

ПРИРОДА

2 13



В НОМЕРЕ:

Специальный выпуск

К 75-летию Беломорской биологической станции им.Н.А.Перцова

- 3** **Цетлин А.Б., Гаврилов В.М.**
Здесь становятся биологами
- 10** **Шноль С.Э.**
Рождение Беломорской биологической станции
- 18** **Пастернак Р.К.**
В далеком 1946 году
- 21** **Сахаров Д.А.**
И были с нами ангелы морские...
- 30** **Белоусов Л.В.**
Морфогенез беспозвоночных
- 34** **Балезина О.П.**
Беломорские просторы для сравнительной физиологии
- 39** **Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н.**
Кисло-сладкие озера, полные чудес
- 49** **Ежова О.В., Малахов В.В.**
О саккоглоссусе, зоологах и перевернутых хордовых
- 57** **Ворцепнева Е.В., Цетлин А.Б.**
Зоологическое открытие: паразит полихеты оказался карликовым самцом
- 61** **Колбасова Г.Д.**
О бесполом размножении беломорской полихеты
- 65** **Неретин Н.Ю.**
Строители на дне моря
- 70** **Борисанова А.О.**
Сердечные тайны камптозой
- 73** **Неретина Т.В., Мюге Н.С.**
ДНК-штрихкодирование организмов
- 76** **Прудковский А.А.**
Наблюдения над гидроидными медузами
- 80** **Пятаева С.В.**
Стрекающие – миниатюрные обитатели толщи грунта
- 84** **Исаченко А.И., Мокиевский В.О.**
Моллюск-долгожитель
- 87** **Лавров А.И., Косевич И.А.**
Реагрегация клеток у губок
- 91** **Макаров А.В., Спиридонов В.А.**
Морские травы: взгляд из космоса
- 95** **Любезнова Н.В.**
Зостера выходит из кризиса
- 97** **Романенко Ф.А., Репкина Т.Ю., Ефимова Л.Е., Булочникова А.С.**
Жизнь беломорского припая
- 102** **Ильяш Л.В., Житина Л.С., Колосова Е.Г., Белевич Т.А.**
Биота льдов в Кандалакшском заливе
- 106** **Георгиев А.А.**
Диатомовые водоросли-обрастатели
- 110** **Константинов П.И.**
Метеорология на морозе
- 113** **Репкина Т.Ю., Шевченко Н.В., Косевич Н.И.**
Живые камни
- Рецензии**
- 117** **Краснова Е.Д.**
Фундаментальный итог
(на кн.: Каталог биоты Беломорской биологической станции МГУ)
Будаева Н.Е.
Кто живет в Белом море?
(на кн.: Флора и фауна Белого моря) (124)
- 120** **Семенов А.А.**
Фотосъемка – наука или искусство?
- 127** **Калякин М.В.**
Секрет процветания

CONTENTS:

Special Issue

To 75 Anniversary of N.A.Pertsov White Sea Biological Station

3 **Tzetlin A.B., Gavrilov V.M.**
Here Students Became Biologists

10 **Shnol S.E.**
The Birth of White Sea Biological Station

18 **Pasternak R.K.**
In the Distant Year 1946

21 **Sakharov D.A.**
And Sea Angels Were With Us...

30 **Belousov L.V.**
Morphogenesis of Invertebrates

34 **Balezina O.P.**
White Sea Expanses for Comparative Physiology

39 **Krasnova E.D., Pantyulin A.N.**
Sweet-Sour Lakes Full of Wonders

49 **Ezhova O.V., Malakhov V.V.**
On Succoglossus, Zoologists and Inverted Chordates

57 **Vortsepneva E.V., Tzetlin A.B.**
A Zoological Discovery: Polychaete Parasite Turned out to Be a Dwarf Male

61 **Kolbasova G.D.**
On Asexual Reproduction of a White Sea Polychaete

65 **Neretin N.Yu.**
Builders at Seabed

70 **Borisanova A.O.**
Heart Secrets of Kamptozoa

73 **Neretina T.V., Myuge N.S.**
DNA-Barcoding of Organisms

76 **Prudkovsky A.A.**
Observations on Hydroid Jellyfishes

80 **Pyataeva S.V.**
Cnidaria – Tiny Inhabitants of Thickness of Ground

84 **Isachenko A.I., Mokievsky V.O.**
A Long Living Clam

87 **Lavrov A.I., Kosevich I.A.**
Cell Regeneration in Sponges

91 **Makarov A.V., Spiridonov V.A.**
Sea Grasses: A View from Space

95 **Lyubeznova N.V.**
Zostera Is Recovering

97 **Romanenko F.A., Repkina T.Yu., Efimova L.E., Bulochnikova A.S.**
Life of White Sea Shore Ice

102 **Ilyash L.V., Zhitina L.S., Kolosova E.G., Belevich T.A.**
Ice Biota in Kandalaksha Bay

106 **Georgiev A.A.**
Fouling Diatoms

110 **Konstantinov P.I.**
Meteorology at Frosty Weather

113 **Repkina T.Yu., Shevchenko N.V., Kosevich N.I.**
Living Stones

Books Reviews

117 **Krasnova E.D.**
Fundamental Result
(on book: Catalog of Biota of MSU White Sea Biological Station)

Budaeva N.E.
Who Is Living in White Sea?
(on book: Flora and Fauna of White Sea) (124)

120 **Semenov A.A.**
Photography: A Science or an Art?

127 **Kalyakin M.V.**
Secret of Prosperity

Здесь становятся биологами

А.Б.Цетлин,
 доктор биологических наук,
 директор Беломорской биологической станции им. Н.А.Перцова
 В.М.Гаврилов,
 доктор биологических наук,
 директор Звенигородской биостанции им.С.Н.Скадовского

Предлагаемый читателю номер «Природы» посвящен 75-летию Беломорской биологической станции им.Н.А.Перцова биологического факультета МГУ (далее — ББС). Возникла она в 1938 г. на прибрежной вырубке, оставшейся от «лагпунктов», снабжавших лесом строительство Беломорканала. Тогда Л.А.Зенкевич с группой студентов во главе с аспирантом К.А.Воскресенским установили заявочный столб почти точно на полярном круге. Некоторые страницы ее истории читатель найдет в этом номере (статьи С.Э.Шноля, Д.А.Сахарова, Л.В.Белосува, Р.К.Пастернак). Сегодня ББС — это морской учебно-научный центр МГУ, где про-



© Цетлин А.Б., Гаврилов В.М., 2013



ходят полевые практики и ведут научные исследования студенты, преподаватели и сотрудники пяти факультетов МГУ и ряда других вузов. В 2012 г. биостанцию посетило более 800 человек.

Как и 75 лет назад, биостанция остается поселком, дороги к которому по-прежнему нет; с внешним миром его связывает водный транспорт летом и снегоходный — зимой. Живет здесь около 50 технических сотрудников, моряков и специалистов, поддерживающих жизнь, транспорт и снабжение биостанции, а также 13 научных сотрудников. В 500 м от ББС проходит граница Кандалакшского государственного заповедника, а п-ов Киндо, на котором расположен наш поселок Приморский, входит в региональный заказник. Уникальное местоположение станции среди нетронутой природы арктического побережья открывает замечательные возможности для реализации образовательных и научных программ.

За последние годы на биостанции установлено современное оборудование. Здесь имеются лаборатория молекулярной зоологии; центр видеомикроскопии, оснащенный современной техникой; центр подводной фото- и видеорегистрации. Небольшое судно позволяет проводить весь комплекс океанологических исследований в ближайших окрестностях, есть и морская аквариальная лаборатория, и набор современных орудий для отбора биологических, гидрологических и геологических проб. Библиотека биостанции давно стала важным региональным собранием научной и учебной литературы по морской биологии. Ее электронный каталог доступен в Интернете*. У биостанции есть Соловецкий филиал, работающий как университетский стационар в историко-природном заповеднике. Все это позволяет вести разнообразные исследования и практические курсы на самом высоком методическом уровне.

Как и любая другая структура университета, биостанция сочетает учебную и научную работу — совместные проекты, сотрудничество со многими лабораториями и кафедрами МГУ, с разными институтами и университетами. Мы надеемся, что статьи этого номера дадут читателям представление о различных аспектах научной работы на ББС. Авторы многих из них — молодые ученые, аспиранты и студенты разных кафедр и институтов, реализующие свои проекты на ББС.

Очень важно, что в 2009 г. оформился научно-образовательный центр «ББС МГУ — морская биология, океанология и геология». Так стало юридически действительным давно существующее на практике беломорское научное сообщество, объединившее исследователей Кандалакшского государственного заповедника, сотрудников МГУ, сотрудников биологической станции Зоологического института РАН «Картеш», преподавателей, сотрудников и студентов Санкт-Петербур-



ского и Казанского университетов (биостанция на о.Средний в заливе Чупа), ПИНРО, Института океанологии РАН и многих других. Сегодня в рамках этого сообщества обсуждаются и реализуются многие совместные проекты. Например, на 2013 г. запланированы совместные исследования Бабьего моря (акватория Кандалакшского заповедника), совместно разрабатывается также уникальная база данных по бентосу Белого моря, которая объединит и сделает доступными первичные материалы исследований, проведенных

* www.wsbs-msu.ru/doc/view.php?ID=123



ББС — вид с Великой Салмы
Здесь и далее фото А.А.Семенова и С.А.Горина

в разных районах Белого моря за последние десятилетия.

Особую роль в жизни биостанции играет лаборатория молекулярной зоологии (см. статью Т.В.Неретиной), которая объединяет интересы зоологов, ботаников, микологов, эволюционистов. В рамках сотрудничества с «мегапроектом» президента РФ (руководитель А.С.Кондрашов) «Phylogenetic analysis of complex selection in molecular evolution» эта лаборатория стала полноценным центром, занимающимся изучением геномики беспоз-

воночных животных, молекулярной систематикой морских животных и растений.

Молекулярные методы — это инструмент в руках «классических» биологов (зоологов, ботаников), помогающие на совершенно новом уровне решению большого круга задач — от выявления скрытых, не отличающихся морфологически видов (видов-двойников) до решения проблем микро- и макроэволюции, филогении групп различных рангов. Интересно, что развитие таких исследований требует существенного расширения



Ветряк — один из символов биостанции.

объема научных коллекций. Ведь каждый экземпляр животного или растения, из которого выделяется ДНК (так называемый ваучерный экземпляр), должен быть сохранен. В противном случае, если выяснится, что, по данным молекулярного исследования, какой-то экземпляр — новый для науки вид, составить его описание будет невозможно. Так, развитие исследований по молекулярной зоологии привело к созданию на ББС филиала Зоологического музея МГУ. Теперь наша научная коллекция имеет официальный статус, она организована по тому же плану, что и коллекция Зоомузея, и занимает свое место в его электронном каталоге. Это один из немногих официально существующих коллекционных центров на севере европейской части РФ.

Еще одно важное коллективное достижение ББС — подготовка аннотированного каталога фауны и флоры окрестностей биостанции (он доступен в ин-



Морская аквариальная лаборатория.



Пирс биостанции.

терактивном виде*. В многолетней работе по составлению каталога участвовали специалисты по самым разным группам растений и животных. Сегодня окрестности биостанции — один из самых изученных в отношении биоразнообразия районов приполярной зоны Европы. И биота БС служит основой для дальнейших исследований в области глобального мониторинга флоры и фауны (рецензия Е.Д.Красновой).

Не менее интересен изданный в 2010 г. иллюстрированный атлас фауны и флоры Белого моря — уникальное, практически не имеющее аналогов издание (рецензия Н.Е.Будаевой).

* <http://biota.wsbs-msu.ru/wiki/index.php>



Лабораторный корпус.



Лекция в кают-компании биостанции.

В его создании приняли участие десятки специалистов по разным группам животных и растений. Можно сказать, что атлас — это результат тысяч часов подводных наблюдений, проведенных биологами-подводниками в Белом море.

Идея «образование через исследование», так популярная в настоящее время, составляет естественную часть нашей жизни в течение многих десятилетий. С 1962 г. выходят «Труды Беломорской биостанции». Из 17 работ, опубликованных в I томе, 11 принадлежали студентам и аспирантам. А с 1996 г. на биостанции регулярно проходят научные конференции «Чтения памяти Н.А.Перцова». Это важное событие региональной научной жизни объединяет ученых, работающих на Белом море и других морях Российского Севера.

ББС — база не только для полевых практик для второкурсников биофака, факультета биоинженерии и биоинформатики МГУ, но и для специализированных практик десятков кафедр многих его факультетов. Работа попавших на биостанцию старшекурсников, тесно связанная с курсовыми и дипломными работами, делает их полноправными членами нашего научного сообщества.

С 2008 г. на ББС ежегодно проходят международные полевые научные школы для молодых ученых*, которые проводят авторитетные специалисты в той или иной области. Объявление о проведе-

нии школы дается примерно за год до начала курса. Для каждой такой школы международный организационный комитет из нескольких ведущих ученых разрабатывает программу, подбирает лекторов. Поданные заявления обсуждаются оргкомитетом, и формируется состав участников школы. Никаких норм, естественно, нет, но обычно половина участников таких школ — российские студенты, аспиранты и молодые ученые, а половина — иностранные. С 2008 по 2012 г. состоялись курсы по морской биологии, молекулярной зоологии, прибрежной экологии, сравнительной эмбриологии, многощетинковым червям, нейроанатомии беспозвоночных и сравнительной физиологии. В них участвовали ведущие ученые из России, США, Германии, Франции, Швеции, Италии, аспиранты и студенты из десятков стран — от России, США, Канады и Бразилии до Швеции, Германии, Украины, Индии и Иордании. Такие образовательные курсы помимо знаний и опыта предоставляют студентам возможность тесного личного общения с ведущими специалистами в интересующей их области науки. Проведение международных школ поддерживается МГУ, РФФИ и фондом «Династия». Летом 2012 г. на ББС прошел первый полевой курс по морской биологии для иностранных студентов (возможно, он станет ежегодным).

Одна из наших инноваций — организация междисциплинарных практик, в которых участвуют студенты разных кафедр и факультетов. Практи-

* www.wsbs-msu.ru/doc/index.php?ID=44

тики объединены общими полигонами и семинарами, а главное — общими задачами; студенты приобретают опыт комплексных исследований и совместного мультидисциплинарного решения какой-то задачи. Например, это может быть изучение небольшого участка дна или, как запланировано на лето 2013 г., — небольшого морского водоема, Бабьего моря (акватория Кандалакшского заповедника). Подобные программы нацелены на подготовку специалистов для участия в проектах освоения арктического шельфа России.

Говоря об организации полевых практик на биофаке МГУ, нельзя не упомянуть подмосковную Звенигородскую биостанцию им. С.Н. Скадовского. Этот старший брат ББС основан более 100 лет назад. В учебном процессе роль двух биостанций различна: если на Беломорской большая часть студентов — это старшекурсники, дипломники, аспиранты, то на Звенигородской проходят свою первую полевую практику по зоологии, ботанике и экологии младшие курсы биофака МГУ. Для многих студентов она так и остается основным источником знаний о биологическом разнообразии. Часто это первые самостоятельные проекты в жизни студентов. Они сами выбирают (из большого списка предложенных задач) тему и руководителя. Основное направление работ — комплексный экологический мониторинг лесных экосистем и поймы Москвы-реки. На примере лесного массива биостанции студенты выявляют особенности сохранения видового и структурного разнообразия сообществ, используя метеорологические, микологические, геоботанические, ихтиологические, орнитологические и териологические наблюдения. Научная инфраструктура биостанции, как и на ББС, служит методическим ресурсом практики и студенческих исследований. Она включает: полевой стационар для массового отлова, прижизненного анализа и кольцевания птиц; лаборатории по изучению структуры и функций генома под влиянием экологических факторов и по нейроонтогенезу поведения; кабинеты молекулярно-генетических методов, видеомикроскопии, экологической энергетике животных, экологической биофизики, палеоботанического исследования археологических памятников долины р. Москвы, а также группу дистанционных методов радиослежения животных.

С 2001 г. на Звенигородской биостанции ежегодно проходят студенческие конференции, доклады на них отбираются по итогам самостоятельных работ на кафедрах. Конференции, наглядно демонстрирующие весь спектр проводимых на биостанции исследований, учат студентов представлять научную работу перед внушительной аудиторией. Избранные самостоятельные исследования студентов издаются в ежегодных сборниках «Флора и фауна западного Подмосковья».

Еще одна важная особенность жизни Звенигородской биостанции — регулярные публичные

лекции, которые читают известные ученые. Эти лекции, рассчитанные на живое общение с лекторами, помогают студентам более осознанно выбрать интересное им направление биологии и кафедры, на которой они будут учиться.

У читателя может возникнуть вопрос: зачем в номере, посвященном Беломорской биостанции, рассказ о Звенигородской? Дело в том, что обе станции выполняют одну важнейшую задачу образовательного процесса на биологическом факультете — во время работы на биостанциях студенты приобретают свой собственный, персональный опыт в знакомстве с биологическим разнообразием, здесь они впервые в рамках учебы встречаются с живой природой. И Звенигородская, и Беломорская биостанции, отличающиеся местоположением, размерами, числом и составом студентов, техническим обеспечением жизни на станциях, имеют много общего.

Каждая биостанция, будучи в административном плане «базой практики», имеет очень небольшой научный штат. Очевидно, что несколько научных сотрудников не могут обеспечить на станции интенсивную исследовательскую работу. Ведет ее целое научное сообщество, в равной степени состоящее из ученых и студентов МГУ и других вузов. Биостанции выступают здесь как своего рода центры коллективного пользования, где все сотрудники помимо собственных исследований должны поддерживать в рабочем состоянии приборную и лабораторную базу (в каждом случае очень разную), обучать студентов и, что еще важнее, сохранять доброжелательную творческую обстановку и заинтересованность в каждом проекте и в каждом студенте.

Биостанции биофака МГУ (как и других университетов) — это место, где студенты в первый раз, а часто и в последний (если они биохимики, молекулярные биологи, биофизики, или «биоинженеры») знакомятся с живой природой, ее таксономическим и биотопическим разнообразием, место, где формируется биологическое мировоззрение. Здесь студенты после первого и второго курсов проводят свои первые самостоятельные научные работы и готовят презентации их результатов, получают опыт того, как можно «задать вопрос природе» и получить ответ. На биостанции студенты имеют уникальную возможность при тесном неформальном общении с преподавателями и исследователями впитать то, что можно назвать культурой современной науки.

На биостанциях реализуется значительная часть учебного плана биофака. Но дело не столько в количестве учебных часов, сколько в том, что биостанции — это полевые практики самого высокого уровня; традиция, заслуга многолетней работы обеих биостанций и факультета. Так что, отвечая на вопрос, чем же уникальна роль этих биостанций в образовании, можно ответить: на них студенты становятся биологами. ■

Рождение Беломорской биологической станции

С.Э.Шноль,

доктор биологических наук,

профессор кафедры биофизики физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

История Беломорской биостанции — ее замысел, строительство и место в интеллектуальной и нравственной жизни Московского университета — полна глубоких символов. Конец XIX и начало XX в. характеризовались расцветом отечественной биологии. Научная мысль была устремлена на решение принципиальных научных проблем, на более тесное соединение «чистой» науки с ее практическими приложениями. Тогда же сформировался тип ученого — деятеля, сочетающего научные труды с большой общественно-организационной работой; появлялись научные общества, открывались выставки и музеи, осуществлялись грандиозные экспедиции.

Трудами К.М.Бэра, И.И.Мечникова, И.М.Сеченова, В.О. и А.О.Ковалевских, И.П.Павлова, В.В.Докучаева, К.А.Тимирязева, Д.И.Ивановского, С.Н.Виноградского, А.С.Фаминцына, М.А.Мензбира отечественная биология была выведена на передовые позиции. Уже в 60-х годах XIX в. стало ясно, что для подготовки таких по-университетски образованных биологов и для научной работы наилучшее место — морские биостанции. Одним из первых это осознал Н.Н.Миклухо-Маклай. В 1868 г. он вместе с А.Дорном на свои личные средства открыл в Мессине морскую биостанцию и спустя год обратился к Съезду русских естествоиспытателей с призывом создавать морские биостанции. В 1871 г. такая биостанция открылась в Севастополе, а через три года — в Неаполе. Там работали И.И.Мечников, А.О.Ковалевский, Н.К.Кольцов и многие другие русские ученые. В 1881 г. по инициативе Н.П.Вагнера (1829—1907), написавшего первый капитальный труд по беспозвоночным животным Белого моря, Петербургское общество естествоиспытателей создает морскую биостанцию на Соловецких о-вах.

