



XIII Международная научно-практическая конференция
«Морские исследования и образование»

XIII International conference
«Marine research and education»

MARESEDU-2024

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ
CONFERENCE PROCEEDINGS**

Том III (IV) / Volume III (IV)

28 октября - 01 ноября 2024 г.

г. Москва

www.maresedu.com



УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

T78

Труды XIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2024)» Том III (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2025, 693 с.:

ISBN 978-5-6053295-3-4

ISBN 978-5-6053295-8-9 (том III)

Сборник «Труды XIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2024)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из четырех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, гидрографические и геофизические исследования на акваториях, морские ландшафты, морская биология, морские млекопитающие, рациональное природопользование, техника и технологии морских исследований, междисциплинарные региональные проекты, подводное культурное наследие и секция научно-популярных фильмов. Помимо основных секций на конференции были представлены круглые столы: к юбилею проекта Class@Baikal: «10 лет "Обучения-через-исследования" на Байкале», «Пластик водных сред», «Комплексные исследования современного состояния экосистем Черного и Азовского морей в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия», которые так же включены в сборник в виде соответствующих глав.

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский
пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

Все права на издание принадлежат
ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских
исследований МГУ имени М.В.
Ломоносова», 2025
© ООО «ПолиПРЕСС»

STOMACRUSTULA CRUENTA (BRYOZOA: CHEILOSTOMATA).
МШАНКА, СФОРМИРОВАВШАЯ СИМБИОТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС С
ФОТОТРОФАМИ?

STOMACRUSTULA CRUENTA (BRYOZOA: CHEILOSTOMATA). THE FIRST BRYOZOAN
WITH PHOTOSYNTHETIC SYMBIOSIS?

**Богданов Евгений Александрович, Яковис Евгений Леонидович, Артемьева Анна
Васильевна, Вишняков Андрей Экскустадиянович, Островский Андрей
Николаевич.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Кафедра зоологии
беспозвоночных, Санкт-Петербург*

**Bogdanov Evgeniy Alexandrovich, Yakovis Evgeniy Leonidovich, Artemieva Anna
Vasilievna, Vishnyakov Andrey Ekskustadianovich, Ostrovsky Andrey Nikolaevich**
Saint-Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint-Petersburg

Введение

Симбиотические ассоциации широко распространены среди самых разных групп организмов [Догель, 1962; Boucher et al., 1982]. Подобно другим морским беспозвоночным (например кораллам [Baker, 2003] или губкам [Taylor et al., 2007]), мшанки также нередко становятся участниками сложных симбиотических взаимодействий [Bogdanov et al. 2022]. На данный момент, эндосимбиотические прокариоты, располагающиеся в специальных органах, известны уже у более десятка видов хейлостомных мшанок из семи семейств: Bugulidae [Lutaud, 1969; Bogdanov et al., 2023], Candidae [Karagodina et al., 2018], Beaniidae [Lutaud, 1969], Epistomiidae [Dyrynda & King, 1982], Watersiporidae [Anderson & Haygood, 2007], Bryocryptellidae [Lutaud, 1986], Eucrateidae [наши неопубликованные данные]. Данное исследование посвящено новому типу симбиотических отношений, обнаруженному у представителя семейства Fatkullinidae, вида *Stomacrustula cruenta*.

Сбор и методы обработки материала

Stomacrustula cruenta (Busk, 1854) – вид хейлостоматных мшанок, распространенный в северной Атлантике [Клюге, 1975], и отличающийся наличием нехарактерной для большинства бореальных и арктических мшанок ярко-красной пигментацией колоний, обитающих на открытых, хорошо освещаемых участках дна.

Колонии данного вида собирались в районе Соловецкого архипелага и в Кандалашском заливе Белого моря. Для выявления особенностей сезонного развития сравнивались колонии, собранные в июле и октябре 2023 г. Фрагменты колоний фиксировались в глютаральдегиде 2.5% (приготовленном на 0.1 М Na-какодилатном буфере с добавлением 10.26% сахарозы, pH 7.4), часть фрагментов прошла постфиксацию в 1% тетроксиде осмия. После декальцинации в 15% EDTA колонии и дегидратации в серии спиртов (30–50–70–80–90–100%) и ацетоне, фрагменты колоний были заключены в эпоксидную смолу ТААВ 812. Полутонкие срезы (1.0 μm толщины) были изготовлены при помощи ультратома Leica EM UC7 и окрашены красителем Хампфри-Питмана [Humphrey & Pittman, 1974]. Для изучения ультраструктуры изготавливались ультратонкие срезы (70 nm), которые после контрастирования с использованием уранил ацетата и цитрата свинца были исследованы с использованием трансмиссионного электронного микроскопа JEOL JEM-1400. Всего было исследовано 7 колоний (4 июльских и 3 октябрьских колоний).

