных современных морских холодноводных мшанок было предпринято для выяснения степени зависимости их минерального и химического состава от филогенетических связей, онтогенеза и факторов окружающей среды.

Современные морские мшанки имеют скелеты различного химического состава. Хитиновые скелеты отряда Stenostomata (класс Gymnolaemata) почти не содержат минерального вещества, а скелеты мшанок из отряда Cyclostomata (класс Stenolaemata) и из отряда Cheilostomata (класс Gymnolaemata) минерализованы в различной степени. Известковые скелеты отмерших форм могут составлять значительную часть донных осадков. Мшанки главные продуценты карбонатов в некоторых древних современных бентических условиях морских водоемов, включая части Арктического океана (Kuklinski, Taylor, 2009). Вещественный состав скелетов мшанок в последние годы достаточно интенсивно изучается, хотя иногда данные весьма противоречивы. Предполагалось, что степень кальцификации более значима в эволюционно продвинутых семействах. Типу минерализации мшанок соответствует определенная структура: продолговато- или волокнисто-пластинчатая кальцитовая и волокнистая арагонитовая (Cheetham et al., 1969). В двуминеральных скелетах (Lowenstam, 1954; Chave, 1962; Rucker, Carver, 1969) с повышением температуры увеличивается количество арагонита, хотя другие исследователи (Cheetham et al., 1969, Poluzzi, Sartori, 1975) сомневаются в наличии подобной связи.

Предполагалось также, что тип минерализации зависит от систематического положения вида. Однако скелеты Cyclostomata оказались

полностью кальцитовыми. Среди Cheilostomata у крупных, сильно обызвествленных колоний определялся арагонитовый или смешанный тип скелета, а у гибких ветвистых колоний более часто кальцитовый тип, как и у инкрустирующих колоний Anasca. У более эволюционно продвинутых Ascophora скелеты либо мономинерального типа, либо смешанного (Rucker, Carver, 1969).

Изученный материал собран на грунтах различного типа с глубин от 2 до 500 м в северных и дальневосточных морях России-от Баренцева до Японского морей, а также в антарктических и приантарктических водах. В систематическом отношении мшанки принадлежат 9 видам из 7 семейств отряда Cyclostomata и 48 видам из 20 семейств отряда Cheilostomata (всего 57) (Таблица 1). Представители 12 семейств биогеохимически были изучены впервые. Также впервые в колониях определяли наличие Si, Ti, Ga, Zr, Ag, Sn, Hg, Pb и другие элементы.

Минеральный состав скелетного вещества определялся рентгенометрически, вещественный состав-спектрографически. Количество органического вещества в скелетах мшанок можно примерно определить по содержанию спектрографически определенного Ca и контролировать эти данные по высоте главного пика рентгенограммы кальцита. Статистическая обработка спектрального анализа проводилась с помощью факторного анализа в модели главных компонент.

Скелеты всех изученных колоний мшанок, за исключением одного вида, состоят из магнезиального кальцита с содержанием магния 1-2%(1,7-5,5 MgCO<sub>3</sub>), что вдвое меньше, чем у мшанок из Средиземного моря (Poluzzi, Sartori, 1971). Сходные результаты для мшанок Арктического океана получены Kuklinski, Taylor (2009), которые изучили 76 видов, большинство из которых имели кальцитовый скелет, и только 4 вида имели биминеральный тип скелета. Семь изученных видов у этих авторов те же, что и у авторов данного исследования, однако из различных и преимущественно не совпадающих местообитаний. Эти авторы обсуждают наши данные и утверждают, что у арктических мшанок кальцитовые скелеты, и также подтверждают наши выводы, что антарктические мшанки имеют сходный тип минерализации и его состав с арктическими видами. Нами лишь у *Labioporella adeliensis* из Антарктики был обнаружен арагонитовый тип минерализации скелета, что подтверждается не только данными рентгеновского анализа, но и типичным для биогенного арагонита повышенным в 3 раза содержанием Sr и во столько же раз меньшим содержанием Mg против средних значений и кальцитовых скелетов. Не обнаружен смешанный тип минерализации, на возможность появления которого указывалось в предыдущих работах. Это объясняется, скорее всего, тем, что арагонитовая минерализация может появляться совместно с кальцитовой лишь в более тепловодных условиях. По-видимому, не все мшанки способны становиться двуминеральными или даже полностью менять свой минеральный состав. По крайней мере, часть из них никогда не меняла свой кальцитовый или арагонитовый состав.