В конце XIX в. особую роль в развитии отечественной науки и в общественной жизни стал играть Московский университет, в котором сочетание научной и общественной деятельности были особенно характерны для зоологов. Так, заведующий кафедрой зоологии А.П.Богданов (1834—1896), стремившийся к широкому биологическому изучению морей, разработал обширную программу предсто-

ящих морских исследований. Его преемник по кафедре Г.А.Кожевников начал свою деятельность как морской зоолог. Его прекрасная работа по распределению фауны Балтики в зависимости от характера грунта и солености во многом предвосхитила результаты более поздних исследований. Это традиционное для московской школы зоологов стремление к морю было воспринято его учениками — И.И.Месяцевым и Л.А.Зенкевичем, который и задумал Беломорскую станцию.

В 1938 г. Зенкевич, уже будучи заведующим кафедрой зоологии беспозвоночных животных биофака МГУ, послал на Белое море экспедицию — группу студентов во главе с аспирантом К.А.Воскресенским. 10 августа они установили заявочный столб на берегу Великой Салмы. В 1938—1941 гг. биостанцию возглавляли известные зоологи Л.Л.Россолимо, Г.М.Беляев (еще студентом участвовавший в экспедиции 1938 г.); во время Отечественной войны — Г.Г.Абрикосов, а в первые послевоенные годы — П.В.Матекин.

Сегодня на пирсе биостанции написано: «ББС МГУ имени Н.А.Перцова». Именно с ним связаны вся послевоенная история, весь современный облик биостанции.



Лев Александрович Зенкевич (слева), инициатор создания Беломорской биостанции, и Леонид Леонидович Россолимо, первый директор ББС (1938—1940).



Директора ББС (слева направо): в 1938—1940 гг. — Георгий Михайлович Беляев, специалист по иглокожим и глубоководной фауне Мирового океана; в 1941—1946 гг. — Георгий Георгиевич Абрикосов, специалист по мшанкам; в 1946—1951 и 1991—1994 гг. — Петр Владимирович Матекин, специалист по наземным моллюскам.

Когда началась война, Николаю Перцову было 17 лет. В июле он пошел на войну вместе с отцом в составе истребительного батальона Молотовского района Москвы, а потом 6-го стрелкового полка московских рабочих и держал оборону Москвы на Можайском направлении. В тяжелых боях осенью 1941 г. Николай был контужен. В январе 1942 г. его демобилизовали, и он стал студентом биофака МГУ. Летом 1942 г. Николай обучал военному делу уходящих на фронт сотрудников университета — и скоро сам снова ушел воевать.

Осенью 1946 г. среди первокурсников биофака МГУ появился демобилизованный из армии бледный, черноволосый, чрезвычайно привлекательный юноша в офицерском кителе. Его пламенные речи оказывали на нас, его товарищей по курсу, гипнотическое влияние. Он отлично учился, был душой курса, его ожидало прекрасное будущее. Но в конце войны у него открылся тяжелый туберкулез... Ему рекомендовали ехать на юг, а он уехал на Белое море, в заполярный Кандалакшский заповедник, — делать дипломную работу по своей специальности, зоологии беспозвоночных.

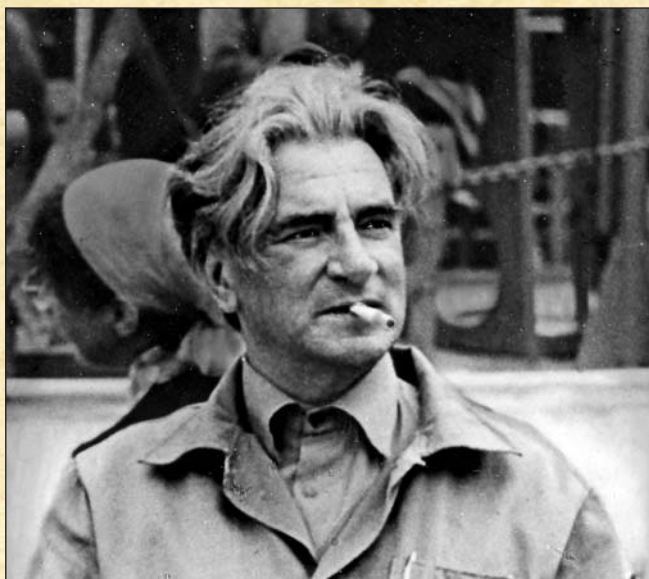
Тема дипломной работы: «Питание гаги Кандалакшского заповедника и использование ею пищевых ресурсов литорали Белого моря». Как отмечали рецензенты А.Н.Формозов и Л.А.Зенкевич, дипломник проявил незаурядные способности к научной работе. Если бы он избрал чисто научную карьеру, мы бы имели

выдающегося зоолога. Но он прожил жизнь без научных степеней и званий. Его выбор был, как говорили в старину, служение обществу. Николай остался в Кандалакше, и его туберкулез отступил, а затем и вовсе прошел...

Ясным июльским утром 1950 г. сторож ББС А.П.Никифоров и его семилетний внук — беленький, голубоглазый Валя Сметанин — довели меня до ББС. Место причала — доска, положенная на камень. На берегу — небольшая изба (сторожка деда, внука и бабки Евдокии Михайловны — Сметанихи). Ближе к берегу — дощатый домик (такие сейчас называют балками), служивший студентам лабораторией: вдоль окон — дощатый настил для



До начала строительства, 1951 г.



Николай Андреевич Перцов, зоолог, исследовал прибрежные сообщества Белого моря. Директор ББС в 1951—1987 гг. Ныне биостанция носит его имя.

микроскопов, для жилья — маленькая каморка с печкой. Все это называлось кубриком и сохраняется до сих пор как музейная ценность. На берегу, как и должно быть на Белом море, повсюду лежали валуны, слышались крики чаек, куликов и пролетающих гагар. Было тихо. Ни студентов, ни научных работников. А когда они приезжали, то жили в палатках, пищу варили на костре, плавали для сбора материала на весельной лодке.

Первый на ББС мотобот удалось получить в связи со строительством нового здания университета. Зенкевич обратился к знаменитому и могущественному И.Д.Папанину, и осенью 1950 г.



Начало работ по строительству собственной ЛЭП.

только что построенный в Архангельске мотобот доставили в Пояконду. В июле его на веслах отвели на ББС — по неопытности не сумели завести мотор... А осенью 1951 г. на мотоботе с гордым именем «Персей» (в честь первого экспедиционного судна, на котором в 20-х годах плавали Л.С.Берг, Н.М.Книпович, И.И.Месяцев, Л.А.Зенкевич) ходили даже в Кандалакшу.

1 июля 1951 г. директором ББС назначили только что окончившего МГУ Перцова. И уже через десять дней был составлен исторический акт — перепись имущества биостанции. В акте значились: сторожка — одна, лаборатория — одна (в плохом состоянии), лодка — одна (в плохом состоянии), планктонная сетка — одна (негодная), драги — три (лишь одна в хорошем состоянии) и т.д. А еще топоров — два, молоток — один, лопаты — две, кастрюля — одна и т.д. — список, очень напоминающий перечень Робинзона Крузо после кораблекрушения. Вместе с Перцовым и его женой Натальей Михайловной прибыли его однокурсники — М.Е. и Н.Г.Виноградовы, Н.М.Воронина, Е.А.Цихон, И.А.Носова, И.И.Гительзон, Я.Д.Гуревич. Началась современная история станции.

В следующий раз мне довелось попасть на ББС лишь в январе 1962 г. На берегу моря, среди сосен, у подножия пологой, выглаженной ледником скалы, дорожки в снегу вели к зданиям лабораторий, общежитий, кухни-столовой (клуба), домов сотрудников. Чуть выше стоял уютный дом директора. У ручья — бревенчатый дом Зенкевича. Прекрасная баня с парным отделением, просторная пилорама со штабелем заготовленных досок. На берегу, как в настоящем порту, на катках и проложенных рельсах зимовали мотобот, небольшой корабль — лоцманский бот «Ломоносов», малый гидробиологический бот «Биолог», много лодок.

Гордость ББС — корабль «Научный» — зимовал в Кандалакше. Биостанция была электрифицирована — работали дизели и аккумуляторная станция. И как художественный символ на берегу возвышался ветряк, построенный в надежде преобразования энергии ветра в электрическую. Лопасти ветряка минорно поскрипывали от ветра. Поразительно выглядели склады с разнообразным имуществом — слесарным и столярным инструментом, множеством прекрасных микроскопов, препаратовных луп, термостатов, компрессоров, одеял, сапог, телогреек — и все в невиданном мною нигде более порядке — каждая вещь на определенном месте с записью в журнале и при строгом учете. Сверху из «водопроводного» озе-

ра была проложена система труб, по которым вода летом «сифоном» поступала вниз, на биостанцию. Около мастерской стояли трактор и бульдозер. Замечательны были печи во всех домах: они сохраняли тепло сутки и были очень экономичны.

Как это могло осуществиться в наших, советских условиях? Мы сейчас видим прошлое лишь в мрачном свете. Это неверно и несправедливо. Высокие идеалы романтиков и утопистов-революционеров зажигали души. Энтузиазм, самопожертвование — действительная причина побед и преодолений прошедших десятилетий. Насилие, беззаконие, каторга, расстрелы не могли уничтожить подъем духа, рожденного великими идеями. Эта двойственность общественного сознания, когда даже дети репрессированных родителей искренне верили в высокие идеалы грядущего коммунистического общества, — предмет для будущих исследований специалистов-психологов.

В строительстве Беломорской биостанции реализовался этот прекрасный романтический дух. Более того, я думаю, Николай Андреевич Перцов — комсорг и комиссар, российский интеллигент и исследователь — в строительстве биостанции нашел способ воплощения своих идеалов. Здесь он был свободен. Здесь было братское содружество, место радостного и бескорыстного Труда. За первые 33 года директорства Перцова в строительстве ББС участвовали многие-многие сотни людей — математики, физики, биологи, будущие инженеры, целый слой отечественной интеллигенции.

В споре о смысле понятия «российский интеллигент» нужно учитывать высокую патетику прошедших десятилетий. Это отнюдь не отвлеченный, беспомощный и неумелый мечтатель — российские интеллигенты оказались умелыми плотниками, электриками, бетонщиками, каменщиками, механиками, и это не убавило их склонностей и профессионального уровня филологов, биологов, математиков.

Сам же Перцов в этом смысле — воплощение современного российского интеллигента. Он интеллигент потомственный, по происхождению, воспитанию, традициям, — внук известного юриста Петра Александровича Эрдели, арестованного и погибшего в 1937 г. Сестра деда — Ксения Александровна Эрдели, арфистка, профессор Московской консерватории, народная артистка СССР. С ранних лет Николай рос в семье отчима Глеба Ивановича Бакланова — профессора, заведующего кафедрой промышленной статисти-



Нина Леонтьевна Семенова, специалист по экологии бентоса Белого моря, директор ББС в 1987—1991 гг. Справа — академик М.Е.Виноградов.

ки Экономико-статистического института. Он учился в знаменитой 57-й московской школе, которую окончил в мае 1941 г.

На ББС студенты, а потом и школьники работали без всякой оплаты: Перцов ухитрялся оплачивать им билеты на поезд (30 руб. в оба конца) и по 1 руб. 20 коп. в день на еду в столовой при полном самообслуживании. Копали канавы, строили причалы, работали на пилораме, собирали и свозили камни, устанавливали столбы высоковольтной линии, клали печи, вели малярные и плотницкие работы. Попасть в стройотряд мечтали, и осуществить это было непросто. Комплектовался он зи-



«Беломорский флот».

мой в Москве, при строгом отборе. Численность стройотряда бывала разной: от 20 до 60 человек одновременно и около 200 в год. Стройотряды работали в летние месяцы и в зимние каникулы.

Не только стройотряды. По-прежнему по три часа в день студенты, проходящие практику, вместе с преподавателями участвовали в различных «общественных» работах. И началось это в июле 1951 г., когда на ББС вместе с Перцовым приехали девять его однокурсников и друзей. Тогда постановили: помимо и наряду с научной и учебной работой по три часа в день заниматься строительством и благоустройством биостанции. Разбирали старые бараки, стоявшие в лесу со времен давних лесозаготовок. Строили лаборатории и общежития.

Новая жизнь началась, когда в 1957 г. Перцов добыл оборудование для пилорамы. В море и на берегах материка и островов было множество бревен — потерь при лесосплавах. Получили разрешение их использовать. Нужен был флот. По просьбе Зенкевича специально для ББС в Ленинграде построили корабль — лоцманский бот ЛБ7, названный «Ломоносов». Он был предназначен для каботажного плавания, и Перцов освоил мореходную специальность — капитан каботажного плавания. Летом 1956 г. «Ломоносов» по системе каналов пришел на ББС. На «Ломоносове» плавали в Кандалакшу, возили грузы и студентов. Но для траления «Ломоносов» не был приспособлен, к тому же и вместимость его для все больших групп студентов была недостаточной.

Летом 1959 г. отряд военных моряков — гидрографов — детально описывал берега Кандалакшского залива. День за днем, месяц за месяцем их корабль обходил бухты, заливы и острова. Моряки засыхали от скуки. В 5 км от ББС на о. Великом есть прекрасное место — губа Лобаниха в форме круглого зеркала с темной неподвижной водой. Выход из губы в море — мимо отшлифованных ледником белых гладких скал. На скале — дом наблюдателя заповедника. В зеркальной воде отражаются огромные ели первобытного, никем не тревожимого леса. Вечером накануне дня Военно-морского флота, когда моряки отдыхали на берегу, в бухту влетели три веселые шлюпки со студентами во главе с Перцовым. В лодках, в центре бухты, они устроили замечательный концерт. Потом, на ББС, растроганный командир гидрографов сказал Перцову: «Ну, проси чего хочешь, слово моряка, я сделаю все!» И тот почти в шутку сказал: «Ну, дай корабль!».



Георгий Геннадиевич Новиков, ихтиолог, занимался вопросами адаптации роста и энергетики у рыб. Директор ББС в 1994—2005 гг.

— Слово моряка! Мой дать не могу. Жди от меня известий.

Осенью Перцов получил телеграмму — приглашение в NN к адмиралу, который выполнил обещание капитана-гидрографа. Так ББС был подарен (переведен «с баланса на баланс») корабль — рейдовый катер РК, получивший имя «Научный». Этот быстрый и грузоподъемный катер существенно изменил быт биостанции. Сколько на нем или на его буксире было перевезено грузов! Сколько студенческих групп на «Научном» выходили к ближним и дальним островам за материалами или на экскурсии! Перцов управлял им сам, или его замещали капитаны-профессионалы.

Не менее романтично приобретался самый большой корабль ББС — сейнер «Профессор Зенкевич». Нужно было судно для открытого моря. Прежде Лев Александрович добывал для ББС вельбот «Персей», лоцманский бот «Ломоносов». Теперь он обратился к министру рыбного хозяйства СССР. Тот сказал: «Вот у меня в Азове как раз стро-

ится средний черноморский сейнер — забирайте!» Путешествие сейнера — корабля, оборудованного для траления и любых других способов добычи материала при плавании в открытом море, осенью 1967 г. из Азова в Рыбинское водохранилище с зимовкой в Борке у Папанина, а затем по Беломорско-Балтийской системе каналов в Белое море — сказочные впечатления. Капитан сейнера Алексей Иванович Субботин, команда из семи человек. Соловьиное пение на зеленых берегах каналов весной 1968 г. Шлюзы, выход в Белое море. Густой бас — гудок на рейде в Великой Салме...

Для работы с этим флотом нужно было удлинить причал — пирс, сделать топливный склад, подобрать команду. Пирс строили все. В срубленные из бревен клетки — ряжи — наваливали камни (их собирали по берегам и на литорали). Пирс должен был выдерживать удары льдин. Его длина позволяет кораблям швартоваться, а не стоять на рейде. Раз есть флот (корабли, баржи, лодки) — нужны ремонтная база, починка, окраска. И, как и раньше, почти все эти работы выполнялись силами студентов и сотрудников.

Друзья уговаривали Перцова: «Хватит, биостанция уже построена. Пора пожинать плоды». Но директор обратился к студентам Архитектурного института, и они в качестве дипломной работы спроектировали трехэтажную кирпичную морскую лабораторию с морским аквариумом, холодильными установками, постоянным притоком свежей мор-

ской воды, с совершенными лабораториями, библиотекой и конференц-залом. Аквариальный корпус предполагался на месте, где стояла избушка давно умершего Никифорова. Там под болотистой почвой оказалась скала. Нужен был большой котлован. Работы начали в 1965 г. На скале разжигали костер, затем на раскаленные камни лили воду — камни трескались, снова разжигали костер и снова лили воду — медленно шло углубление в монолит. Нужно было привезти кирпичи. Каждый кирпич брали в руки много раз: при погрузке в Москве и разгрузке в Пояконде, погрузке на берегу и разгрузке баржи на пирсе ББС, при укладке кирпичей в штабели и подаче кирпичей на стройку. Стены аквариального корпуса и его сложное инженерное оснащение делали рабочие-профессионалы, присланные из МГУ. Уникальный корпус построили к 1970 г.

Весь этот беспрецедентный комплекс зависел от энергоснабжения. Давно уже дизельная электростанция исчерпала свои ресурсы, ее мощности не хватало. Одно из самых дерзких решений Перцова — построить своими силами высоковольтную линию электропередачи, проведя трассу через тайгу и болота от Пояконды к ББС. Сначала (еще в 1964 г.) он изучил необходимую литературу и прибавил к своему необозримому списку еще одну специальность — инженер-электрик, монтажник ЛЭП. Получил в соответствующих инстанциях разрешение, и вот молодые математики, физики, биологи, школьники-старшеклассники во главе с директором прокладывают трассу. Столбы устанавливают в рядах с камнями и нумеруют, но члены стройотрядов знают свои столбы «в лицо» — каждый доставался с огромным трудом. Строительство трассы закончили 25 сентября 1971 г. Когда из Кандалакши приехала комиссия принимать работу, чтобы разрешить подключение к сети, оценка была самая высокая. Ровный электрический свет, работающие без срывов приборы, насосы, качающие воду, — к этому быстро привыкли. А еще через три года, в 1974 г., по той же трассе поставили столбы телефонной связи.

Мне представляется кульминацией этого восхождения празднование 40-летия ББС 10 августа 1978 г. Плотный, «заматеревший» Перцов в строгом черном костюме с колодками орденов был не очень похож на бледного стройного юношу первых лет. На посвященной юбилею конференции он выступил с большим докладом (материалами которого

я до некоторой степени воспользовался при написании этого очерка). Выступали преподаватели разных факультетов университета и сотрудники ББС. В красиво освещенных морских аквариумах жили своей жизнью гребневики, губки, медузы, актинии и полихеты. Праздничные столы почти для 200 человек были установлены перед зданием лабораторий. При первом тосте салютовали стоявшие на рейде корабли, полетели с шипением и свистом морские сигнальные ракеты. Яркую речь-тост сказал директор дружественной морской биостанции Зоологического института АН СССР «Картеш» Владислав Вильгельмович Хлебович. На празднике были почетные гости — первооткрыватели (студенты 1938 г., вбившие заявочный столб на месте ББС) — Е.М.Лебедев, Г.М.Беляев, Н.Ю.Соколова... Пел песни стройотряд, пели все, дирижировал Перцов.

Эта идиллическая картина могла бы завершить рассказ о ББС и Перцове. Но картина эта должна быть дополнена. В 1961 г. из Москвы, из инженерной службы факультета, приехал некто Баранов. Был любезен и внимателен. Ему было интересно, откуда взяты деньги на строительство. А в действительности ли пирс такой длины, как написано в отчете? И написал в прокуратуру заявление о незаконном строительстве — по смете ремонта старого сарая построена целая биостанция. И вообще просил разобраться.

Николай Андреевич неустанно боролся с пьянством. И многих этим обижал. А пьянство вне пределов биостанции было всеобщим, всеобщей реакцией на унылую жизнь, на бесперспективность, отсутствие самого необходимого в некогда богатом поморском крае. В апреле 1965 г. Перцов, как был в своем далеко не новом пальто, поехал в Москву по очередным хлопотам. Вернулся — еще долетали головешки его сгоревшего дома. В углях и золе он нашел красиво расплавленные объективы своих фотоаппаратов. Но самое ужасное — сгорели все материалы подготовленной диссертации — почти 15 лет изучения пищевых связей наземных животных и литорали Белого моря. В июне того же года Перцов сам, отвергая всякую помощь, начал строить новый дом. И построил лучше прежнего. Еще через два года были подожжены и сгорели склады, так когда-то восхищавшие меня своим невероятным порядком и совершенством. И через год на том же месте были построены новые, на этот раз кирпичные. Это было трудно вынес-



Леонид Давидович Папунашвили. Капитан 1 ранга ВМФ. В 2002—2004 гг. капитан судна «Николай Перцов», в 2005—2011 гг. заведующий хозяйством ББС.