Результаты и их обсуждение

Изучение гистологических срезов аутозооидов *S. cruenta* показало наличие многочисленных крупных, нередко содержащих множество запасующих гранул клеток, выстилающих полость каждого зооида как в июле, так и в октябре (Рис. 1). Присутствие запасующих клеток, иногда занимающих подавляющую часть объема зооида, у хейлостомат обычно ярко выражено поздней осенью и зимой, когда колонии находятся в состоянии покоя. В колониях же *S. cruenta* подобные типы клеток обнаружены не только в октябре, когда накопление питательных веществ перед периодом покоя, по-видимому, происходит особенно активно, но и в июле, когда колонии обычно находятся в состоянии активного роста. Подобные физиологические особенности могут свидетельствовать о наличии нетипичных для Bryozoa адаптационных решениях.

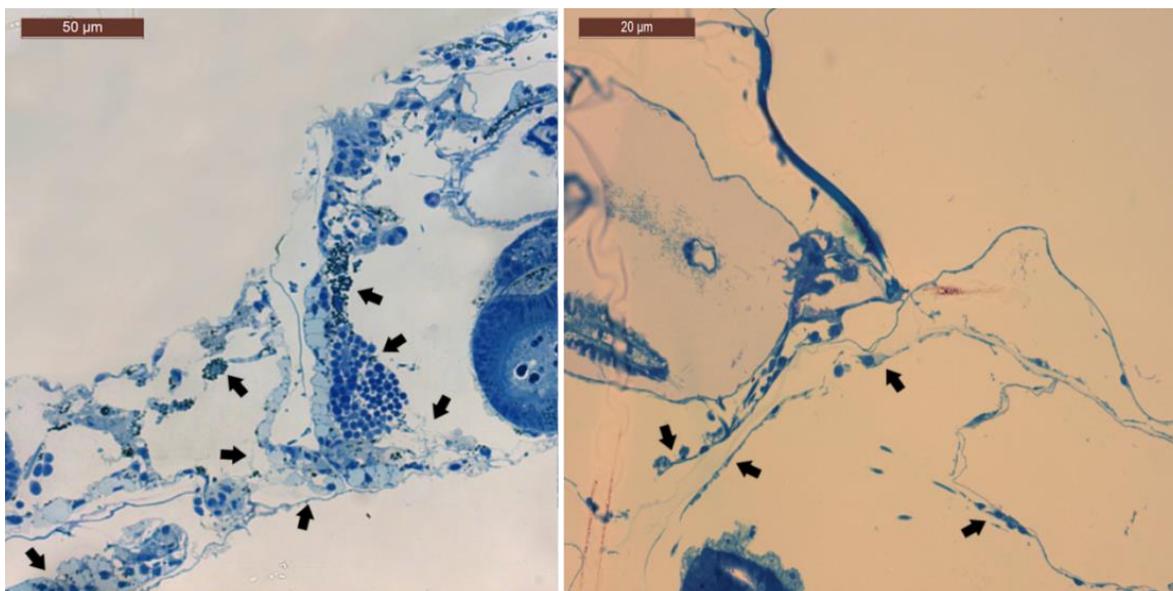


Рис 1. Сравнение эпителия стенки тела *Stomacrustula cruenta* (слева) и характерных для большинства хейлостомных мшанок эпителия стенки тела на примере *Schizomavella linearis* (полутонкие срезы, световая микроскопия). Эпителиальные и запасующие клетки отмечены стрелками.

Анатомические исследования *S. cruenta* показали наличие двух типов дополнительных органов. В вестибуле через тонкие длинные протоки открывается пара крупных вестибулярных желез, ранее уже описывавшихся у мшанок [Lutaud, 1964]. Ультраструктура этих органов, тем не менее, до сих пор оставалась неисследованной. Ранее было показано, что в вестибулярных железах могут содержаться симбиотические бактерии [Lutaud, 1986], однако наши исследования, включая *S. cruenta* показывают, что заселение симбионтами полости железы для большинства аскофорных мшанок не характерно.

Другим типом дополнительных структур в зооидах *S. cruenta* являются бактериальные тела, по своему строению отдаленно напоминающие фуникулярные тела бугулидных хейлостомат [Karagodina et al., 2018; Bogdanov et al., 2023]. Отличительной чертой этих тел является наличие бактерий, обладающих характерной электронно-плотной цитоплазмой, избыток гранул запасующих веществ в клетках стенки бактериального тела, а также наличие признаков транспорта веществ между симбионт-содержащей полостью и цитоплазмой клеток тела.

Можно предположить, что заселение бактериями молодых зооидов может происходить в зоне вестибулюма, из внешней среды. Как проникают бактерии в полость зооида – не до конца ясно, однако в зоне дистальной стенки у таких зооидов обнаруживаются молодые бактериальные тела, состоящие из небольшого числа клеток. В исследованных случаях фуникулярные тела развиваются летом, после чего деградируют и утрачивают симбионтов [Bogdanov et al., 2023]. В противоположность этому обнаруженные нами у *S. cruenta* бактериальные тела в октябре соответствуют тем, что встречаются в июле. Отсутствие изменений в состоянии тел летом и осенью может свидетельствовать об отсутствии их редукции у данного вида мшанок. Для подтверждения этого предположения требуются исследования колоний, собранных зимой.