По своему минеральному составу скелетов мшанки должны различаться хотя бы на уровне семейств. Между тем, например в сем. Phidoloporidae входят

мшанки рода *Rhynchozoon* с арагонитовым, *Schizoteca*- с арагонит-кальцитовым скелетом, и *Schizoretepora* – с кальцитовым скелетом. Кальцитовый состав установлен и для мшанок родов *Cystisella* и *Porella*, хотя они объединяются в семейство *Bryocryptellidae*, где у представителей рода *Parasmittina* имеется арагонитовый состав.

Имеются однако предположения, что возникающие на поздних стадиях онтогенеза арагонитовые слои могут не проявляться на краевых участках зоария или не успеть развиться у молодых особей, и в таких случаях последние могут быть приняты за мономинеральные (Sandberg, 1971). Подобная неравномерность распределения различных полиморфных модификаций  $\text{CaCO}_3$  вдоль скелета действительно приведет к минералогическим и микроструктурным различиям у ряда видов даже в пределах одного рода. Исходя из этого, высказывалось предположение, что в некоторых случаях морфологическое сходство, на основе которого группируются виды, является больше результатом адаптивной конвергентности, чем филогенетической близости. Для исследования использовались крупные по размерам колонии, что было связано с необходимостью получения проб большой массы, как этого требовали использованные методики. Изученные колонии мшанок подразделяются на сильно обызвествленные с вертикальным ростом, а также обрастающие и слабо обызвествленные ветвистые с большой примесью органического вещества. В колониях с высокой степенью обызвествления скелета содержание органического вещества не превышает 10%, у слабо обызвествленных составляет около 20-40%, максимально 90% у *Securiflustra securifrons*.

Структурообразующими в скелетах мшанок, помимо Ca, являются изоморфно замещающими его Mg и Sr. Остальные микроэлементы содержатся в разных количествах, причем значительная часть из них, скорее всего, не являются структурной примесью.

Химический состав сильно обызвествленных скелетов имеет небольшие региональные различия. Превышения в 2-3 раза средних содержаний отмечаются для некоторых рудных элементов (Cu, Pb, Ni, Sn, Ag) в мшанках из антарктических вод, и только для фосфора в мшанках дальневосточных морей.

Сравнение средних данных по отрядам свидетельствует, что сильно обызвествленные скелеты *Cheilostomata* оказались несколько более обогащенными многими микроэлементами, чем циклостомиды, а количество Cu, Pb и Zn имеет в среднем почти двухкратное превышение. Исключение представляют В, V и Mn, для которых количественные соотношения в отрядах обратные, т.е. у *Cyclostomata* их количество больше.

Подтверждается ранее установленный факт большего обогащения *Cheilostomata* Mg (по сравнению с *Cyclostomata*), однако выявить зависимость содержания Mg от температуры (при ее низких значениях) не удалось из-за недостаточного количества определений. В кальцитовых скелетах антарктических *Anasca* содержание Mg находится в пределах 1-2% независимо от места сбора проб.

Возможные отличия в составе мшанок на уровне семейств и родов не удается уверенно отделить от изменений, вызванных изменением условий местообитания. Размах колебаний содержания микроэлементов в скелетах

различных видов соизмерим с вариациями для одного и того же вида из разных мест обитания в различных морях. Не обнаружено заметных различий и в составе различных частей кальцитового скелета колонии *Escharopsis lobata*. Содержания Mg от основания к ветвям колонии не изменялось, хотя на возможность таких изменений указывалось ранее другими исследователями.

Анализ собственных и литературных данных минерального состава различных колоний позволил установить следующие особенности распределения типа минерализации в таксонах хейлостомных мшанок. С достаточно высокой степенью вероятности можно предположить, что более примитивные мшанки, как среди *Anasca*, так и среди *Ascophora*, имеют чисто кальцитовый состав скелета колоний, а эволюционно продвинутых мшанок состав скелета меняется от кальцитового до арагонитового, включая промежуточные варианты с различными количественными соотношениями этих двух минералов. Мшанки промежуточных вариантов могут называться двуминеральными. Недостаточный уровень минеральной изученности скелетов мшанок на данном этапе позволяет судить о минеральном составе лишь достаточно крупных таксонов, например, надсемейств, хотя во многих случаях удается получить и точную характеристику отдельных семейств. В частности, несмотря на то, что минеральная принадлежность родов *Labiostomella* и *Aetea* неизвестна, можно, приняв во внимание данные о других родах, отнести весь отряд Membraniporidae по системе Морозовой и Висковой или равноценные им четыре подотряда в системе Гордона к мшанкам с кальцитовым типом минерализации скелета.