Соратники. Слева направо: С.Э.Шноль, Н.А.Перцов, В.Н.Вехов.

ти. И веселый, легкий, властный и обаятельный Перцов все больше нервничал, иногда становился резким, и, как обычно, чаще по отношению к близким сотрудникам. Большинство (не все!) понимали его. Но многих, и особенно чиновников, раздражал дух энтузиазма и бескорыстия стройотрядов: как это, почти без оплаты, а 30 руб. в оба конца и питание в столовой? Откуда эти деньги? И находили поводы писать доносы в прокуратуру и даже в уголовный розыск.

Директора ББС хорошо знали и очень высоко ценили и в Кандалакше, и в Лоухах (районный центр Карелии, которому принадлежит территория ББС). Знали и ценили его в Москве. Но всякому письму-доносу полагалось дать ход, а потом принести извинения. Мы уже не удивлялись, что директор не расстается с валидолом. Открылась язва желудка. Приходилось лежать в больнице. «Друзья» не успокаивались. Но вот из авторитетных кругов стало звучать: «ББС МГУ — прекрасное место для научной работы! Аквариальный корпус, электричество, кухня! Прекрасно! Безумно тратить все это на ученические работы студентов. И вообще, знаете ли, станция переросла своего директора. Его пора убрать!».

Перцов остался директором, а биостанция — уникальным местом прежде всего для учебной и затем для научной работы. Осталась, как сказал Маткин, «жемчужиной, которая украшает корону столичного университета». В первые годы Перцов еще ухитрялся сам проводить занятия по морской фауне беспозвоночных с некоторыми группами студентов; каждой вновь прибывшей группе студентов рассказывал об истории биостанции, местных условиях. И каждого студента знал в лицо. Но все реже урывал время для собственных научных работ. В 70-х годах вместе с Б.Я.Вилениным он провел интенсивные исследования динамики обрастания

разных материалов в различных гидрологических режимах. Все это совмещалось с огромной нервной и физической нагрузкой по строительству и обеспечению ежедневной жизни биостанции.

Основное назначение ББС Московского университета — обучение студентов. Вот уже много лет все студенты зоологического отделения биологического факультета между первым и вторым курсами проходят практику на Белом море. Классический практикум по зоологии беспозвоночных животных — основа общебиологического образования. Его проходят студенты разных специальностей, и не только биологического факультета: в августе — биофизики фи-

зического факультета и палеонтологи геологического, а также студенты третьего и четвертого курсов биофака — физиологи, эмбриологи, биофизики, ихтиологи и, конечно, зоологи беспозвоночных животных — это их станция. Много десятилетий (от Кожевникова, Кольцова и Зенкевича) складывался курс зоологии беспозвоночных, охватывающий огромное разнообразие классов, отрядов, семейств. Преподаватели высочайшей квалификации ведут эти занятия со времен соратницы Зенкевича доцента Веры Александровны Броцкой.

Жизненным подвигом были 25-летние исследования на ББС ботаника Владимира Николаевича Вехова*, детально изучавшего флору высших растений п-ова Киндо. Но главным его предметом была жизнь zostеры (*Zostera marina*) — одного из немногих высших растений, живущих в море — на мелководьях, в режиме приливов и отливов, резких изменений солености от выпадающих в море рек и ручьев и при таянии льда. Вехов по многу часов работал в ледяной воде, наблюдая, измеряя, описывая состояние отдельных растений и их скоплений. Работал на ББС зимой и летом: читал лекции, вел занятия со студентами в Москве и в средней полосе, но всегда помнил о своей zostере. И в ноябре, и под Новый год уезжал на ББС, где в полярной темноте через лунки и проруби доставал и смотрел, как зимуют отмеченные им летом растения.

В летние сезоны на ББС проходили практику и работали в стройотрядах до 500 человек. Их жизнеобеспечение в «суровых условиях Заполярья» (как весело говорил Вехов) требовало больших усилий. Нужно было бы назвать здесь многолетних сотрудников биостанции, обеспечиваю-

* В.Н.Тихомиров написал очерк о нем для предисловия к книге В.Н.Вехова «Зостера морская Белого моря» (М., 1992).

щих все это — транспорт (корабли), отопление, разнообразную технику, работу складов, лабораторий, прекрасную библиотеку. Среди них — старейший заведующий хозяйством А.Ф. Таурьянин и А.Н. Таурьянина, научные сотрудники Т.Л. Бэер, В.Н. Левицкий и все годы — от своего студенческого времени заместитель директора, после Перцова директор ББС — Н.Л. Семенова. Здесь море, тайга, скалы, столько молодых людей. Но отвечает за все директор.

В 1975 г. Перцова вызвали в ректорат для доклада о состоянии и перспективах ББС. Он долго и, как обычно, очень тщательно готовился. На девятом этаже главного здания МГУ в зале собрались руководители факультетов и служб университета. Ректор Иван Георгиевич Петровский, увидев Перцова, сказал: «Товарищи! Николай Андреевич Перцов — замечательный человек. Он так много сделал для университета. Давайте не будем мучить его докладом, а поприветствуем его аплодисментами». И все встали и аплодировали Перцову. Это было истинное признание и, в сущности, единственная бесценная награда.

5 июля 1987 г. Перцов внезапно умер от сердечной недостаточности. Его могила тут же, на биостанции.

Быстро проходит жизнь. От незабываемых лет остаются ученики, друзья, воспоминания и напечатанные труды — «Труды Беломорской биостанции МГУ»: шесть выпусков книг «Биология Белого моря» вышли при жизни Перцова, седьмой, под редакцией П.В. Матеева, — в 1990 г. Он посвящен, как написано на титульном листе, светлой памяти Николая Андреевича Перцова, директора, организатора, строителя Беломорской биологической станции Московского университета.

Жизнь Н.А. Перцова соединяет поколения выдающихся биологов конца XIX — начала XX в. с теми, кто начал работать в XXI в. Его пример, нравственный выбор, целеустремленность — бесценное наследство, завещанное нашей стране.

* * *

...Прошло около четверти века. Мы пережили трудные годы. Без войны распалась великая страна. «Распалась связь времен». Разрушились казавшиеся незыблемыми устои государства. Были годы, когда почти перестали платить зарплату. Практически прекратилась поддержка ББС из Москвы. «Общественное имущество» разменива-



Александр Борисович Цетлин (на пирсе в водолазном костюме), зоолог, специалист по многощетинковым червям, профессор кафедры зоологии беспозвоночных. Директор ББС с 2005 г.

ли на «ваучеры». Обнищавшее население боролось за выживание. Были похищены и проданы скупщикам как «цветной металл» алюминиевые провода высоковольтной линии. Не было средств на горючее и ремонт морских судов. ББС была на грани деградации, но грань эту не перешла: занятия студентов не прекращались, сотрудники и преподаватели продолжали свое дело.

Значит, высокие идеалы самоотверженного служения стране, радостного романтического труда, взаимной поддержки, воплощенные Перцовым на ББС, не исчезли. Возрождение биостанции началось, когда в 2005 г. ее директором стал Александр Борисович Цетлин — аспирант, работавший здесь во времена Перцова, когда заботу о дополнительном финансировании, оборудовании и флоте ББС взяли на себя бывшие стройотрядовцы и студенты. Носители этих идеалов обеспечили самое современное оборудование биостанции, позволяющее проводить любые сложные исследования. ББС становится не только уникальным местом для педагогической работы, но и передовым научным учреждением. Пусть об этом расскажут представители новых поколений!

Это очень важно многим и многим, оставившим свою душу в годах прошедшего времени — в летние месяцы почти незаходящего солнца, в темные зимние ночи со вспышками северного сияния — времени замечательного общения с друзьями в морских рейдах и в лабораториях биостанции. Здесь живут высокая наука и особый дух братства и взаимной признания. ■

В далеком 1946 году

Р.К. Пастернак,
кандидат биологических наук
Москва

Впервые я поехала на Белое море летом 1945 г., сразу после окончания первого курса биофака МГУ. Малый практикум по зоологии беспозвоночных в нашей группе вел Кирилл Александрович Воскресенский. Он и предложил мне и моей подруге Гале Зевиной вместо общей практики, проводившейся в Подмосковье, поехать с ним и гидрологом Борисом Богословским в Кандалакшский государственный заповедник (там Воскресенский собирался работать над своей кандидатской диссертацией «Биогидрологическая система фильтраторов мелководья»). Нас очень заинтересовала его лекция о двустворчатых моллюсках. Эти фильтраторы, осаждая взвесь, уменьшают мутность воды и меняют ее плотность, а их большие скопления вызывают особую циркуляцию вод в мелководье. Мы присоединились к группе помощников, в которую входили Владик Гилевский и Аня Гинзбург с нашего курса, Федя Пастернак из МГПИ и Таня Зенкевич, окончившая 9-й класс.

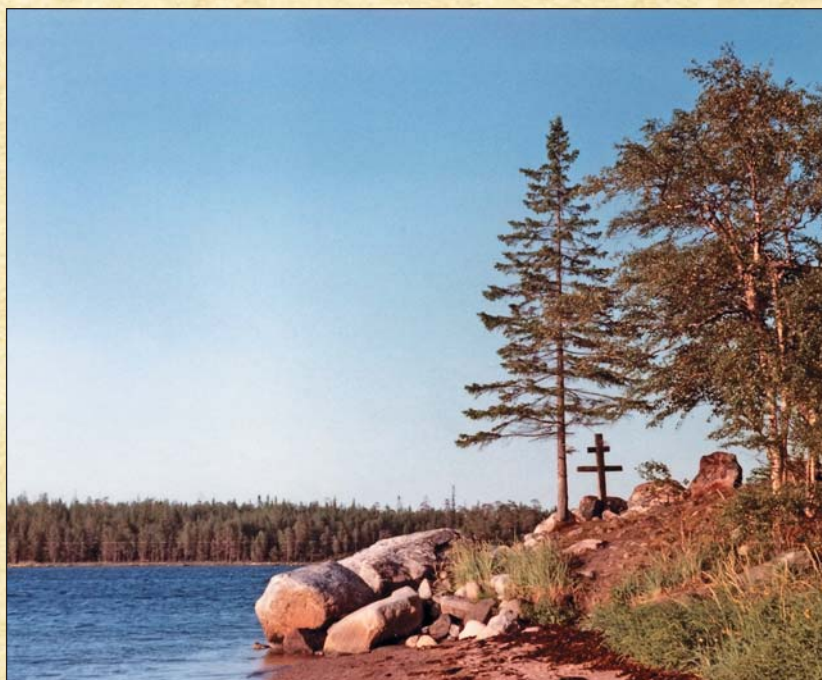
В заповеднике мы поселились на о. Лодейном, в единственной стоявшей на берегу избе. Нам выделили шлюпку, работали мы на литорали близлежащих островов. В нашу задачу входило провести количественный учет разных видов двустворчатых моллюсков-фильтраторов, определить плотность их поселения, биомассу, размерный состав популяций. К концу лета полевая часть работы была закончена.

В следующем году предстояло изучать влияние моллюсков-фильтраторов на плотность морской воды. На этот раз нас финансировал университет, и работы были запланированы на его биостанции. Кроме того, Воскресенский очень хотел вновь увидеть знакомые места. Дело в том, что еще до начала Великой Отечественной войны Лев Александрович Зенкевич поручил своим аспирантам Кириллу Воскресенскому и Анатолию Савилову найти подходя-

щее место для Беломорской биологической станции МГУ. Они шли на шлюпке по проливу Великая Салма, отделяющему о. Великий (самый большой остров Кандалакшского заповедника) от материка, и, пройдя около 11 морских миль, увидели небольшой мыс со стоящим на нем деревянным крестом. Поморы ставят кресты по разным поводам, в том числе и печальным. За мысом обнаружили небольшую бухту, позади которой виднелась Киндо-гора. Место очень понравилось, но началась война, и стало не до строительства биостанции.

Вернемся, однако, к 1946 г. Для выполнения экспериментальной работы мы отправились другим составом. Из старой группы остались только Галя и я, зато присоединились два студента, окончившие первый курс биофака, — Юра Сазонов и Юра Сорокин.

На этот раз мы не доехали до Кандалакши, а высадились (вернее, выпрыгнули, так как платформы не было) на маленькой станции Пояконда. Остановка — 1 мин, но обычно поезд здесь лишь притормаживал. Поселок состоял из небольшого числа маленьких серых домиков. Собрав в кучу



Поморский крест.

рюкзаки и другую поклажу и оставив их у железнодорожного полотна (воровства в те годы на Севере не было), мы отправились к бабушке Марии Николаевне. Она и потом многие годы встречала всех приезжавших на ББС. Воскресенский привез хозяйке в подарок конфеты и бутылку водки, а та напоила нас чаем. Попрощавшись, мы вернулись за своими вещами и затем отправились на пирс, где нас ждал баркас.

Шли по проливу Великая Салма. Окружающая красота превзошла все мои ожидания. Пройдя около 11 морских миль, вошли в нашу бухту, сзади ограниченную Киндо-горой. Станцию еще не построили. Имелись лишь изба, где жил сторож Андрей Павлович (потерявший ногу еще в Первую мировую войну), и деревянный сарай, в котором мы вскоре соорудили стол для аквариумов. Жили в палатках, нашу мы с Галей поставили поодаль от всех, на высокой скале (теперь на этом месте стоит дом для рабочих). Со скалы можно было наблюдать лосей, обычно рано утром переплывавших с о.Великий на наш берег. Выйдя из воды, животные некоторое время спокойно стояли, с них стекала вода, а затем двигались в тайгу.

Пищу мы готовили на костре, для разнообразия рациона в рис иногда добавляли мидий. Когда пришел сезон, дежурный собирал вокруг своей палатки грибы и ягоды. По утрам мылись в ручье, тогда он был достаточно полноводным, но впоследствии его загнали в трубу. Были установлены «мужские» и «женские» часы для мытья. Мы с Галей часто купались в море. Помню слова Воскресенского: «Мне кажется, купание сегодня было не слишком приятным — девочки пришли к завтраку с синими губами». Но мы упрямо не оставляли любимого занятия. Изредка отправлялись на шлюпке в баню на о.Великий, в Лобаниху (около трех морских миль), где жил наблюдатель заповедника. Перед домом к морю спускались скалы, округлые, почти белого цвета. Поморы их называют «лбами» — отсюда, видимо, и происходит название места. Помывшись и отведав восхитительной ухи, отправлялись в обратный путь на веслах или, если случался попутный ветер, ставили самодельный парус (из плотного тонкого одеяла). Письма получали редко — только если кто-нибудь шел мимо нас из Пояконды и захватывал для нас почту. В таких случаях с Салмы раздавался крик: «Эй, на ББС, получай почту!». Мы бросались в шлюпку и на середине пролива забирали свою обычно далеко не «свежую» корреспонденцию.



Наш экспедиционный домик на о.Лодейном. 1945 г.

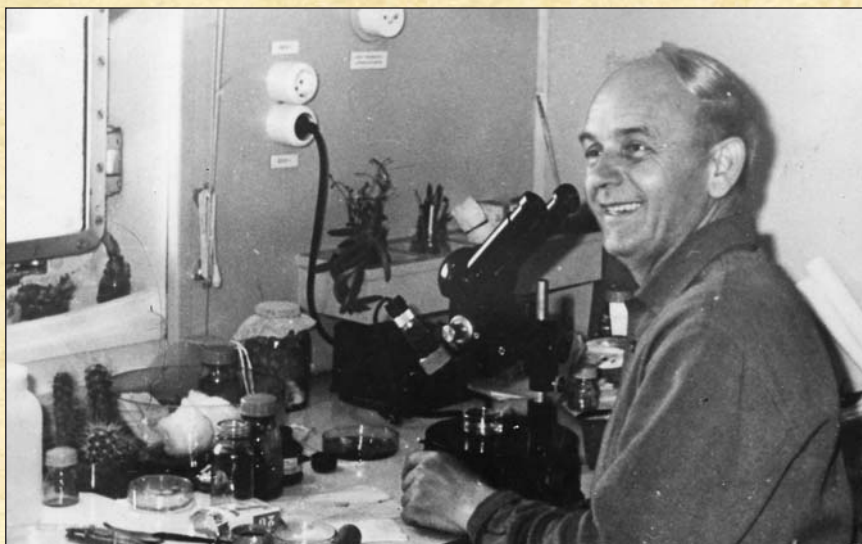
Здесь и далее фото из архива автора

В те годы в окрестностях станции было много медведей, и мы часто их слышали, укладываясь спать. Из разговоров с поморами мы усвоили, что летом медведь не страшен, так как у него имеется много привлекательного корма. Опасаться косолапого следует в голодный для него сезон года. При этом рассказали страшную историю, которая произошла с женой одного из наблюдателей. Женщина осенью встретилась с медведем. Она знала, что в таких случаях полагается лечь и не двигаться. У нее хватало силы воли так и сделать. Зверь походил вокруг нее, обнюхал, затем стал приносить ветки и бросать на неподвижную женщину, соорудив на ней в конце концов холмик из веток (устроил себе запас пищи!). В результате молодая женщина вернулась домой абсолютно седой.

Однажды, находясь вдали от станции, я встретила медведя: мы занимались одним и тем же — ели ягоды. Увидев зверя, я замерла. Ветер дул



Изда сторожа ББС. Около нее К.А.Воскресенский и его гости А.И.Савилов и Е.Таратута. 1946 г.



А.И.Савилов — первопроходец ББС, в 1938 г. вместе с К.А.Воскресенским устанавливал заявочный столб.

в мою сторону, и он сначала меня не учуял. Я стояла неподвижно. Несмотря на все разговоры о сезонах (когда следует бояться косолапого, а когда нет), от близкого соседства с огромным зверем стало страшно. Обнаружив меня, медведь развернулся и стал удаляться, но встреча осталась в моей памяти на всю жизнь.

В один из солнечных дней мы отправились на веслах на Кузокотский мыс для сбора материала. Обнаружили рыбацкую избушку, в дверь которой вместо замка была вставлена тонкая веточка. В избе было немного крупы, несколько кусков сахара, соль и спички, а у печки лежали наколотые дрова. Уходя, мы не нарушили славные поморские традиции. Но ночевка оказалась некомфортной — на нас напали злющие комары. Печка сильно дымилась, была надежда на то, что дым отгонит комарье, но увя... Я предпочла уйти спать в огромную полуразрушенную бочку, валявшуюся на берегу, на что Воскресенский, посмеиваясь, сказал: «Диоген, завтра ждем от вас замечательных афоризмов».

Крупных мидий (*Mytilus edulis*) мы нашли в маленькой бухте за Киндо-мысом, напротив пролива, ведущего к карельской деревне Нильма. Одну сторону губы окаймляла высокая скала. У ее подножья Воскресенский нарисовал большого мамонта. Со скалы открывался дивный вид. На мой взгляд, это одно из самых красивых мест в окрестностях ББС. Берег другой стороны губы — пологий, там стояла маленькая избушка с нарами, а возле нее — большой стол и лавки для сидения. Здесь мы провели часть наших опытов. Понравившееся нам место мы назвали бухтой Биофильтров. Название это вошло в обиход и даже попало в ме-

стные карты, но мало кто знает его происхождение.

К концу августа опыты были закончены, и результатами мы остались довольны. Воскресенский с большим успехом защитил кандидатскую диссертацию, а список моих научных работ начинается со статьи «Изменение плотности воды организмами-фильтраторами». Беломорские поездки повлияли на мою и Галину судьбу — мы обе подали заявления на кафедру зоологии беспозвоночных (я — вместо кафедры биохимии животных, она — вместо кафедры динамики развития).

Следующий раз я попала на ББС только через 15 лет — приехала с дочерью Анной на зимние каникулы. Но потом, начи-

ная с 1962 и по 1990 г. включительно, вела занятия по донной фауне на летней морской практике студентов третьего курса кафедры. ББС уже не была уголком дикой природы: появились дома, достраивался каменный Аквариальный корпус, имелась баня (сначала черная, но впоследствии ее реконструировали), работала столовая. А строительство станции началось лишь в 1952 г., когда Колю Перцова после окончания биофака назначили ее директором. Целеустремленный, энергичный, он оказался талантливым строителем и организатором, очень много знал и многое умел. Прекрасно водил катер. Создал стройотряды, в которые входили студенты, аспиранты и научные сотрудники не только биофака, но и других факультетов МГУ и разных институтов. Средств на строительство выделялось мало, и приходилось экономить. Например, доски делали на собственной пилораме из плавника, выловленного из моря. Энтузиазм стройотрядовцев был огромным. Николай Андреевич очень любил Север и ББС (я слышала, как он нежно называл станцию «Моя ББСочка»), теперь она носит его имя.