Совокупность обнаруженных нами признаков склоняет нас к гипотезе наличия симбиотрофного питания колоний *S. cruenta* за счет содержащихся в бактериальных телах фотосинтезирующих бактерий. Для подтверждения данной гипотезы необходимо выявление филогенетической принадлежности симбионтов, а также экспериментальные данные, которые позволили бы оценить разницу в накоплении питательных веществ колонией на свету и в темноте.

Помимо специфичных бактериальных симбионтов, в стенке колонии *S. cruenta* обнаружены сверлящие эукариотические клетки. Подобные гифообразные организмы, пронизывающие стенку зооидов, но не контактирующие с клетками хозяина, также обнаружены как в июльских, так и в октябрьских колониях. Учитывая приуроченность колоний *S. cruenta* к хорошо освещенным участкам дна и яркую пигментацию, мы предполагаем возможность существования у данного вида мшанок комменсальных, возможно даже облигатных отношений с красными водорослями.

Благодарности

Авторы благодарят Котенко О.Н., кафедра зоологии беспозвоночных СПбГУ, за помощь в сборе материала, а так же Ресурсный Центр “Развитие молекулярных и клеточных технологий” за предоставленное оборудование.

Финансирование

Исследование/проект выполнен при поддержке гранта РФФИ No 23-14-00351.

Список литературы:

1. Догель В.А. Общая паразитология.// Изд. Ленинградского университета. – 1962.
2. Ключе Г.А. Мшанки северных морей СССР.// Изд-во АН СССР. – 1962, С. 505.
3. Anderson C.M., Haygood M.G. α -proteobacterial symbionts of marine bryozoans in the genus *Watersipora* // Applied and environmental microbiology. – 2007. – Vol. 73. – No. 1. – P. 303-311.
4. Baker A.C. Flexibility and specificity in coral-algal symbiosis: diversity, ecology, and biogeography of *Symbiodinium* // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. – 2003. – Vol. 34. – No. 1. – P. 661-689.
5. Bogdanov E.A., Vishnyakov A.E., Ostrovsky A.N. From Prokaryota to Eumetazoa: Symbiotic Associations in Fossil and Recent Bryozoans // Paleontological Journal. – 2022. – Vol. 56. – No. 7. – P. 836-851.
6. Bogdanov E.A., Vishnyakov A.E., Kotenko O.N., Grischenko A.V., Letarov A.V., A.N.

- Ostrovsky Seasonal dynamics of a complex cheilostome bryozoan symbiosis: vertical transfer challenged // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13. – No. 1. – P. 375.
7. Boucher D.H., James S., Keeler K.H. The ecology of mutualism // *Annual Review of Ecology and Systematics*. – 1982. – Vol. 13. – P. 315-347.
 8. Dyrinda P.E.J., King P.E. Sexual reproduction in *Epistomia bursaria* (Bryozoa: Cheilostomata), an endozooidal brooder without polypide recycling // *Journal of Zoology*. – 1982. – Vol. 198. – No. 3. – P. 337-352.
 9. Humphrey C.D., Pittman F.E. A simple methylene blue-azure II-basic fuchsin stain for epoxy-embedded tissue sections // *Stain technology*. – 1974. – Vol. 49. – No. 1. – P. 9-14.
 10. Karagodina N.P., Vishnyakov A.E., Kotenko O.N., Maltseva A.L., Ostrovsky A.N. Ultrastructural evidence for nutritional relationships between a marine colonial invertebrate (Bryozoa) and its bacterial symbionts // *Symbiosis*. – 2018. – Vol. 75. – P. 155-164.
 11. Lutaud G. La nature des corps funiculaires des cellularines, bryozoaires chilostomes // *Arch. Zool. Exp. Gen.* – 1969. – Vol. 110. – P. 5-30.
 12. Lutaud G. L'infestation du myoépithélium de l'oesophage par des microorganismes pigmentés et la structure des organes à bactéries du vestibule chez le Bryozoaire Chilostome *Palmicellaria skenei* (E. et S.) // *Canadian journal of zoology*. – 1986. – Vol. 64. – No. 9. – P. 1842-1851.
 13. Lutaud G. Sur la structure et le rôle des glandes vestibulaires et sur la nature de certains organes de la cavité cystidienne chez les Bryozoaires chilostomes // *Cah Biol Mar.* – 1964. – Vol. 5. – No. 2. – P. 201-231.
 14. Taylor M.W., Radax R., Steger D., Wagner M.. Sponge-associated microorganisms: evolution, ecology, and biotechnological potential // *Microbiology and molecular biology reviews*. – 2007. – Vol. 71. – No. 2. – P. 295-347.