На этом относительное сходство этих двух систем заканчивается. В системе Морозовой и Висковой надотряд Eurystomellidae в минеральном отношении весьма неоднороден (Таблица). В нем отряды Bugulida, Cellarida, Cribrilinida кальцитовые (К), а Flustrida и Microporida двуминеральные (АК).

Примерно такое же распределение типа минерализации и в системе Гордона. В подотряде Neocheilostomina кальцитовыми являются надсемейства Buguloidea и Cellarioidea, а надсемейства Calloporoidea и Microporoidea двуминеральные.

*Ascophora* по системе И.П.Морозовой и Л.А.Висковой попадают в обширный в целом двуминеральный отряд Eurystomellida. Более дифференцированное распределение получается по системе Гордона в аскофорных неохейлостоматах: *Acanthostegomorpha* и *Hippothoomorpha* кальцитовые, а другие *Umbonulomorpha* и *Lepraliomorpha* – двуминеральные. Очень подробно рассмотрен этот вопрос в статье о минералогии скелетов в статье Smith, Marcus Key, Gordon (2006).

Слабо обызвествленные колонии мшанок имеют более значительную терригенно-глинистую примесь, чем сильно обызвествленные, и в связи с этим повышенное количество микроэлементов. Сильно обызвествленные колонии по химическому составу отличаются на уровне отрядов: хейлостомата в среднем содержат большее количество микроэлементов, особенно меди, свинца, цинка, а также магния, а циклостомата обогащены бором, ванадием, марганцем.

## Литература

Борисенко Ю.А., Гонтарь В.И.. Биогеохимия скелетов холодноводных мшанок.//Биология моря, 1991. –№1–С.80-90

Борисенко Ю.А., Гонтарь В.И. Минеральный состав хейлостомных мшанок как дополнительный таксономический признак//Вестник Харьковского университета,1998–№402–С.21-23.

Виноградов А.П., 1935.Химический элементарный состав организмов моря. //Труды биогеохимической лаборатории–Т.3–С.63-278.

Вискова Л.А. Морские постпалеозойские мшанки. – М.:Наука, 1992 –187с.

Вискова Л.А., Морозова И.П. К ревизии системы высших таксонов типа Bryozoa.//Палеонтологический журнал, 1988–№1–С.10-21.

Chave K.E. Factors influencing the mineralogy of carbonate sediments. //Limnol. Oceanogr., 1962 –Т.72–Р.18-233.

Cheetham, A. H., J. B. Rucker, R. E. Carver. Wall structure and mineralogy of the cheilostome bryozoan *Metrarabdotos*. //Journal of Paleontology,1969.–Т.43–№1–Р.129-135.

Kuklinski P., Taylor P.D. Mineralogy of Arctic bryozoan skeletons in global context. //Facies., 2009–Т.55–Р.489-500.

Lowenstam, H. A Factors affecting the aragonite calcite ratios in carbonate secreting marine organisms// Jour. Geology , 1954 –Т. 62–№3–Р.284-322.

Masuda F. and Sakagami S. Chemical composition of Recent and fossil Bryozoa (Cheilostomata), *Microporina articulata* and *Myriozoum orientale*//. Ann. Report Inst. Geosci. Univ. Tsukuba, 1982 –№8–Р. 66-69.

Poluzzi A. & Sartori R., 1975. Report on the carbonate mineralogy of Bryozoa. In: Bryozoa (Pouyet, S. editor), Université Claude Bernard, Lyon, 1974–Р.193-210..

Rucker, J. B. & Carver, R. E., 1969.A survey of the carbonate mineralogy of the cheilostome Bryozoa. //Journal of Paleontology –Т.43–Р.791-799.

Sandberg, P. A., 1971. Scanning electron microscopy of cheilostome bryozoan skeletons; techniques and preliminary observations. //Micropaleontology–№17–Р.129-151.

Smith, Abigail M., Key, Marcus M. Jr & Gordon, Dennis P., 2006. Skeletal mineralogy of bryozoans: Taxonomic and temporal patterns. //Earth-Science Reviews–№ 78 (3-4) –Р.287-306.

## Резюме

Рентгеновским спектральным анализом изучены скелеты современных наиболее распространенных мшанок семи видов циклостомид и 48 видов хейлостомид из северных и дальневосточных морей России, а также антарктических вод. Скелеты большинства видов представлены магнезиальным кальцитом, и только у *Labioporella adeliensis* арагонитом. Двуминеральность скелетов не обнаружена. Слабо обызвествленные колонии мшанок имеют более значительную терригенно-глинистую примесь, чем сильно обызвествленные, и в связи с этим повышенное количество микроэлементов. Сильно обызвествленные колонии по химическому составу отличаются на уровне отрядов: хейлостомата в среднем содержат большее количество