Уже немало лет станцией руководит Александр Борисович Цетлин (тоже выпускник нашей кафедры). Мне очень приятно слышать со всех сторон похвалы в его адрес. За последние годы на ББС появились новые суда, работают опытные аквалангисты. В Аквариальном корпусе построен проток морской воды, что очень важно для экспериментальных биологических работ. Год от года улучшаются бытовые условия. Остается только пожелать директору и всему коллективу станции дальнейших успехов. ■

И были с нами ангелы морские...

Д.А.Сахаров,

доктор биологических наук, главный научный сотрудник
лаборатории сравнительной физиологии Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН
Москва

Рассказ о месте Беломорской биологической станции в моей научной работе я должен начать издалека. Ведь сегодня я на целую жизнь старше, чем был при своем первом появлении на ББС. Прошу, однако, принять во внимание, что наука жива контекстом. Таковы и мои беломорские страницы.

Ищите гениев дома

К концу первой четверти 20-го столетия во всей науке о мозге был один-единственный диссидент, утверждавший, что межклеточная сигнализация делается в нервной системе не электричеством (как уверенно считали его предшественники и современники), а нейроактивными молекулами. Звали этого человека Александром Филипповичем Самойловым.

Уже в 1924 г., задолго до будущих нобелевских лауреатов, он писал: *...будь то синапс Шеррингтона в центральной нервной системе, будь то граница между эфферентными нервными волокнами и эфферентными органами, мы поймем особенности передачи возбуждения — и потерю во времени, и односторонность передачи, и суммирование, и др. — если примем, что из двух соприкасающихся клеток одна выработала в себе способность выделять раздражающее вещество, а другая — способность реагировать на это вещество* [1]. В основе этого понимания лежали собственные эксперименты Самойлова, вполне гениальные.

Читатель спросит: «При чем тут ББС»? Немного терпения. Я устанавливаю планку — даю понять, что речь пойдет о фундаментальных основах нейробиологии.

Прошла вторая четверть века, и в мировой науке уже появилось некоторое число физиологов, усвоивших правоту Самойлова. И в их невеликом сообществе тоже возник диссидент, который смотрел на предмет иначе, чем все остальные: они солидарно полагали, что нейроактивные молекулы Самойлова (медиаторы, а по современной терминологии — нейротрансмиттеры) изобретены природой специально для передачи нервных сигналов и потому могут находиться только в нерв-



Александр Филиппович Самойлов (1887—1930).

ной системе (исключение делали для адренальных желез, объясняя это тем, что они якобы возникли из опростившихся нервных узлов). Диссидент догадался, что все совсем не так. Согласно его гипотезе, медиаторы нервной системы выполняли регуляторные функции задолго до возникновения самой нервной системы и, следовательно, до появления потребности в трансляции ее сигналов. Эти регуляторные молекулы, утверждал диссидент, унаследованы нервной системой от донервных организмов.

Сейчас такие соображения кажутся банальными. Но кто-то должен был до них додуматься. Этим гением был Хачатур Сергеевич (Седракович) Коштойац. Он говорил, что если мы хорошо поищем, то найдем нейротрансмиттерную химию у микробов и простейших, у низших беспозвоночных и даже на донервных стадиях развития у высокоорганизованных животных [2]. В самом деле — искали и нашли.

Спросят снова: при чем тут ББС? А при том, что искали не где-нибудь, а в Белом море и первая находка случилась именно на ББС.

Догадка Коштыянца носила априорный характер — прямых подтверждений она долго не имела, хотя сотрудники Коштыянца были полны решимости доказать гипотезу шефа. И вот в конце 50-х годов два его ученика, Геннадий Бузников и Борис Манухин, отправляются за счастьем на ББС. Оба недавно защитились, стали кандидатами наук, их руки развязаны, их головы настроены на поиск — пусть авантюрный, зато ничем не регламентированный.

Результат — недостающее знание добыто. Перебрав несколько перспективных моделей, молодые исследователи поймали счастье в развивающейся икре брюхоногих моллюсков. Оказалось, что классический нейротрансмиттер серотонин управляет моторикой зародышей на донервных стадиях развития (собственный серотонин появляется у них на стадии двух бластомеров).

В 1960 г. Бузников и Манухин публикуют свои первые результаты на родине, и Коштыянец, чуть помедлив, присоединяется к авторам столь важного сообщения, помещая английскую версию в одном из читаемых международных журналов [3].

Последствия внушительны. Бузников бросает свои прежние занятия, целиком отдается «донервным нейротрансмиттерам» и уже в 1967 г. посвящает им монографию; позже будет другая, вышедшая и в английском переводе [4]. К тому времени в образовавшийся прорыв дружно хлынула мировая наука, и за Бузниковым закрепляется слава отца-основателя нового направления биологии.

И больше об этом ни слова!

А теперь вопрос задам я: при чем тут ББС? Найдете ли вы имена Бузникова и Манухина хотя бы на одной из 554 страниц книжищи*, посвященной юбилею биостанции [5]? Кто-нибудь из воспевателей биостанции слышал об их работе? Кому-нибудь это интересно?

ББС и наука — скорбная тема. Так это было, и вряд ли я скажу что-нибудь новое. Да и не хочется. Слишком многие люди пронесли через годы и десятилетия верность тем приоритетам, кото-

рые установил на ББС ее легендарный создатель и первый директор Николай Андреевич Перцов. А для него приоритетными были те виды деятельности, в которых он мог быть лидером и командиром. Наука к таковым не относилась.

«Ему было не до науки, — объясняет близкий друг Николая Андреевича профессор С.Э.Шноль. —

И часть людей науки были с ним несовместимы... Ему было нехотать, чтобы они занимались наукой в то время, когда он был занят другим основным делом. Это печальная часть истории, он сожалел об этом» [5. С.258]. Еще бы не печальная. Любимчиками Перцова были те, кто у себя на кафедре в увлечении наукой особо замечены не были. А нам, «научникам», давалось понять, что мы люди второго сорта. И все, больше об этом ни слова.

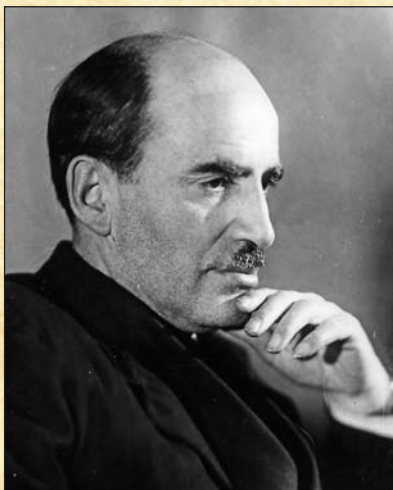
Я приезжал тогда на ББС вместе с Бузниковым и Манухиным и могу засвидетельствовать, что в конечном счете наша память о беломорских сезонах конца 50-х окрашена светлыми тонами. Мы любили станцию, и по-своему любили самого Николая Андреевича, и вечерами были гото-

вы петь под его руководящий аккордеон песни из его непререкаемого репертуара.

Вдруг, но не совсем

В отличие от моего друга и однокурсника Бузникова, ставшего благодаря ББС отцом-основателем целого направления современной науки, я в книге «Страна ББС» все-таки упомянут. Написали, что я сочинитель песен. И на том, как говорится, спасибо, хотя в этом качестве я на ББС никогда не приезжал.

А вот в моей научной жизни с ББС связано не просто многое — главное. Завидую тем, у кого первая встреча с Белым морем случилась на юной, впечатлительной стадии жизни. Его могучие чары наверняка повлияли на их формирование, на выбор профессиональных занятий. Через беломорские биостанции Московского, Санкт-Петербургского и Казанского университетов прошло нескольких поколений студентов — сотни, тысячи будущих биологов. Добавим студентов из других городов: в мои годы на ББС МГУ целыми группами приезжали на летнюю практику минчане и харьковчане. Не забудем продвинутых детей — биологический класс знаменитой московской школы, которая давно уже обзавелась собственной беломорской биостанцией. Эти дети потом становились самыми перспективными студентами уни-



Хачатур Сергеевич Коштыянец (1900—1961).

Здесь и далее фото из архива автора

* Рецензию на книгу «Страна ББС» см.: Малахов В.В. Путешествие в прошлое или пролог к будущему? // Природа. 2010. №6. С.88—90.

верситета и самыми продуктивными исследователями.

У меня сложилось иначе, профессиональные и любовные отношения с Белым морем возникли только после аспирантуры. Мне было уже под тридцать, я твердо знал (так мне тогда казалось), чем заниматься. Диплом выполнил на лягушке, диссертацию — на личинках амфибий, в ближайшем будущем собирался доделывать недоделанное, т.е. работать опять же на головастиках. И тут вдруг мой руководитель, профессор Хачатур Сергеевич Коштоянц, предлагает мне немного перевести дух — съездить на ББС, отдохнуть, покопаться в морских беспозвоночных. Я съездил, и все во мне переменялось.

Не совсем, однако, вдруг. Дело в том, что в те самые 1953—1956 гг., когда я был увлечен своими аспирантскими головастиками, Коштоянц занимался не менее полезным делом — писал «Сравнительную физиологию нервной системы» [6]. Это уникальное сочинение мыслилось им не как обычный для книг такого рода обзор литературы, а как идеологический трактат, призванный радикально изменить взгляд читателя на нервную систему.

Со времен Декарта в науке о мозге безраздельно господствовали техногенные метафоры: мозг как устройство из трубок и клапанов, как переплетение непрерывающихся проводов, как монтажная схема, телефонная станция, голографическое устройство, компьютер и т.п. Коштоянц первым в мировой науке предложил биогенную альтернативу: мозг как продукт развития донервных механизмов управления. И этот взгляд усвоили мы, его ученики.

В ходе работы над книгой Коштоянц не на шутку увлекся свежими результатами нескольких английских беспозвоночников. Они дружно обнаружили у представителей самых разных групп (медуз, актиний, асцидий, полихет, еще кого-то) поведенческие акты, которые приводятся в действие не внешним стимулом, как положено рефлексу, а эндогенным пусковым механизмом — примерно так, как создается сердечный ритм. В глазах физиологического сообщества эта зоологическая самодеятельность выглядела неприличием и безграмотностью. Одно дело сердце, другое — мозг. Незыблемость рефлекторного принципа была освящена всем опытом и авторитетом мировой



Ученики Коштоянца приехали на ББС. Слева — Д.Сахаров, Б.Манухин. Справа — Г.Бузников и Л.Белоусов.

науки о нервной деятельности. Легкомыслие в этой сфере считалось недопустимым. Никому ведь не придет в голову утверждать, что сознание беспричинно. А что такое сознание? Продукт нервной деятельности. А чем обеспечивается причинный характер нервной деятельности? Рефлексом. Нет рефлекса — нет причинности, чистый идеализм.

Коштоянц рассуждал иначе. Наше сердце прекрасно приводит свой автоматизм в соответствие с меняющимися обстоятельствами, в разных условиях бьется по-разному. Почему сердцу можно, а нервной системе нельзя? Но озвучивать такие вопросы мой шеф не торопился — адаптировался к суровым обстоятельствам советской действительности. Между тем тучи сгущались. Один из сотрудников Коштоянца, заодно служивший в отделе науки ЦК, опубликовал статью, где гневно изобличил английских зоологов-идеалистов. Это было предупреждение. Коштоянц опасность сознавал и на словах осторожничал, но на деле все сильнее увлекался эндогенными источниками моторной активности и все настоятельней ориентировал своих сотрудников на их изучение.

Результаты моей диссертации подлили масла в огонь — не все личинки оказались сторонницами материалистической рефлекторной доктрины.



В море: Д.Сахаров, Л.Никитина, Г.Бузников. 1957 г.

Ее охотно разделяли личинки хвостатых амфибий: они до поры затаивались, а когда поблизости проплывал внешний стимул (например, циклоп или дафния), выдавали адекватный ответ — кидались на жертву с разинутой пастью. Однако головастики бесхвостых амфибий являли нехорошую склонность к идеализму. Подбирая ротиком со дна всякую всячину, они время от времени с отменной регулярностью переплывали на новое место, и эти локомоторные эпизоды возникали как-то сами по себе, спонтанно, никакого периодического стимула из внешнего мира головастики не получали.

Так что закулисным фоном моей беломорской командировки было актуальное для советской действительности противостояние между материализмом и идеализмом. А правильной сказать — извечное противостояние между твердолобостью догм и живостью нестандартных идей.

С той поры прошло более 50 лет — пора бы прийти в отчаяние, ведь подавляющая масса физиологов по-прежнему повязана рефлексом. Но не все так печально. По большому счету техногенные представления о мозге загнаны в угол, ныне господствуют нейробиологические подходы к исследованию естественных механизмов управления — биохимические, молекулярные, короче, то самое, к чему одиноко призывал Коштоянц. И мне не утомительно дивиться прозрениям своего великого шефа. Он по-прежнему, и через десятилетия после ухода из жизни, направляет тех, кто умеет слышать.

Но возвращаюсь к тем далеким дням, когда Коштоянц предложил мне отдохнуть от диссертации и съездить на ББС. Он не связывал эту поездку с конкретным заданием, задача была размытой: присмотреться, сориентироваться. Нельзя ли использовать биостанцию для расширения кругозора студентов-физиологов? Нельзя ли проводить там часть Большого практикума, как это делают некоторые другие кафедры? А совсем хорошо будет, если я придумаю для этого практикума несколько учебных задач. Разработанный мною на ББС практикум по сравнительной физиологии

оказался всецело посвященным спонтанной моторике морских беспозвоночных. Как-то само собой все получилось под лозунгом: к черту рефлекс!

Почему и для чего нейроны разные?

После первого же лета на ББС жизнь моя началась, можно сказать, с нуля. Организацией практикума дело не ограничилось, мне и в научных занятиях захотелось чего-то иного. Чего именно, я не знал, с новыми объектами еще не определился, но твердо понимал, что никакие головастики меня уже не соблазнят.

Через какое-то время я привез на ББС первую группу студентов-физиологов, положив этим начало летнему практикуму по сравнительной физиологии. Он стал традиционным, вошел в учебный план биофака. Занятия вел сам, но в 1962 г. в связи с кончиной Коштоянца мне пришлось перейти на работу в Академию наук, и мой беломорский практикум продолжился уже без меня.

На этом временно иссякла моя первая беломорская эпопея, возникшая с легкой руки Коштоянца и занявшая несколько рабочих сезонов. С той поры мне довелось поработать на нескольких биостанциях, повидать немало разных мест, как правило, прекрасных: острова Японского моря, Тихань на Балатоне, Котор на Адриатике, канадский университет на самом берегу Атлантического океана, островок у тихоокеанского побережья США, где делают науку студенты и профессора из Сиэтла. В итоге — неистребимое чувство, что лучше Белого моря нет на свете места.

Полюбив беспозвоночных, я довольно долго искал себе занятие почти вслепую. Мне было интересно, почему нейроны разные: одни красятся так, другие иначе. Но с какого боку к этому подступиться, я не знал. На исходе 60-х ситуация разрешилась. Пришло понимание: клетки нервной системы не стали разными в процессе ее эволюции, они изначально были такими еще до того, как объединились в систему. Нейротрансмиттерная специфичность нервных клеток консервативна, она сохраняется от вида к виду, от рода к роду — и далее. Гомология индивидуальных нейронов доказывается так же надежно, как гомология руки и птичьего крыла [7]. Возникла гипотеза множественного происхождения (полигении) нервных клеток [8]. Мозг предстал в новом свете.

За вопросом, почему нейроны разные, следовал еще один, не менее интригующий: для чего это нужно, зачем нейротрансмиттерное многообразие нейронов представлено в любом ансамбле, умеем чем-нибудь управлять? Ответ явился в середине 80-х: это нужно для избирательной адресации сигнала, т.е. для выполнения той функции, которую приписывают синапсам. Я предложил теоретическую альтернативу синаптической доктрине — несинаптическое представление

о механизме упорядоченности в деятельности нейронных ансамблей [9]. Синапсу нашлось место на другом конце теоретического диапазона. Задачи конкретизировались — пеструю нейробиологическую реальность нужно теперь размещать где-то между двумя крайностями, по сути дела двумя идеализациями. Забот достанет до конца моих дней.

Связаны ли эти факты моей рабочей биографии с ранними приездами на ББС? Несомненно. От приездов потянулись хвосты, и два из них мне особенно дороги.

Хвостовство хвостами. Часть I

Имя первому — тритония. Голожаберный моллюск, обладающий самыми крупными в природе нервными клетками, стал всемирной знаменитостью. Фотография тритонии красовалась на обложке самых престижных научных журналов, на этом слизне сделаны фундаментальные открытия, оказавшие влияние на развитие науки о мозге.

Знатоки скажут: но ведь тритонии на ББС нет! А я и не утверждаю, что она водится в Белом море. Утверждаю я нечто иное: на ББС началась история восхождения тритонии. И началась она с того самого туманно сформулированного задания — придумать практикум по сравнительной физиологии. Чем реально я занимался, чтобы выполнить пожелание Коштоянца? Бродил по литорали, просиживал долгое время у аквариума, тыкал в зверя стеклянной палочкой, анатомировал. Какие-то мысли приходили в голову, иногда удавалось их реализовать в форме учебной разработки.

Знакомясь с беломорскими голожаберниками (*Nudibranchia*), я обратил внимание на странные симметричные образования. Яичники? Там и сям видны крупные, ярко окрашенные зрелые яйцеклетки, рядом незрелые, помельче. Или это не яйцеклетки, а капсулы каких-то паразитов? Я предпринял мацерацию и убедился, что «яйцеклетки» и «паразиты» в действительности — тела нервных клеток. По схемам из зоологических руководств тоже получалось, что образования, которым я, малограмотный, удивился, просто слившиеся воедино парные ганглии центральной нервной системы — мозг.

Даже не верилось, что нервные клетки могут быть такими большими. Но я знал по литературе, что нейрофизиолог Анжелика Арванитаки уже несколько лет работает в Марселе на гигантских нейронах средиземно-

морского слизня *Aplysia* из группы покрытожаберных (*Tectibranchia*). Следовательно, мне крупно повезло — наткнулся на еще один случай гигантских нервных клеток у морских моллюсков [10]. Было очевидно, что такая особенность характерна далеко не для всех моллюсков. Для каких же? Гадать бессмысленно, надо просто воспользоваться везением. Берем находку на заметку: гигантские нейроны пока не нужны студенческому практикуму, но наверняка понадобятся нашим биофизикам. Ведь, в отличие от недоступной аплизии, голожаберники — они свои, родные, отечественные.

Сделаю отступление и скажу, что теперь я мог бы ответить на вопрос, какие из моллюсков обладают этим нетривиальным признаком. Гигантские нейроны обнаружены только у представителей класса *Gastropoda* (брюхоногие), но не у всех подряд. В подклассе *Prosobranchia* (переднежаберные) гигантизма нейронов не наблюдали никогда. Зато в двух других подклассах — *Opisthobranchia* (заднежаберные) и *Pulmonata* (легочные) — крупные и гигантские нервные клетки имеются у всех видов (точнее, у всех проверенных видов).

И заднежаберные, и легочные произошли, по мнению зоологов, от переднежаберных. Судя по нервным клеткам, обе линии наследовали одному общему предку. Видимо, этот неведомый древний переднежаберник претерпел уникальную революцию (мутацию?) — обрел способность к тысячекратному увеличению нейрональной ядерной ДНК, вслед за чем и стал родоначальником двух процветающих групп.

В лаборатории моего товарища по работе цитолога В.Я.Бродского на наших препаратах тритонии и было впервые показано, что ядра особенно крупных нейронов отличаются фантастически



Беломорский голожаберник *Dendronotus frondosus*.

Фото А.А.Семенова

высоким содержанием ДНК. Обладая им, нейрон может заменить множество мелких, диплоидных нервных клеток. И действительно, заднежаберные и легочные моллюски обходятся значительно меньшим числом центральных нейронов, чем переднежаберники. При этом поведение не упрощается. Как тут быть с известной догмой, согласно которой животное тем умнее, чем больше в его мозге нейронов?

Насколько мне известно, больше нигде в животном мире подобной революции мозга не происходило, и загадка гастропод до сих пор не получила объяснения. Какой роскошный, казалось бы, подарок молекулярщикам со стороны природы! Вникни, разберись! Но никто не вник, никто даже не попытался разобраться, во всей мировой науке не нашлось ни единого человечка, проявившего интерес к молекулярной подоплеке гигантизма нейронов. Делать что-нибудь стадом эти молекулярщики всегда пожалуйста, а разглядеть уникальный шанс — некому.

Сравнив гигантские нейроны дендронота, эолидии, корифеллы и других беломорских голожаберников, я сделал естественное, даже, можно сказать, туповатое умозаключение: самыми крупными нейронами должен обладать самый крупный голожаберник. Согласно зоологическим атласам, у нас самый крупный голожаберник — *Tritonia diomedea*, обитающая в Японском море (позже зоологи переименовали ее в *Tritonia diomedea*). Прекрасно! Японское море — советское море. Почему бы не отправиться туда поискать тритонию?

В этом авантюрном предприятии компанию мне составили Борис Николаевич Вепринцев и Игорь Викторович Крафтс, взявшие на себя самое трудное — оборудование. Надо было разобрать установки в их родном Институте биофизики, доставить два центнера железа во Владивосток, переправить оттуда на какой-нибудь остров (мы выбрали Путятин) и снова собрать на местном рыбоконсервном заводике или где-нибудь возле него. Ни Института биологии моря, ни морских биостанций у нас на Дальнем Востоке в ту пору еще не было.

Тритонию мы нашли. Результаты первичного микроэлектродного обследования ее сверхгигантских нейронов быстро опубликовали в журнале «Биофизика» [11].

Вепринцев немедленно пристроил нейроны тритонии к биофизике мембран. Ватаги пущинских и киевских биофизиков ринулись на остров Путятин.

Я в союзе с электронным микроскопистом В.Л.Боровягиным зациклился на чудесах цитологии, явленных новым объектом. Одним из итогов этих занятий стала книга «Ультраструктура гигантских нейронов тритонии», содержащая весьма занятные находки [12].

Но самый хищный глаз положили на тритонию американцы и англичане. Таковых было поначалу

немного, но важно, что в это небольшое число входил главный стратег нейроэтологии Грэм Хойл. Нейроэология — это наука о нейрональных механизмах поведенческих программ, в те годы она как раз нарождалась. Теоретически у Хойла все уже было продумано, он знал, что делать, не мог только выбрать оптимальный объект. Раки? Насекомые? Наша статья появилась как нельзя кстати. Американцы сразу и без труда нашли тритонию на своей стороне Тихого океана (англичанам пришлось довольствоваться более мелким видом того же рода, который доступен у берегов Соединенного Королевства).

Результаты наших ультраструктурных и биофизических исследований на нейронах тритонии были интересными, полезными, но не более того. Результаты нейроэтологов оказались ошеломляющими.

Хойлу не так даже повезло с тритонией, как с аспирантом, которого он посадил на тритонию. Этого рослого парня, физика по первому образованию, звали Деннис Уиллоуз. Тритония демонстрировала самые разные движения, при этом Деннис так хитроумно закреплял ее мозг, что в его выбранные под микроскопом клетки можно было вводить микроэлектроды. Это выдающееся техническое достижение, до сих пор непревзойденное, принесло и выдающиеся научные результаты.

В сентябре 1967 г. на международном симпозиуме в Венгрии Уиллоуз сообщил, что ему удалось найти в мозге тритонии некий узнаваемый нейрон, возбуждение которого служит командой для нервной сети, генерирующей программу целостного поведенческого акта — «избегательного плаванья» (escape swim). То есть достаточно возбудить один единственный нейрон, и тритония, выдав стереотипную серию телодвижений, удерет от хищника [13].

Появилось фундаментальное представление об управлении поведением. Если его репертуар представлен набором унаследованных и приобретенных программ, а набору поведенческих программ соответствует в мозге набор нейрональных сетей, то управление поведением сводится к выбору нужного командного нейрона. Красиво и капитально.

Попутно замечу, что вообще-то тритония — не плавающий моллюск, в мирное время она только ползает, скользя подошвой по субстрату. Плавательный бросок тритония совершает исключительно при встрече со звездой, которая может ее съесть. Спасительная моторная программа — это стереотипная серия мощных чередующихся изгибов, благодаря которым тело бьет по воде, как плавник, отбрасывая потенциальную жертву подальше от хищницы-звезды. К слову, такую же реакцию на врага я наблюдал у дикой физы, заурядной улиточки наших пресноводных водоемов. Подобно тритонии, она на несколько секунд становится пловчихой, едва учует заклятого врага —

пиявку. Подозреваю, что escape swim физы генерируют нейроны, гомологичные тем, которые делают это у тритонии. Эволюция не любит разбрасываться толковыми нейронными ансамблями.

Спустя годы после замечательных демонстраций Уиллоуза среди его американских последователей появляется новая заметная фигура, Питер Геттинг. Он тоже исследует escape swim тритонии и тоже приходит к ошеломляющему заключению: те же самые нейроны, которые генерируют escape swim, приводят в действие еще одну поведенческую программу. Геттинг высказывает революционное предположение, что монтажная схема нейрональной сети способна перемонтироваться. Он связывает это с динамической изменчивостью нейронов, формирующих сеть, и приводит тому веские доказательства [14]. С подачи тритонии перестройка нейронных сетей становится модной главой в науке о мозге.

Вскоре молодой Геттинг выходит из строя (инсульт), и тут же работавшие с ним бодрые ребята начинают тянуть одеяло на себя. В частности, присваивают открытие Денниса (у них в Америке так принято). Для начала переименовывают командный нейрон Денниса и тем самым как бы описывают его впервые; отныне он называется триггерным. Триггерному нейрону делают шумную рекламу, объявляют, что только его не хватало для полного понимания клеточных основ поведения. Реклама имеет успех. Нейроэтологи, работающие на пивке, объявляют, что триггерный нейрон имеется и у их объекта — достаточно его пораздражать и включается плавательная программа [15].

Годы, однако, идут, и пиявочники с недоумением обнаруживают, что один и тот же триггерный нейрон может включать разные поведенческие программы. Только что вызывал плавание — и уже вызывает шагание [16]. Почему он поступает столь непоследовательно? Как с такими триггерами можно управлять поведением? Новые люди, работающие на тритонии, нащупывают новые перспективы. Совсем недавно к привычным внутриклеточным микроэлектродам удалось добавить оптическую технику, позволяющую одновременно отслеживать индивидуальную активность более 130 нейронов мозга. Оказалось, что в генерации и реализации escape swim участвует вдвое больше нервных клеток, чем считалось до сих пор. И снова тритония в эпицентре событий. Как не загордиться отцам-основателям замечательно-го объекта?

Пренебрегаю экономии ради менее значимых успехов нашей тритонии. Можно было бы, например, рассказать о том, как тот же Уиллоуз выяснил, каким способом животное ориентируется в магнитном поле, даже нашел у тритонии нейроны, которыми она это делает [17]. Можно добавить про оригинальные нейропептиды тритонии. И так далее. Понятно, что интерес к тритонии не

ослабевает. Добавлю про человеческий фактор. Мы с Вепринцевым участвовали в том симпозиуме 1967 г., на котором Деннис Уиллоуз сделал свой знаменитый доклад. Подружились. Хорошее отношение к нам Деннис перенес на всю советскую нейробиологию. Став директором роскошно оборудованной морской биостанции Friday Harbor, он ежегодно приглашал работать наших соотечественников. Допустим, пишу: «Дорогой Деннис, рекомендую тебе NN. Она не только чрезвычайно мила, но и виртуозно владеет микроэлектродной техникой». Деннис тут же добывает деньги, и NN летит к нему. Особенно надежно действовали слова «чрезвычайно мила».

Я добрался до Friday Harbor только весной 1994 г. Изрядно поседевший Уиллоуз встретил меня в аэропорту Сиэтла и доставил на остров на своем двухместном гидроплане. В воздухе дал поругать. Показал стаю кашалотов. Хотел было показать секретную базу атомных подводных лодок — пришлось категорически пресечь это дружеское стремление.

Представляя меня своим студентам, сказал, что я тот человек, чья находка на долгие годы обеспечила его объектом исследования. Мне было приятно — ведь ссылка на нашу статью в «Биофизике» появилась у американцев всего однажды и тут же была забыта. Прославляя тритонию как великий объект нейробиологии, американцы до сих пор умалчивают о его первоописателях. Ничего не поделаешь, у них так принято: конкуренция.

Хвастовство хвостами. Часть II

Мой другой беломорский хвост — морской ангел, или клион (*Clione limacine*). Этот моллюск, представитель отряда Pteropoda (крылоногие), как и тритония, не имеет раковины и обладает крупными полиплоидными нейронами, каковых в мозге на удивление немного. Удивительно это потому, что, в отличие от тритонии и вообще от большинства гастропод, медлительных по своей природе, клион — стремительный пловец, умелый охотник. Моторные программы, посредством которых он ловит жертву и расправляется с ней, настолько хитроумны и так хорошо скоординированы, что ожидаешь увидеть солидно устроенный мозг, а видишь маленький, в котором клетки наперечет.

Внешняя канва истории моего ангела та же, что у тритонии. Началось с подготовки задач для беломорского практикума, кончилось великолепной востребованностью в нейроэтологии и фотографией клиона на обложках знаменитых журналов. В деталях, однако, немало разного. Во-первых, морского ангела не пришлось искать, он, в отличие от тритонии, обитатель Белого моря. Во-вторых, он сразу попал в студенческий практикум. Еще на стадии разработки учебных задач я



Морской ангел.

Фото А.А.Семенова

сделал маленькое открытие: локомоторные движения (синхронные ритмические взмахи двух крыльев) сохраняются у ангела в препарате, состоящем только из этих крыльев и пары pedalных ганглиев. Если я нарушал связь между правым и левым ганглием, каждое крыло начинало биться в собственном ритме, из чего следовало, что ангел обладает двумя независимыми автоматами, производящими локомоторный ритм; что имеется механизм для их синхронизации; и что вся эта нейронная машинерия малочувствительна к травме, возникающей при препаровке. У других модельных животных такая травма, как правило, подавляет моторное поведение.

Эти свойства делали препарат клона удобным для студенческих занятий. Был очевиден, однако, и огромный потенциал ангела для изучения природы центральных автоматизмов, поэтому я без промедления описал рабочий препарат в небольшой статье [18].

Третье отличие. Если тритония сразу же была востребована наукой, то морскому ангелу пришлось дожидаться своего часа больше 20 лет. Час настал, когда ко мне в лабораторию пришел старый друг Юра Аршавский и попросил: «Расскажи мне про локомоцию виноградной улитки. Нам надоело работать на кошке, хочется чего-нибудь попроще». Наверное, это был 1981 год.

Ребята, которым «надоело работать на кошке», представляли одну из лучших в мире групп, занимающихся управлением движениями. Поэтому

к запросу Аршавского я отнесся с полной ответственностью и для начала отговорил от виноградной улитки. Разговор о ней он мог завести потому, что прочитал свежую статью, в которой мы с Яношом Шаланки, моим венгерским другом, описали способ так растормозить локомоторные мышечные волны, что они будут часами беспрепятственно бежать у улитки по подошве. Но Аршавский не знал, что локомоцией виноградной улитки управляет не только мозг, а еще и плексус — нервное сплетение, вмонтированное прямо в подошвенную плоть. Этот плексус убивал всякую надежду разобраться в нейрональной (клеточной) основе управления локомоторными волнами. В качестве альтернативы я предложил локомоцию морского ангела. Предложение было услышано.

Как и в случае тритонии, центральной фигурой стал аспирант — Юра Панчин, замечательно талантливый исследователь. Он не работал в одиночестве, на ангела навалились всей мощью группы Аршавского, в состав которой входил один из лучших в мире специалистов по нейрофизиологии локомоторных движений Г.Н.Орловский. В результате нескольких сезонов, проведенных группой на Картеше — беломорской базе Зоологического института, появилась серия статей в одном из ведущих международных журналов [19]. Она мгновенно сделала морского ангела чемпионом мира — ни на каком другом объекте нейроэтологии не было проведено столь полного клеточного анализа поведенческой программы.

Как бы невзначай, ненароком, походя, морской ангел вернулся ко мне и зацепил меня своим крылом. Опять, как почти 30 лет назад, жизнь началась с новой страницы. Снова возник Аршавский — с предложением присоединиться к их группе и попытаться внести в ангельскую тему нейротрансмиттерную ноту. Звучало заманчиво. Был сезон 1984 г., я прибыл на Белое море со своим аспирантом Женей Каботянским. Для начала решили прокартировать нейроны, у которых в роли сигнальной молекулы выступает дофамин или серотонин. Чтобы усилить гистохимическую реакцию на эти амины, я решил повысить их концентрацию в нейронах и с этой целью взял с собой метаболические предшественники дофамина и серотонина. Рутинная поначалу работа обернулась незапланированной находкой: каждый из предшественников оказывал сильнейшее влияние

на поведение ангела — куда более сильное, чем само нейротрансмиттерное вещество. Доступные нашему разуму объяснения не годились, а наше альтернативное объяснение плохо монтировалось с общепринятыми взглядами на нервную систему. Это было как раз хорошо. Чего стоит научная работа, если в ней нет куража?

Возникший тогда кураж не угас до сей поры, это тема для отдельной статьи, уже не имеющей отношения к Белому морю и даже к морскому ангелу. Увы. Но морской ангел, приобщенный на ББС к науке о мозге, как и тритония, поныне остается одним из востребованных объектов. Из нейробиологии он мигрировал в молекулярную нейробиологию, исследования на нем успешно продолжают как в Москве, так и в нескольких американских университетах. Там ведь тоже работают люди нашей домашней выучки. ■

Литература

1. *Самойлов А.Ф.* О переходе возбуждения с двигательного нерва на мышцу // Сборник, посвященный 75-летию академика Ивана Петровича Павлова. Л., 1924. С.75—82.
2. *Сахаров Д.А.* Работы по химическим основам механизмов нервной деятельности // *Артемов Н.М., Сахаров Д.А.* Хачатур Седракович Коштянц. М., 1986. С.106—162.
3. *Koshtoyants Kb.S., Vuznikov G.A., Manukhin B.N.* The possible role of 5-hydroxytryptamine in the motor activity of embryos of some marine gastropods // *Comp. Biochem. Physiol.* 1961 V.3. №1. P.20—26.
4. *Vuznikov G.A.* Neurotransmitters in Embryogenesis // Harwood Academic Publishers. Chur, 1990.
5. *Каликинская Е.* Страна ББС. М., 2008.
6. *Коштянц Х.С.* Основы сравнительной физиологии. Т.2: Сравнительная физиология нервной системы. М., 1957.
7. *Сахаров Д.А.* Почему нейроны разные? // *Природа.* 1972. №10. С.52—62.
8. *Сахаров Д.А.* Генеалогия нейронов. М., 1974.
9. *Сахаров Д.А.* Синаптическая и бессинаптическая модели нейронной системы // *Простые нервные системы.* Ч.2. Казань, 1985. С.78—80; См. также: Сахаров Д.А. Множественность нейротрансмиттеров: функциональное значение // *Журн. эвол. биохим. физиол.* 1990. Т.26. №5. С.733—740; он же. Биологический субстрат генерации поведенческих актов // *Журн. общ. биол.* 2012. Т.73. №5. С.324—348.
10. *Сахаров Д.А.* Гигантские нервные клетки у голожаберных моллюсков *Aeolidia papillosa* и *Dendronotus frondosus* // *Журн. общ. биол.* 1962. Т.23. С.308—311.
11. *Вепринцев Б.Н., Крафтс И.В., Сахаров Д.А.* Нервные клетки голожаберного моллюска *Tritonia diomedea* Bergh. // *Биофизика.* 1964. №9. С.327—336.
12. *Боровягин В.Л., Сахаров Д.А.* Ультраструктура гигантских нейронов тритонии: Атлас. М., 1968.
13. *Willows A.O.D., Hoyle G.* Correlation of behavior with the activity of single identifiable neurons in the brain of Tritonia // *Neurobiology of Invertebrates* / Ed. J.Salanki. Budapest, 1968. P.443—461.
14. *Gettings P.* Emerging principles governing the operation of neural networks // *Annu. Rev. Neurosci.* 1989. №12. P.185—204.
15. *Brodjuebrer P.D., Friesen W.O.* From stimulation to undulation: A neuronal pathway for the control of swimming in the leech // *Science.* 1986. V.234. P.1002—1004.
16. *Brodjuebrer P.D., McCormick K., Garybeal C. et al.* Initiation of Swimming or Crawling by a Trigger Interneuron in the Medicinal Leech // *Invert. Neurosci.* 2008. V.8. P.31—39.
17. *Lobmann K.J., Willows A.O.D., Pinter R.B.* An identifiable molluscan neuron responds to changes in earth-strength magnetic fields // *J. Exp. Biol.* 1991. V.161. P.1—24 (см. также: www.unc.edu/depts/geomag/Tritonia.html).
18. *Сахаров Д.А.* Об автоматизме pedalных ганглиев у крылоногого моллюска *Clione limacine* L. // *Научн. докл. высш. школы (биол. науки).* 1960. №3. С.60—62.
19. *Arsbavsky Yu.I., Beloozerova I.N., Orlovsky G.N. et al.* Control of locomotion in marine mollusc *Clione limacine* // *Exp. Brain Res.* 1985. V.58. P.255—262, 263—272, 273—284, 285—293.

Морфогенез беспозвоночных

Л.В. Белоусов,

доктор биологических наук,

профессор кафедры эмбриологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

Научные работы сотрудников кафедры эмбриологии и учебная практика студентов-эмбриологов начались в 1958 г., а я впервые оказался на ББС в августе 1956 г., после окончания 4-го курса. Мы попросились туда у Николая Андреевича Перцова вместе с моим сокурсником Эдиком Казанцевым под каким-то научным предлогом. Говорят, мы с Эдиком были друг на друга очень похожи, что позволило широко известной тогда факультетской общественнице Ляле Розановой вывести нас в своем очерке (удостоенном новомирской публикации) в качестве единого персонажа — Эдика Черноусова, упорно уклоняющегося от общественной работы, но в конце концов перековавшегося. И вот мы, едины в двух лицах, приехали в Пояконду солнечным августовским днем и по удивительному совпадению — в одном поезде со Львом Александровичем Зенкевичем и его довольно многолюдной свитой. Поэтому нас встретили по высшему тогдашнему разряду и тут же повезли на биостанцию в длинном караване, буксируемом моторным вельботом.

Караван замыкался лодкой, плотно набитой кирпичом, на котором, повязанный красным пиратским платком, восседал Сережа (для всех он был Сереня) Богословский. До сих пор не понимаю, как все это сооружение не пошло ко дну, улекая за собой и нас в передних лодках.

Наш старый катер шел не ходко,
От дальнего пути устав,
И тихо чайки спали в лодках,
По банкам крылья распластав.

Таня Бек

И так мы тянулись и тянулись по зеркальной воде залива мимо лесистых островков в какой-то сказочный мир, а когда причалили и пахло смолой и краской от лежащих на берегу суденышек, ощущение таинственного острова уже не отпускало. Все последующие две недели, несмотря на ежедневные строительные работы и скудное пропитание, запомнились мне как один непрерывающийся карнавал — череда дней рождения, каждый с долгой подготовкой, разучиванием интермедий Илюши Глезера и виршей Семена Милейковского и, как венец всему, — праздник по поводу прибытия долгожданного папанинского подарка — катера «Ломоносов». Земля дрожала!

© Белоусов Л.В., 2013



По дороге на ББС. Слева направо: Б. Манухин, проводница поезда, Л. Белоусов, Д. Сахаров.

Здесь и далее фото Д.А. Сахарова

Была и наука — вся умещавшаяся в кубрике, где мы плечом к плечу сидели за старенькими рейхертовскими микроскопами (с прекрасной, надо сказать, оптикой) и рассматривали каждый свое, а иногда и чужое. Перцов заходил к нам каждое утро и, строго требуя отчета об увиденном, смотрел в каждый микроскоп. Милейковский тоже подзывал меня к планктонным личинкам, которыми он занимался, включая загадочного цифонаутеса, и выдразнивал за то, что я, эмбриолог, не мог ему ничего в них объяснить. Эти уроки впоследствии еще как пригодились. Но уже тогда пленили гидроиды и больше всего — розовые кусты гидроидного полипа *Clava multicornis*, в гонофорах которых просвечивали зародыши самых разных стадий развития.

Вообще море было замечательное — литораль, еще не разграбленная последующими поколениями студентов. На больших отливах жирные розовые *Aeolidia* будто грелись на зарослях аскофиллума, из слоевищ которого торчали куртинки тех же *Clava*, а чуть глубже росли целые леса жестких ельчатых *Dynamena* и мягких ветвистых *Obelia*. Как китайские фонарики, светились медузы *Co-*

гуне, сидящие на прикрепленных к большим камням колониях. Все это изобилие и определило направление дальнейших научных работ эмбриологов на Белом море.

Следующий мой приезд состоялся через год, в 1958 г., когда я находился уже в статусе аспиранта кафедры эмбриологии, с заданием заняться «чем угодно, но только беспозвоночным» и безо всякого научного руководителя. Тогда я оказался в блестящем обществе, возглавляемом двумя прославившимися вскоре физиологами — Сахаровым (он же — поэт, писавший под псевдонимом Сухарев) и Г.А.Бузниковым. Именно в то лето Бузников и Б.Н.Мануйлов начали свои исследования по донервной функции нейромедиаторов, получившие затем мировую известность. С нами прибыл целый студенческий интернационал, где Россию представлял только колоритный сибиряк Олег Никитин, а другими были: монгол Цегмид Гэлэг, китаец Фан, вьетнамец Лонг, итальянский коммунист Пьетро Вольпе (будивший нас по утрам терцинами Данте) и румынка Марго Штефанеску. По крайней мере пятеро из этой компании (включая Вольпе и Лонга) стали затем профессорами, а Цегмид (тогда — мой первый, и притом «гидроидный», дипломник) — чрезвычайным и полномочным послом Монголии в ГДР! А тогда все мы теснились за своими микроскопами в хилом приморском сарайчике, к самому порогу которого на сильных приливах плавно подступало море. Сухарева это вдохновило на стихи:

И мы сидим, и мы глядим,
И нам мигает линза —
Мол, до чего же он един —
Мир социализма!

На что Бузников замечал, что если линза мигает — микроскоп надо выбрасывать. Впрочем, Сахаров сам вскоре признал, что сглазил насчет единства. Больше удались ему стихи о наших общественных работах:

Нам поручена работа —
Мы смолим бока у бота.
К морю баком бот лежит,
По рубахам пот бежит...

В выборе объекта для диссертации я долго не колебался — конечно, гидроиды: их так много, и они такие красивые! Возникла идея разобраться в «поведении клеток» вегетативного поколения при морфогенезе. И вместе с тем терзала мысль, что все это давно уже известно и подробно описа-



Друзья: Ле Куанг Лонг и Д.А.Сахаров.

но, только я не могу найти литературу. При тогдашних трудностях доступа к мировой научной литературе (которые сегодня и вообразить нельзя) в этом сложно было разобраться.

Исходя из аналогии с зачатками растений, я предположил, что почки растут путем направленных делений клеток (двумя годами позже узнал, что именно это полагал доказанным один из крупнейших знатоков развития беспозвоночных — канадский зоолог Н.Берилл). Их-то я и начал искать на гистологических срезах. Однако, к моему удивлению, в развивающихся почках митозы практически отсутствовали, хотя в базальных частях их было немало. С другой стороны, поражала двигательная активность клеток как в проксимальных, так и в дистальных отделах колоний. Я стал внимательнее присматриваться к изменениям плотности клеточного расположения на последовательных стадиях развития. Получалось, что клетки активно смещаются относительно друг друга, причем если в базальных частях такие смещения случайны и преходящи, то в дистальных, напротив, закономерны и устойчивы. По тем временам это выглядело необычно.

Через два года мне предложили рассказать о своей работе на коллоквиуме ББС, где в числе немногих, но строгих слушателей были В.А.Броцкая и Г.А.Абрикосов. Мои заявления, что гидроиды развиваются почти без участия клеточных делений, путем только лишь перераспределения клеток, были встречены с недоверием, а Абрикосов так просто поднял меня на смех: «Что же, у вас клетки в воду ползут, что ли?». Я страшно обиделся, что, как часто было в моей жизни, оказалось полезным. Чтобы продемонстрировать реальность клеточных движений, я решил окрасить гидроид нильблаусульфатом, прочно его закрепить и заснять под слабым освещением и с длительной



В одной лодке. Д.Сахаров (слева) и Л.Белоусов.

(получасовой) экспозицией этого участка колонии под могучей фотоустановкой-«гармошкой» — в надежде зарегистрировать нечто вроде треков движущихся клеток. Но для этого нужен был 40-кратный водно-иммерсионный объектив, а единственным на всей ББС таким объективом владела Брочкая.

Я пошел к ней, говоря, что объектив нужен мне «на минуту», только чтобы посмотреть, подходит ли он к фотоустановке. В.А. легко разгадала мою хитрость, глаза ее блеснули: «Предположим, что он подходит. Что дальше?» Пришлось раскрыть карты, но объектив был все-таки получен, и 30-минутная экспозиция верхушки стебля *Obelia* при слабом освещении осуществилась. Проявив пластинку и промыв ее в ручье, наряду с ожидаемыми треками окрашенных клеток я увидел нечто более удивительное — семь четких полукружий на верхушке, нечто вроде годовых колец с оптической плотностью, ослабляющейся в дистальном направлении [1].

Еще мокрую пластинку посмотрели все тогдашние сотрудники станции во главе с Перцовым: «Да, в этом что-то есть!». Это «что-то» оказалось ростовыми пульсациями с 5-минутной периодичностью, которые таким «лапотным» способом удалось открыть на четыре года раньше группы американских биологов, работавших во всемирно известном Океанографическом институте Вудс-Холл.

Именно процесс ростовых пульсаций у гидродных полипов и стал главной темой наших дальнейших исследований на ББС. Решающий сдвиг произошел благодаря применению цейтраферной киносъемки, чем мы обязаны замечательному человеку — физику Л.А.Баденко из Ленинграда, глубоко и вместе с тем как-то по-детски интере-

сующемуся биологией. Он привез с собой приятелей, крепких ребят с тяжелой аппаратурой (другой тогда не было), к установке подтащили чуть ли не все аккумуляторы, которые были на станции, и кинокамера стала щелкать круглые сутки. Потом была кропотливая работа по проявке, печати и расшифровке увиденного.

В результате — при комбинировании с гистологией — стала понятной кинетика процесса: несколько десятков клеток в стенках растущей почки вели себя подобно гребцам, дружно наклоняясь то в одну, то в другую сторону, «формуя» верхушечный перисарк, пока он был еще мягким, и тем самым создавая почку [2]. Гидроиды оказались замечательными «морфогенетическими машинами» (или, скорее, мастерами, подобными стеклодувам). Хотелось глубже разобраться в том, что движет этой механикой.

И снова на помощь пришли ленинградцы — теперь в лице Ю.А.Лабаса с его феноменальной эрудицией в самых различных областях биологии (и не только). Он, увидев на гидроидном симпозиуме в Питере наши фильмы, весьма ими воодушевился. Он привез на ББС уникальную по тем временам машину — механограф, который записывал смещения верхушки побегов при пульсациях, а также батарею ингибиторов. Снова пошли круглосуточные опыты. Эти работы продолжались до конца 80-х годов, причем руководство ББС оказывало им постоянную поддержку — хотя к официальной тематике станции они имели мало отношения. В результате ростовые пульсации верхушки побега гидроидов стали едва ли не самым изученным — от субклеточного до органного уровня — морфогенетическим процессом.

Полученные результаты можно суммировать в следующих пунктах. Во-первых, «рисунок» пульсации (т.е. диаграммы «время—амплитуда») оказался строго стадио- и видоспецифичным. Формы гидрантов (соотношения «длина—поперечник») однозначно зависели от этих «рисунков», которые можно было изменять действием некоторых фармакологических агентов; и тогда закономерно менялась и форма гидрантов.

Во-вторых, клеточный механизм пульсаций представляет собой относительно медленную закачку воды в клеточные вакуоли на фазе растяжения зачатка и энергичный синхронный выброс ее обратно на фазе сокращения. В основе своей этот процесс осмотический [3, 4].

В третьих, с большой долей вероятности можно полагать, что выброс воды связан с возраста-

нием концентрации внутриклеточного Ca^{2+} , что, в свою очередь, зависит от растяжения клеточных мембран (и активации механозависимых Са-каналов) на фазе закачки воды. Если это так, то ростовые пульсации — саморегулируемый процесс с положительно-отрицательными обратными связями.

И наконец, по ходу этих работ Лабас сделал замечательное открытие (к сожалению, оставшееся почти незамеченным): по признакам ростовых пульсаций гидроиды электрополярны в дистопроксимальном направлении. Если поместить их в электрическое поле верхушкой к катоду, то они замирают на стадии «максимума» ростовых пульсаций, оставаясь с сильно набухшими клетками. А если верхушку обратить к аноду, эффект будет обратный, клетки остаются «выжатыми» [5]. Возможно, это указывает на полярное дистопроксимальное расположение Са-каналов. К сожалению, этот цикл работ остался незавершенным.

Параллельно с этими работами Т.В.Остроумова изучила механизмы поляризации личинок *Clava multicornis*. Она показала, что морфологическая поляризация личинки не связана жестко с поляризацией яйцеклетки, а возникает *de novo*, под сильным воздействием механических факторов [6, 7]. Ее данные получили международное признание.

Н.А.Сахарова, тщательно проследив дробление и формирование зародышевых листков у гидроидного полипа *Dynamena pumila*, обнаружила, что последовательные деления бластомеров заметно синхронизированы. Таким образом, она впервые

описала вариабельность путей развития, ведущую к одному и тому же конечному результату.

Эти исследования активно продолжили и углубили В.Г.Черданцев и Ю.А.Краус [8]. С помощью более совершенных микроскопических методов они выявили удивительные закономерности морфогенеза зародышей *D.pumila*. Оказалось, что на определенных стадиях развития они представляют собой конгломерат клеточных агрегаций, форма каждой из которых близка к тору. В дальнейшем отверстия торов одно за другим замыкаются. Задний полюс личинки соответствует последнему по времени закрытия отверстию. Эти работы смыкают морфогенез гидроидов с современной теорией самоорганизации. Впрочем, удалось применить моделирование на основе теории самоорганизации также и к морфогенезу вегетативного поколения, протекающему на основе ростовых пульсаций.

К сожалению, незавершенной осталась работа В.В.Моргуновой по морфогенезу актинии *Bunodactis stella*. Однако полученные данные помогли в решении интригующей проблемы о наличии третьего (среднего) зародышевого листка у книдарий. В свете этих данных видно, что у актиний клеточная масса, по ряду показателей сходная с примитивной мезодермой, закладывается раньше гастродермы, что может считаться весьма примитивным признаком.

Результаты исследований — данные по морфогенезу беспозвоночных (в первую очередь — книдарий) — обсуждались на национальных и международных научных конференциях. ■

Литература

1. Белоусов Л.В. Прижизненные наблюдения над клеточными перемещениями у гидроидного полипа *Obelia flexuosa* // Докл. АН СССР Сер. Биол. 1961. Т.136. №6. С.1490—1493.
2. Belousov L.V., Badenko L.A., Katchurin A.L., Kurilo L.F. Cell movements in morphogenesis of hydroid polyps // J. Embr. Exp. Morphol. 1972. V.27. P.317—337.
3. Белоусов Л.В., Лабас Ю.А., Баденко Л.А., Летунов В.Н. О пульсирующем росте у многоклеточных организмов // Докл. АН СССР. Сер. биол. 1981. Т.257. №5. С.1247—1250.
4. Belousov L.V., Labas J.A., Kazakova N.I., Zaráisky A.G. Cytophysiology of growth pulsations in hydroid polyps // J. Exp. Zool. 1989. V.249. P.258—270.
5. Лабас Ю.А., Белоусов Л.В., Казакова Н.И., Баденко Л.А. Реакции на электрические поля как показатель связи между общеорганизменной и клеточной полярностью у гидроидных полипов // Онтогенез. 1987. Т.18. №2. С.154—168.
6. Белоусов Л.В., Остроумова Т.В. Детерминация морфологической полярности в эмбриогенезе гидроидных полипов // Журн. общ. биол. 1971. Т.32. №3. С.323—331.
7. Belousov L.V., Ostroumova T.V. Metabolic gradients and morphological polarization in embryonic development of hydroid polyps // J. Embr. Exp. Morphol. 1969. V.22. P.469—480.
8. Краус Ю.А., Черданцев В.Г. Экспериментальное исследование формирования передне-задней оси в раннем развитии морского гидроида *Dynamena pumila* // Онтогенез. 2003. Т.36. С.365—378.

Беломорские просторы для сравнительной физиологии

О.П.Балезина,

доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник кафедры физиологии человека и животных
биологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

Сравнительная физиология выделилась в самостоятельную науку в начале XX в. Энтузиаст зарождающегося направления датский физиолог А.Крог (Нобелевская премия 1929 г. за сравнительный анализ механизмов дыхания у животных), одним из первых уловивший уникальные возможности и плодотворность сравнительного подхода в физиологических исследованиях, писал: «Для любого конкретного вопроса физиологии природа имеет идеальный объект исследования. <...> Я не сомневаюсь, что существует множество животных, которые просто созданы для определенных физиологических целей, но боюсь, что большинство из них неизвестны тем физиологам, для которых они “созданы”. Поэтому мы должны обратиться к зоологам, чтобы открыть для себя эти объекты и просто приложить к ним свои руки» [1].

Популярность сравнительного физиологического подхода достигла апогея в середине XX в., когда А.Ходжкин и А.Хаксли, используя экзотический объект — гигантский аксон моллюска, раскрыли механизмы возбуждения нейронов. В кулуарах Нобелевского комитета во время присуждения авторам открытия Нобелевской премии в 1963 г. ходила ядовитая шутка, что ее достоин и гигантский аксон кальмара. Триумф такого подхода породил последующие обращения исследователей к новым объектам. Так, на крупных мышечных волокнах ракообразных был открыт качественно новый Са-механизм генерации потенциала действия. В конце XX в. к исследованию ганглиев морских моллюсков обратился Э.Кэндел (Нобелевская премия 2000 г. «за раскрытие клеточных механизмов памяти и поведения»). Изученные им ганглии аплизии с относительно небольшим числом очень крупных нейронов оказались как будто специально созданными для изучения механизмов нейронной пластичности и нейронной памяти.

В России к середине XX в. существовало минимум две школы сравнительной и эволюционной физиологии — московская и петербургская. Московскую возглавлял Х.С.Коштойац, заведующий кафедрой физиологии животных биофака МГУ,

для которой сравнительно-физиологические исследования были традиционными. Растущая популярность этого направления в мире и в России в середине XX в. счастливо совпала по времени с образованием Беломорской биостанции МГУ. Для нашей кафедры она стала основной научной базой для полевых экспериментов и остается ею до сих пор.

Первым, кто в 60-х годах поставил в физиологии вопрос о возможной донервной активности и функции медиаторов у животных, был ученик Коштойаца Г.А.Бузников. Для изучения низкомолекулярных регуляторов зародышевого развития на ББС он выбрал иглокожих (морских ежей), в нервной системе которых предполагалось наличие серотонина и других медиаторов. Изучая яйцеклетки и ранние эмбрионы своих объектов, Бузников обнаружил в «донервных» клетках на очень ранних стадиях развития синтез серотонина и адреналина, который резко усиливался сразу после оплодотворения, за 1.5—4 ч до первого клеточного деления, т.е. до начала формирования нервной системы! В последующем, после многочисленных проверок, эти уникальные факты, полученные в первых нехитрых экспериментах на яйцах морского ежа, стали основанием для монографии Бузникова «Низкомолекулярные регуляторы зародышевого развития» (1968). В последние годы наличие специфических компонентов донервной серотонинергической системы установлено у развивающихся зародышей иглокожих с помощью иммуоцитохимии, высокоскоростной жидкостной хроматографии—масс-спектрометрии.

Первые успехи физиологов

Все началось более 50 лет назад с поездки на далекую биостанцию молодого сотрудника кафедры физиологии животных Дмитрия Сахарова. Его исследования нервной системы беломорских моллюсков оказались настолько захватывающими, что стали предметом многолетних исследований ученого, и спустя 25 лет вышла монография Д.А.Сахарова «Генеалогия нейронов». Она до сих пор остается одной из настольных книг физиологов, изуча-

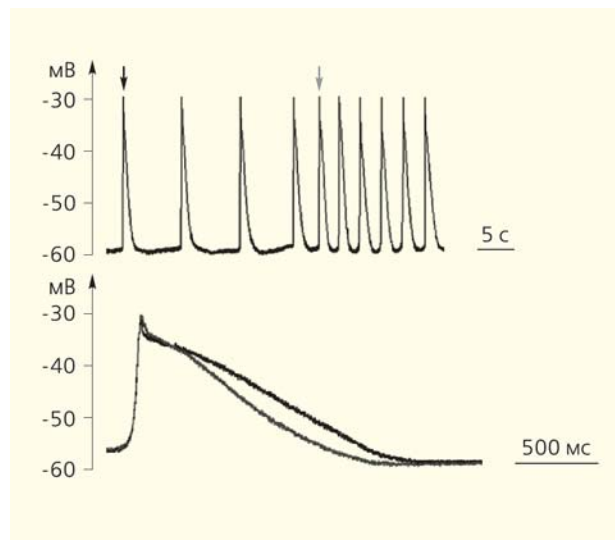
ющих нервную систему моллюсков. А тогда, в конце 50-х годов, благодаря разработанной Сахаровым программе первая группа студентов во главе с М.Г.Удельновым прибыла на ББС на учебную практику по сравнительной физиологии.

На первых порах (в 50—60-х годах) физиологическая лаборатория на ББС представляла собой деревянную постройку, отапливаемую русской печью, где не было водопровода, постоянного протока морской воды, холодильника. Исследования требовали большой энергии и энтузиазма и, конечно, не могли обходиться без участия инженера кафедры Л.И.Чудакова, творившего чудеса изобретательности для обеспечения физиологов стабильно работающими осциллографами, компактными усилителями собственного изготовления, источниками питания и многими другими приборами.

Оказалось, что физиологи ничуть не хуже «полевиков» справляются с экспедиционным бытом и могут успешно работать в любых условиях: они создали оригинальные экспериментальные задачи, развернули современные лаборатории, решавшие не только учебные, но и фундаментальные научные проблемы. Выбор объектов и методов для анализа функциональных систем беломорской фауны во многом определялся проблематикой и направлениями кафедры физиологии животных, а также актуальными вопросами физиологии в середине XX в.

К концу 70-х годов благодаря энтузиазму директора станции Н.А.Перцова, энергии стройотрядов и всех приехавших на ББС сотрудников появился большой Аквариальный корпус с водопроводом и отоплением, проточной морской водой, холодильниками и дистилляторами. В нем были оборудованы электрофизиологические установки, которые по оснащению и научным возможностям не уступали аналогичным приборам на биофаке в Москве. Тогда же на ББС начались микроэлектродные исследования возбудимых систем, в том числе сердца аннелид, нейронов зрительной системы рыб, мускулатуры беспозвоночных и позвоночных животных. Остановимся на некоторых из этих работ.

Для понимания эволюции миогенной автоматии особую роль играют сердца кольчатых червей — единственной группы беспозвоночных, имеющих замкнутую кровеносную систему. В середине 70-х годов выпускница кафедры физиологии животных Н.В.Андреева начала микроскопические и электрофизиологические исследования сердец пескожила (*Arenicola marina*). В те годы уже знали, что у моллюсков и членистоногих с незамкнутой кровеносной системой сердца отличаются реактивным механизмом ритмики. Надо было понять, сохраняется ли такой механизм и у аннелид, имеющих замкнутую кровеносную систему. Изучение потенциалов действия (ПД) в разных зонах сердца пескожила показали, что все они миогенного типа. Неожиданностью оказалась от-



Пейсмекерные потенциалы действия (ПД) сердечных клеток пескожила до (черная стрелка) и после (серая стрелка) аппликации ацетилхолина (АХ). Внизу — изменение формы ПД за счет укорочения фазы плато под действием АХ.

ветная реакция сердца на ацетилхолин: она была учащенной (в отличие от моллюсков). Ювелирные опыты Андреевой позволили заключить, что ритмическая работа сердца аннелид имеет не реактивную (как у других беспозвоночных), а истинно миогенную природу, независимую от внешних воздействий.

В середине 80-х годов аспирант А.Лукьянов начал изучать электрическую активность сердца беломорской трески. На разработанном им уникальном препарате изолированного сердца впервые выявлена кластерная организация водителей ритмов (пейсмекеров) сердечных клеток рыбы. В составе кластера клетки были неоднородны и образовывали генераторную и переходную зоны с разной активностью.

Изучение микроанатомии и функциональной организации хемосенсорных систем рыб с применением электрофизиологических и поведенческих методов началось в 70—80-х годах. При изучении чувствительности обонятельной системы тресковых рыб к широкому спектру химических сигналов обнаружили ее высокую избирательность к биологически значимым химическим стимулам и чрезвычайно медленную адаптацию к ним. Оказалось, что при возбуждении других сенсорных систем чувствительность к запахам в обонятельной системе рыб может меняться. Впервые были изучены особенности взаимодействия обонятельной системы с системой тройничного нерва у рыб и роль этого взаимодействия в восприятии запахов. Многолетние комплексные исследования, проводимые под руководством Г.А.Малюкиной, позволили обнаружить способность многих видов морских рыб различать запа-

хи своего и чужих видов, а также большую роль обонятельной рецепции в формировании внутривидовых взаимоотношений и пищевого поведения трески и наваги. В оригинальных поведенческих экспериментах была доказана важная роль химической рецепции в формировании различных эколого-физиологических адаптаций у морских рыб.

Современный этап физиологических исследований

Немалую роль в работе физиологов на ББС сыграла политика директора станции Александра Борисовича Цетлина, по мнению которого на станции очень важно сохранить многопрофильные исследования, в том числе и физиологические, как это принято на всех крупных морских биостанциях.

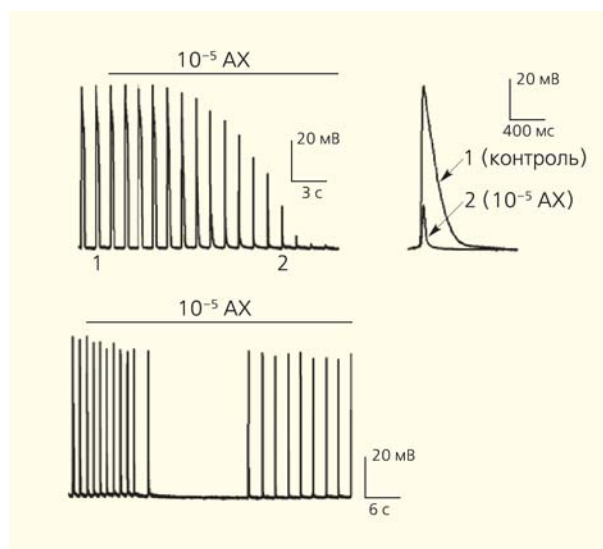
Летом 2006 г., после восстановления электропитания станции, начался новый этап сравнительно-физиологических исследований. В 2007—2009 гг. благодаря энтузиазму и личному участию сотрудника нашей кафедры Д.В.Абрамочкина в Аквариальном корпусе полностью переоборудовали физиологическую лабораторию, и студенческая практика стала проходить на современном уровне.

В последние пять лет в обновленной лаборатории получен интересный материал, раскрывающий специфику пейсмекерной активности сердце позвоночных и беспозвоночных животных. Основными объектами стали сердца беломорской трески и пескожила.

Вопрос о роли и механизмах действия ацетилхолина (АХ) на работу сердца имеет уже вековую



Д.В.Абрамочкин в физиологической лаборатории.



Изменения потенциалов в сердце трески *Gadus morhua* под влиянием АХ. Вверху — быстрое падение амплитуды ПД под действием АХ. Справа показан одиночный импульс. Внизу — снижение ритмической активности вплоть до полной остановки пейсмекера.

историю, но до сих пор остается весьма актуальным. На ББС получены новые данные о подавлении экзогенным ацетилхолином (в физиологических концентрациях) электрической активности изолированного предсердия трески (*Gadus morhua*) с образованием в нем локальных невозбудимых зон. При этом АХ мог не менять ритм работы пейсмекера, но значительно подавлял генерацию потенциала действия в предсердном миокарде. Подобное явление, описанное ранее лишь в сердце лягушки, как оказалось, характерно и для рыб [2, 3].

Фармакологическое тестирование избирательных блокаторов мускариновых холинорецепторов показало, что не только M_2 -, но и M_3 -холинорецепторы опосредуют влияние ацетилхолина на электрическую активность клеток предсердия трески. По мнению авторов работы, M_3 -тип мускариновых холинорецепторов может претендовать на роль одного из универсальных посредников парасимпатической регуляции сердца у позвоночных животных [4—6].

Другая интересная работа проводилась на асцидиях. У этих морских животных мускулатура необычна и по ультраструктуре, и по функциям. У сидячей формы морфологи не могут однозначно отнести мышечные клетки ни к гладкомышечным, ни к соматическим, поэтому особенно интересна электрическая и сократительная активность туловищной мускулатуры сидячей формы асцидии. Активность мышечных полосок асцидий изучалась еще в 80-х годах. Уже тогда выяснили, что периодические сокращения асцидий подавлялись блокаторами Ca -каналов L-типа. Эстафету

этих исследований на новом этапе подхватили молодые сотрудники и аспиранты кафедры В.С.Кузьмин и Е.В.Волкова. В результате в 2012 г. появилась статья, где впервые описана спонтанная электрическая активность туловищной мускулатуры асцидии *Styela rustica* [7].

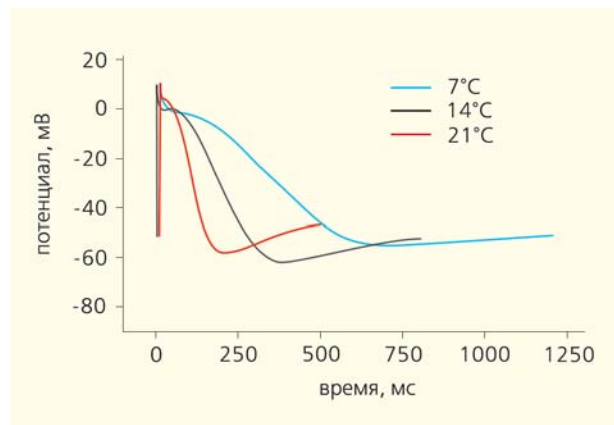
Итак, за 2007–2012 гг. по материалам, полученным на Белом море, сотрудники кафедры физиологии человека и животных опубликовали шесть статей в иностранных и отечественных журналах [2–7], многие находятся в печати или только планируются. Все эти работы — результат коротких месячных экспедиций на ББС — не только открыли новые факты, но и дали пищу для размышлений и стимул для дальнейшей работы. Они еще вызвали немалый резонанс в научном сообществе.

Первая Международная школа по сравнительной физиологии на ББС

Бурная активность физиологов на биостанции не осталась незамеченной иностранными коллегами, работающими в смежных областях сравнительной физиологии. Появились вопросы о возможных исследованиях на ББС, что и стало толчком для проведения на станции Первой международной школы по сравнительной физиологии.

В сентябре 2012 г. на биостанцию приехали более 20 «школьников» и 12 лекторов из России и разных стран Европы. Для участников школы были подготовлены новый удобный лекционный зал, а также оборудованная на самом современном уровне физиологическая лаборатория Аквариального корпуса. Список объектов и лабораторных задач, предоставленных в распоряжение школьников на две недели их пребывания на станции, впечатлил бы любого: отведения электрической активности сердец рыб, ЭКГ свободноплавающих рыб, синаптические потенциалы мускулатуры пескожила, Са-сигналы светящейся элитры (чешуйки) многощетинкового червя *Harmothoe imbricata* и изолированных кардиомиоцитов трески (*Gadus morhua*), локомоторная активность мышечной полоски асцидий (*Styela rustica*) и многое другое. Некоторые из школьников впервые на биостанции увидели микроэлектроды, научились отводить биопотенциалы и воочию наблюдали внутриклеточные Са-сигналы.

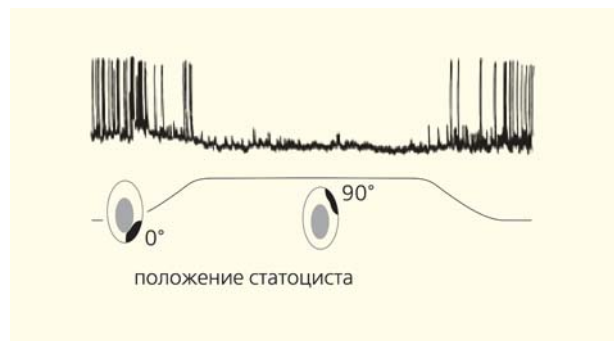
Открылась школа лекцией директора станции А.Б.Цетлина о флоре и фауне Белого моря и моим докладом «Сравнительная физиология — прошлое, настоящее и вызовы будущего». Огромное впечатление произвели выступления Х.Шилс (Манчестерский университет, Великобритания) о специфике Са-зависимых механизмов сокращений в сердцах рыб и температурных адаптациях [8]. Мы впервые узнали, что у рыб (в отличие от амфибий и млекопитающих) эффектив-



Потенциалы действия трески, зарегистрированные при разных температурах среды [8].

ность сокращения кардиомиоцитов зависит не столько от ретикулярного кальция, сколько от кальция, входящего по Са-каналам L-типа. Оказалось также, что при изменениях температуры воды форма и амплитуда потенциала действия миоцитов рыб существенно меняется, определяя колебания уровня внутриклеточного кальция. Причем наибольшая продолжительность потенциала действия (а значит и Са-сигналов, и сокращений) характерна для низких температур воды — порядка 7°C.

Ю.В.Панчин (Институт проблем передачи информации РАН) рассказал о рефлекторном поведении одного из красивейших морских моллюсков — клиона [9]. При спокойном вертикальном плавании и во время охоты в мозг животного приходят сигналы от органов равновесия — статоцистов (расположенных в хвосте), которые сообщают о положении тела клиона в толще воды. Аfferентная сигнализация от рецепторных клеток статоциста, активируя нейроны и их взаимодействия, приводит к формированию команд, подаваемых от ганглия к мышцам моллюска. Для этого пришлось «прозвонить» множество нейронов



Электрическая активность рецепторной клетки статоциста, затухающая при перемене положения тела моллюска на 90° [9].

в головном ганглии и обнаружить те, которые участвуют в формировании целых ансамблей, осуществляющих двигательные программы животного.

В краткой статье невозможно перечислить все направления работ и упомянуть всех участников. Хочется только отметить, что, несмотря на неизбежные для первого опыта накладки и организационные трудности, школа стала новым веским свидетельством растущего международного престижа биостанции, ее привлекательности и для отечественных, и для зарубежных ученых, а кроме того, еще раз убедила нас, что у сравнительной физиологии большое будущее.

Физиологическая практика

В заключение хочется отметить, что на ББС велись не только фундаментальные сравнительно-физиологические исследования, но и многолетняя очень интересная и важная практика студентов-физиологов 3-го курса. Много душевных и физических сил отдали сотрудники кафедры Г.Ю.Юрьева и Н.Е.Бабская, старший инженер Л.И.Чудаков. Студенты самостоятельно выполняли многочисленные учебные задачи: осваивали методы регистрации электрической активности брюшной нервной цепочки нерейса (*Nereis pelagica*), сократительной активности амбулакральных ножек морской звезды (*Asterias rubens*) и усонюгих рачков баянусов (*Balanus*), а также решали другие экспериментальные задачи. Излишне говорить, как много давала будущим физиологам-экспериментаторам такая практика!

В трудные годы, когда начались перебои с финансированием, а потом — отключения электри-

чества на ББС, эстафету организации проведения летней практики физиологов принял на себя доцент кафедры И.Ю.Сергеев (ныне — заместитель декана биофака по практикам). Благодаря его героическим усилиям учебная практика студентов-физиологов продержалась все 1990-е годы.

Сейчас, в начале XXI в., уже нет с нами многих физиологов-«беломорцев» — Г.А.Малюкиной, Л.И.Чудакова, Ц.В.Сербенюк, М.Е.Удельнова. Но мы не сомневаемся, что пока студенты спрашивают, состоится ли у них беломорская практика, добрая и полезная традиция нашей кафедры учиться и развивать сравнительную физиологию на ББС будет жива и все новые поколения выпускников будут вспоминать о ней как о лучших днях своей студенческой и научной жизни.

Излишне напоминать, что XXI в. — век геномики, но она не решит своих проблем без расширения круга исследуемых объектов и сравнительно-физиологических исследований трансгенных организмов. Наконец, тревожные проблемы экологии вынуждают все внимательнее вглядываться в природу, чтобы найти в ней ответы на вопросы, к чему призывал еще А.Крог. Значит, современный физиолог просто обязан быть образованным в области сравнительной физиологии, понимать и учитывать эволюционные особенности каждой функции, хорошо ориентироваться в адапционном потенциале каждого органа в изменяющихся условиях среды. Воспитывать таких специалистов с широким кругозором и новым физиологическим мышлением, для которых сравнительный подход в их исследованиях не будет ограничен работами на лягушках и крысах, и помогает практика студентов-физиологов на ББС, популярность которой растет с каждым годом. Поэтому мы говорим: «ББС МГУ, спасибо, что ты у нас есть!» ■

Литература

1. Krog A. The Progress of Physiology // Am. J. Physiol. 1929. V.90. №2. P.243—251.
2. Абрамочкин Д.В., Суриц М.А., Сухова Г.С. и др. Индуцированное ацетилхолином подавление электрической активности рабочего миокарда предсердия трески // Докл. РАН. 2008. Т.419. С.73—76.
3. Абрамочкин Д.В., Кузьмин В.С., Сухова Г.С., Розенштраух Л.В. Феномен холинергической невозбудимости в предсердном миокарде низших позвоночных // Росс. физиол. журн. им.И.М.Сеченова. 2009. Т.95. №6. С.573—582.
4. Abramochkin D.V., Kuzmin V.S., Sukhova G.S., Rosensbtraukh L.V. Cholinergic modulation of activation sequence in the atrial myocardium of non-mammalian vertebrates // Comp. Biochem. Physiol. A. 2010. V.155. №2. P.231—236.
5. Abramochkin D.V., Tennova N.V., Hirazova E.E. et al. Bioelectrical activity in the heart of the lugworm *Arenicola marina* // J. Comp. Physiol. B. 2010. V.180. №5. P.645—651.
6. Abramochkin D.V., Borodinova A.A., Rosensbtraukh L.V. Effects of acetylcholinesterase inhibitor paraoxon denote the possibility of non-quantal acetylcholine release in myocardium of different vertebrates // J. Comp. Physiol. B. 2012. V.182. №1. P.101—108.
7. Kuzmin V.S., Volkova E.V., Sukhova G.S. Cholinergic regulation of body-wall muscle contraction of the ascidian *Styela rustica* (Linnaeus, 1767) // Russ. J. of Mar. Biol. 2012. V.38. №3. P.228—236.
8. Shiels H.A., Vornanen M., Anthony P., Farrell A.P. Effects of temperature on intracellular $[Ca^{2+}]$ in trout atrial myocytes // J. Exper. Marine Biol. 2002. V.205. P.3641—3650.
9. Panchin Y.V., Arsbavsky Y.I., Deltagina T.G. et al. Control of locomotion in marine mollusk *Clione limacina*. Neuronal mechanisms of spatial orientation // J. Neurophys. 1995. V.73. №5. P.1924—1937.

Кисло-сладкие озера, полные чудес

Е.Д.Краснова,

кандидат биологических наук,
научный сотрудник ББС им. Н.А.Перцова

А.Н.Пантюлин,

кандидат географических наук,
доцент кафедры океанологии географического факультета им. М.В.Ломоносова

В чаще из древних — под три миллиарда лет — архейских пород качается, плещется Белое море. Его возраст всего 11 тыс. лет, в геологических масштабах — одно мгновение. Все, кроме ложа, в нем молодо: и воды, и берега, и экосистемы. Беломорская вода находится в постоянном движении, прилив сменяется отливом; сток Северной Двины — одной из самых крупных рек России — приводит в движение горизонтальные течения, а поступление соленой воды из Баренцева моря создает вертикальную циркуляцию, из-за чего беломорские воды за год обновляются наполовину, а глубинные — полностью. Берег тоже динамичный: 12 тыс. лет назад, после схода ледника, твердые породы, придавленные ледяной горой трехкилометровой высоты, начали распрямляться, и их поднятие продолжается до сих пор с огромной для геологических процессов скоростью — около 4 мм в год. За 10 лет и дно, и берег поднимаются на 4 см, на 40 — за столетие, а самая старая деревня под названием Черная Речка, что неподалеку от Беломорской биостанции, за 450 лет своего существования поднялась почти на 2 м. Из исторических документов мы знаем, что к ее причалам некогда подходили груженные рыбой суда, и удивляемся, ведь сегодня в эстуарий реки невозможно войти даже на плоскодонной гребной лодке! Все объясняется просто: сотни лет назад он был гораздо глубже, а теперь обмелел из-за поднятия берега. Чтобы это заметить, необязательно ждать сотни лет, достаточно внимательно присмотреться к береговой линии. Беломорский пейзаж своей



Древняя литораль оз.Мероламбина недалеко от Сонострова, поднимающаяся над уровнем моря не слишком давно, и потому из наземных растений ее пока освоили только травы.

Здесь и далее фото Е.Д.Красновой

красотой обязан ее многочисленным изгибам, шхерам — россыпям островков с узкими проливами между ними, мысам, разрезающим водную гладь, уютным округлым заливам. Вот мысок, поросший лесом, с узким луговым перешейком — что это, как не приросший к материку остров? А это озерко посреди травяного марша в вершине губы — в нем легко угадывается бывший морской залив. Некоторые такие заливы задержались на промежуточной стадии отделения от моря: сверху вода опреснена, а возле дна еще соленая. На побережье Кандалакшского залива таких много, причем на разных стадиях перехода из власти морской стихии под влияние суши.

Странные это водоемы. Всякий раз, когда гидрологи и морские биологи сталкивались с такими объектами, не могли пройти мимо. Беломорские



Мелководный залив, отделившийся от моря и постепенно превращающийся в соленый марш.

отделяющиеся водоемы — далеко не первые из оказавшихся в фокусе научных исследований.

Первое, но не единственное: Могильное озеро

Самый известный и наиболее изученный отделяющийся от моря водоем — оз. Могильное на о. Кильдин в Баренцевом море. Точнее, не отделяющийся, а давно уже отделившийся. От моря его отгораживает валунная перемычка (возникшая, по разным оценкам, от тысячи до 3,5 тыс. лет назад), сквозь которую фильтруется морская вода. Известное с XVI в., оз. Могильное всегда привлекало исследователей своей необычностью. Возле поверхности оно почти пресное — соленостью не более 3‰. На вкус это заметно, но для питья вода еще годится. Летом 1887 г. молодой сотрудник Зоологического музея Академии наук С.М. Герценштейн в ходе экспедиции на Мурман выловил в озере треску, что вызвало величайшее удивление в научных кругах. Химический анализ воды из озера, выполненный профессором Дерптского (ныне Тартуского) университета К.Шмидтом, показал, что она состоит из 13 частей пресной воды и одной части океанской. Из этого был сделан вывод о способности кильдинской трески жить в пресной воде — качестве, обретенном в ходе постепенного опреснения водоема. Однако уже через два года петербургский зоолог В.А. Фаусек, посетивший озеро «по совету и поручению С.М. Герценштейна», раскрыл главную тайну: под слоем пресной воды, на глубине около 5 м, находится полноценная морская.

Слоистую гидрологическую структуру, в которой соседствуют пресные и соленые воды, ученые тогда встретили впервые. Позднее они обнаружили, что в озере есть еще и третий слой: ниже 9 м и до максимальной, 17-метровой, глубины вода лишена кислорода и насыщена сероводородом. Так что главный персонаж интриги, кильдинская треска, и вправду обитает в необычном месте — в узком промежуточном слое, без контакта с поверхностью (куда ее не пускает пресная вода) и с дном (где концентрируется ядовитый сероводород). Треска — далеко не единственный обитатель оз. Могильного. В каждом из слоев есть своя флора и фауна, в озере соседствуют три экологических сообщества: пресноводное возле поверхности, морские орга-

низмы в соленом слое и богатая бактериальная флора в придонном анаэробном.

Особенности этого водоема уже более 100 лет привлекают внимание исследователей, ему посвящено несколько монографий [1–3], множество статей и подробных отчетов об экспедициях с участием исследователей из разных научных учреждений* [4]. Могильное объявлено гидрологическим памятником природы, во многих справочниках его указывают как единственный в своем роде водоем на территории нашей страны, аналоги которого есть лишь в Канаде, Исландии и Гренландии.

Слоистые озера на Новой Земле

На самом деле не единственный. На территории нашей страны есть и другие подобные водоемы, и они тоже привлекали внимание классиков океанологии. Сотрудник Мурманской биологической станции, а в будущем профессор Ленинградского университета, физиолог Е.М. Крепс в начале XX в. нашел несколько осолоненных береговых озер, сообщающихся с морем, на Южном острове Новой Земли, в губе Черной [5]. Выполнив измерения температуры, солености воды и содержания кислорода, он обнаружил существенные различия

* Это Мурманский морской биологический институт, Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО), Санкт-Петербургский государственный университет, Мурманский государственный технический университет, Зоологический институт РАН, Институт океанологии РАН, Институт микробиологии РАН и др.

в этих показателях между поверхностным и придонным слоями. Последний характеризовался повышенной температурой и соленостью, значительно превышающей нормальную для моря, а также чрезвычайно высоким содержанием кислорода. По сути Крепс столкнулся с тем же явлением, которое наблюдали в Могильном озере, — со слоистой структурой водоема, отделяющегося или недавно отделившегося от моря. Известно, что в Могильном эта слоистость очень устойчива: она не нарушается ни в течение смены сезонов, ни в череде лет. Отсутствие перемешивания между слоями с разной минерализацией позволяет отнести его к числу меромиктических водоемов. Этот термин, введенный в 1935 г. И.Финденеггом, означает «частично перемешиваемый». Ветра и зимнее охлаждение поверхностного слоя, которые в обычных водоемах обеспечивают полное перемешивание, в меромиктических затрагивают только верхний слой и не влияют на более плотный подстилающий. Их пристально изучают, за рубежом о них собирают данные. Теперь всеми признано, что меромиктические водоемы заслуживают специальной охраны.

Озера-убийцы и теплые озера Антарктиды

Среди слоистых водоемов есть весьма знаменитые. Печальную известность обрело африканское оз. Ниос — «озеро-убийца» в вулканическом кратере Камеруна. В августе 1986 г. в Ниосе произошла лимнологическая катастрофа (ее причины не до конца ясны): донные воды, насыщенные вулканическими газами, неожиданно вырвались на поверхность. Котловина озера и долины двух вытекающих из него рек почти на 30 км от водоема оказались «залиты» углекислым газом. От удущья погибли более 1700 человек, 3,5 тыс. голов скота, дикие животные. Подобная катастрофа, но с меньшими жертвами, произошла в 1984 г. на оз. Манун, тоже в Камеруне. В Африке есть еще несколько высокогорных озер со столь же высоким содержанием углекислоты в придонных водах. Во избежание повторения катастрофы в Ниосе и Мануне установлены вертикальные трубы, через которые газы из нижних водных слоев постоянно отводятся в атмосферу. Гидрологи, гидрохимики, геологи стараются понять причины происшедшего, чтобы прогнозировать неожиданные нарушения вертикальной структуры меромиктических водоемов, обычно очень устойчивой. Отсутствие вертикального перемешивания играет отрицательную роль и в самом большом меромиктическом водоеме мира — Черном море, где 5/6 водной толщи содержит сероводород и непригодно для жизни организмов, которые дышат кислородом. Для антарктического оз. Ванда в долине Райта меромиктический характер, наоборот, — благо: хотя оно круглый год покрыто льдом, у его дна температу-

ра достигает +26°C. Это озеро состоит из двух слоев: верхние 50 м пресные, а ниже, под пикноклином (узкой переходной зоной с высокими химическими и температурными градиентами), до максимальной глубины (66 м) находится прогретая хлоридно-кальциево-натриевая вода с соленостью у дна 10% — всего в три раза меньше, чем в Мертвом море. Столь высокой температурой придонный слой обязан прозрачности воды и льда, отполированного постоянными антарктическими ветрами. Летом солнечные лучи проникают ниже хемоклина и нагревают дно, а поскольку конвекции между этой и вышележащей холодной водной массой нет, все накопленное солнечное тепло возле дна и остается.

Реликтовые озера беломорского побережья

Другое название озер, которые образуются отделением от моря, — реликтовые. Это означает, что они сохранились как остатки с древних эпох. В 1930-х годах, когда была организована Беломорская методическая станция Государственного гидрологического института (ГГИ), изучение таких водоемов стало там одной из главных научных тем. Методику исследований отработывали в небольшой двойной лагуне под названием Малая Пирь-губа (близ с. Умба), на берегу которой базировалась станция. Затем была организована экспедиция на более значимый объект — в Бабье Море. Через несколько лет после начала исследований на Беломорской методической станции ГГИ уже набралось достаточно данных для организации представительной сети станций долгосрочного мониторинга в Белом море. Тогда стало понятно, что реликтовые водоемы — важная составляющая беломорской гидрологической системы и без наблюдений за ними представления о режиме всего моря будут неполны. В том числе и поэтому точка в Малой Пирь-губе была включена в число трех станций для ежемесячных стационарных работ.

Из всех беломорских отделяющихся водоемов наибольшее внимание всегда привлекало Бабье Море — большая, почти изолированная лагуна, соединенная с морем лишь двумя узкими мелководными проливами, которые существенно ограничивают действие приливов внутри водоема. Эта лагуна — уменьшенная копия Белого моря, сжатая по вертикали: при максимальной глубине около 40 м температура становится отрицательной с 15 м, тогда как в 350-метровой котловине Белого моря — с горизонтов 70—100 м. Первые данные о его биоте опубликовал еще в 1909 г. К.К. Сент-Илер; в начале 1930-х годов Беломорской станцией ГГИ в Бабье Море были организованы две экспедиции, увенчавшиеся подробными отчетами о его гидрологии и фауне. В 1959 г. дон-

ную фауну Бабьего моря исследовала Беломорская биостанция МГУ, а в 1987-м по инициативе Кандалакшского заповедника была организована водолазная экспедиция, выполнившая подводную съемку дна и бентоса.

И еще один отделяющийся беломорский залив стал объектом долговременных наблюдений — губа Долгая (Глубокая) на Соловецком острове. Ее изучение начато одним из основоположников российской океанологии Н.М.Книповичем в конце XIX в., затем продолжено зоологами Н.А.Ливановым из Казанского Императорского университета (1911) и К.П.Чудновым, узником Соловецкого лагеря. В конце XX в. исследование блестяще подытожил Е.А.Нинбург [6]: он и его воспитанники из лаборатории экологии морского бентоса, что при Дворце творчества юных в Санкт-Петербурге, в течение пяти лет детально изучали бентос. Долгая — обширная губа ковшного типа с глубинами до 20 м и отрицательной температурой уже на 15–17 м (так же, как и в Бабьем море) и арктической фауной, необычно близкой к поверхности.

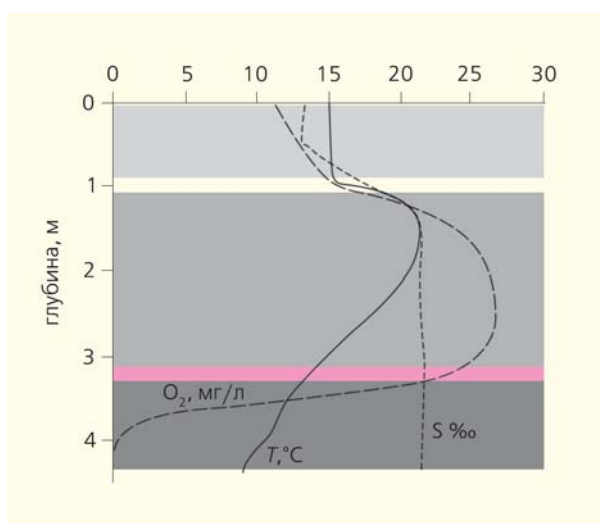
Рукотворные реликты

Тема отделяющихся водоемов стала особенно актуальной в связи с появлением приливных электростанций (ПЭС). Одна из них построена в 1968 г. в России — на Баренцевом море в районе Кислой губы. В 1980-х годах по инициативе Гидропроекта — организации, проектировавшей Кислогубскую ПЭС (и другие на территории России), для оценки ее воздействия на окружающую среду были развернуты комплексные исследования с участием нескольких институтов, специализирующихся на изучении морских экосистем. Результаты этой работы обобщены в коллективной монографии 1995 г. [7]. Водоводы Кислогубской приливной электростанции были устроены так, что препятствовали стоку вод из поверхностного слоя. В результате в губе увеличилось опреснение на поверхности, что затруднило вертикальное конвективное перемешивание и ухудшило кислородный режим глубинных вод. Обитаемый слой воды стал тоньше, уменьшилось количество зоопланктона, и ухудшилась кормовая база для рыб. Заиление дна в сочетании с ослаблением водообмена привело к сероводородному заражению глубоководной области и гибели обитающих там животных. Из-за ослабления приливных колебаний уровня воды литоральная зона стала уже, фауна ее обеднела, биомасса и продуктивность всех сообществ уменьшились. Произошла полная перестройка всех компонентов экологического сообщества. Изменения в гидрологической системе губы, в составе и распределении морских организмов имеют те же тенденции, что и в водоемах, которые отделяются естественным путем.

То же самое происходит при строительстве других гидросооружений — дамб, мостов, волнорезов, которые расчлняют морскую акваторию. Поэтому так важно изучать ответ морской экосистемы на ослабление водообмена с морем при разных сочетаниях глубины, рельефа дна, мощности источников пресной воды и др. Это остается актуальным также и для прогнозирования последствий гидростроительства и развития альтернативной энергетики.

«Кисло-сладкие» чудеса

Но вернемся к Белому морю. Рядом с Беломорской биостанцией МГУ есть небольшая лагуна, которая в последние годы стала полигоном для изучения закономерностей смены сообществ при отделении водоемов от моря. На некоторых картах она именуется Полупресной (или Полусоленой) лагуной, а на ББС МГУ ее называют Кисло-Сладким озером. Расположенный всего в 1.5 км от ББС, этот водоем долго оставался вне науки. Маленькая опресненная лагуна с обедненной морской фауной казалась неинтересной на фоне морских просторов, куда были устремлены все помыслы исследователей с биостанции. Внимание на нее обратили в конце 1980-х, когда вдруг заметили, что за годы существования ББС этот водоем изменился. Первыми бросились в глаза перемены на берегу: до островка, отделяющего лагуну от моря, уже можно добраться без резиновых сапог. (А какие на островке подосиновики! Впрочем, грибы к теме нашего сообщения отношения не имеют.) Последниковый подъем берега приподнял перемычку, а шторма, набросав гальку и песок, достроили ее. Облик самого водоема тоже сделался другим: на дне стало больше ила, поверхность затянулась «тиной» из нитчатых водорослей, купаться



Вертикальная стратификация озера Кисло-Сладкого.

в нем больше не хотелось. Систематические исследования начались с 1994 г., когда в Кисло-Сладком озере была выполнена первая гидрологическая съемка. В 2001—2003 годах этот водоем, а заодно и еще один, на Зеленом мысу, исследовала комплексная экспедиция с участием представителей Института географии РАН, о чем его сотрудник С.И. Шапоренко рассказал на страницах «Природы» [8]. С его подачи название кисло-сладкое стало нарицательным и закрепилось за водоемами такого типа.

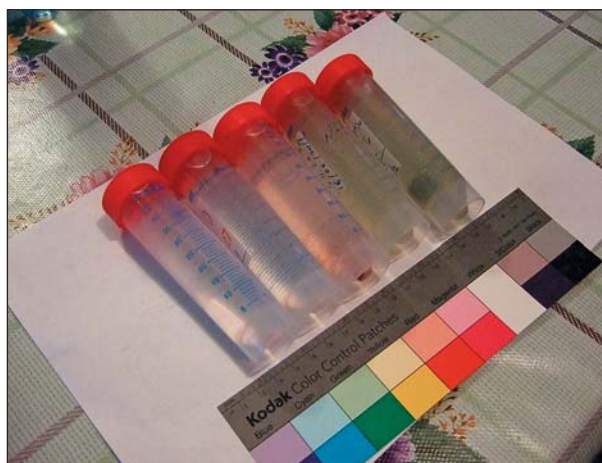
Что в них необычного? В летнее время Кисло-Сладкое озеро состоит из трех слоев: поверхностного опресненного, среднего соленого и соленого придонного с высоким содержанием сероводорода. Удивляет, во-первых, устойчивость расслоения, которой не ожидали от мелкого, всего четырехметровой глубины, водоема. Сложившуюся стратификацию не нарушают ни ветер, ни осеннее охлаждение. Во-вторых, самым теплым из слоев оказался не поверхностный, как это бывает в обычных озерах, а средний слой. Прогревом он обязан черному илу, поглощающему солнечные лучи, и тому, что преобладающие мелководья приходятся именно на этот слой. Из-за «парниковой крыши», роль которой исполняет опресненный верхний слой, тепло аккумулируется. В проведенных позднее гидрохимических исследованиях установили, что в среднем слое также необычайно высоко содержание кислорода. Его так много, что измерить первое время не удавалось: проба воды, едва оказавшись на поверхности, моментально вскипала, будто шампанское, безвозвратно теряя растворенный кислород. Его концентрация в среднем слое Кисло-Сладкого может достигать 200—300% насыщения; это результат «работы» той самой «тины»: слагающие ее водоросли производят кислород в ходе фотосинтеза. Еще одна особенность, отличающая этот водоем от обычных морских заливов, — высокие градиенты: всего на двухметровой глубине температура может падать на 10°, из-за чего возле дна она всегда остается ниже +10°C, даже если лежащий выше слой прогрелся до +25°C. Но самый впечатляющий градиент — электрохимический: средний слой, пересыщенный кислородом, резко граничит с нижним, где очень высоко содержание сероводорода. Между ними всего 5—15 см, а они не только не перемешиваются, но и создают специфическую среду обитания.

С этой зоной связано еще одно «чудо» Кисло-Сладкого озера — узкая прослойка красной воды на границе окисленного и сероводородного слоев. Ее яркий цвет впечатляет, особенно подводников, когда им приходится опускаться за пробами со дна. Подобный слой обнаружен и в озере Могильном, правда, очевидцы называют его розовым. Классик полевой микробиологии Б.Л. Исаченко обнаружил в нем большое количество пурпурных серобактерий *Chromatium* и пришел к вы-

воду, что именно они окрашивают воду. Эти бактерии живут за счет бескислородного фотосинтеза и используют энергию света для окисления сероводорода. Тем самым они выполняют очень важную роль — препятствуют его распространению вверх. 50 лет спустя микробиологи снова исследовали розовую воду из Могильного озера и были удивлены: бактерий этого вида там оказалось очень мало, значит, цвет воды зависит от каких-то других окрашенных форм. В XXI в. эти исследования продолжили сотрудники Института микробиологии РАН. Что цвет придают бактерии, ни у кого сомнений не вызывало. Красный слой, как оказалось, есть во многих стратифицированных водоемах, и всегда возле границы кислородной и бескислородной зон.

Есть он и в модельном меромиктическом оз. Шира в Хакасии, где специально для изучения соленых озер создан научный стационар Института биофизики СО РАН*, и в оз. Шунет, по соседству. Красный слой там очень тонкий — всего 5 см, и создан серобактериями: в зоне контакта окисленного и восстановленного слоев обнаружено массовое развитие пурпурных, а сразу под ними — зеленых серных бактерий [9]. Такие бактерии живут и в Кисло-Сладком, однако есть сомнения, что именно они отвечают за окраску. Осенью 2012 г. мы отобрали пробы красной воды в двух озерах — Кисло-Сладком и на Зеленом мысу — и передали их на кафедру биофизики биологического факультета МГУ, где ее сотрудник Е.П. Лукашов любезно согласился определить спектры поглощения света. У пурпурных бактерий бактериохлорофилл поглощает свет в длинноволновой области — более 800 нм, у зеленых серобактерий — между 700 и 800 нм, а хлорофилл водорослей — от 600 до 700 нм. Поэтому, зная спектр поглощения воды, можно определить,

* http://www.ibp.ru/field_station/index_rus.php



Пробы из разных слоев озера на Зеленом мысу. Слева направо: бесцветные с глубин 1.5 и 3 м, красная с 5 м и зеленые с глубин 5.5 и 6 м.

какая группа фотосинтезирующих организмов в ней преобладает. У спектра поглощения красной воды из пробы с Зеленого мыса оказалось два пика: один соответствовал хлорофиллу водорослей, а второй — бактериохлорофиллу зеленых серобактерий. Высокое содержание пигментов в красных слоях обоих озер подтвердил по интенсивности флуоресценции Д.Н.Маторин. Она оказалась весьма значительной, а полученная им величина относительного выхода переменной флуоресценции — близкой к максимально возможной. Это свидетельствует о том, что фотосинтез в этом слое идет очень эффективно. Значит, за цвет воды отвечают не только бактерии, но и какие-то водоросли. И мы их увидели: под микроскопом мы обнаружили в ней подвижных жгутиконосцев малинового цвета, в капле красной воды их были сотни, а может, и тысячи. Т.А.Белевич, фитопланктонолог с кафедры гидробиологии, определила их как криптофитофлагеллат, вероятно — из рода *Rhodomonas*, а И.А.Милютин из НИИ физико-химической биологии им.А.Н.Белозерского МГУ по последовательности нуклеотидов во фрагменте 18S РНК подтвердила это определение. Кстати сказать, криптонад обнаруживали и в других меромиктических водоемах. Например, в модельных озерах Ширы и Шунет в пикноклине в массе развиваются криптофитовые водоросли из рода *Guillardia*. Оба вида жгутиконосцев для фотосинтеза используют пигмент фикоэритрин, который позволяет им осуществлять фотосинтез на глубине, куда доходит только зеленая часть солнечного спектра. Кроме того, они способны к миксотрофному питанию — усваивают органические вещества из воды и могут поедать бактерий. Неудивительно, что именно эти водоросли развиваются в меромиктических водоемах возле границы сероводородного слоя.

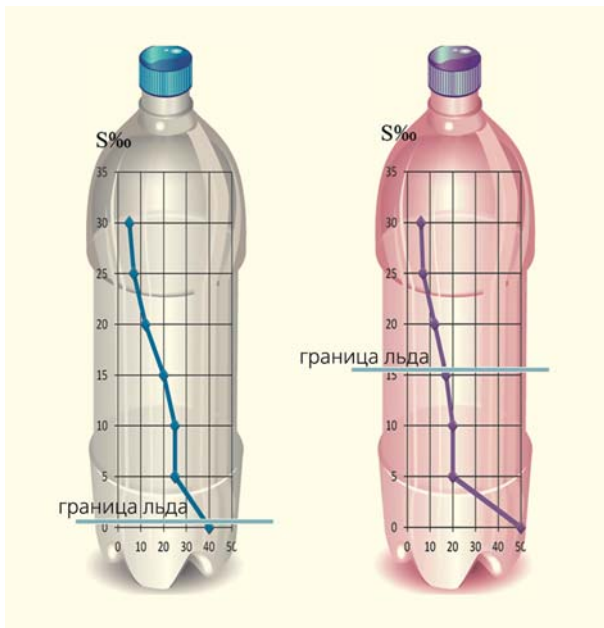
Повышенное содержание растворенных веществ, из-за которого придонные слои меромиктических водоемов обладают повышенной плотностью, бывает обусловлено разными причинами. Соли могут поступать из подстилающих горных пород, из подземных минерализованных источников. Меромиктическим способно стать соленое озеро в степной зоне (таковы озера Ширы и Шунет в Хакасии). Случается, что плотность раствора определена не солями, а органическими веществами, в том числе химическими и бытовыми стоками. И наконец, через меромиктическую стадию проходят прибрежные водоемы при отделении их от моря. Менее плотный верхний слой в них возникает из-за опреснения от осадков, болотной и ручьевой подпитки, а соленый нижний состоит из морской воды. В отличие от эстуариев, где тоже смешивается пресная вода с морской, градиент солености в отделяющихся от моря водоемах направлен не по горизонтали, а по вертикали. Кроме того, их гидрологическая структура может довольно долгое время существовать даже после прекращения связи с морем. Мало того, она

не исчерпывается контактом вод разного происхождения. В таких водоемах нередко возникают слои с совершенно новыми свойствами: с соленостью выше, чем в море; с неожиданно высокой температурой, как в антарктическом озере Ванда; с содержанием кислорода в несколько раз выше насыщения. Появляются также слои ярких цветов — зеленые, желтые, красные.

Все-таки это удивительно: вода, заполнявшая водоем до отделения от моря, была точно такой же, как в море, но по прошествии времени солевой раствор не просто разбавляется или в силу испарения концентрируется, а происходит вертикальное расслоение! И при этом возле дна скапливается рассол такой высокой концентрации, какой сама морская вода не бывает ни в какое время года. Одна из возможных причин этого явления — осолонение воды при образовании льда.

Такую гипотезу высказывали сотрудники Мурманской биостанции Е.М.Крепс и П.В.Ушаков. Ведь соленость льда гораздо меньше, чем морской воды, из которой он образовался. Кристаллизуется только вода, а соль концентрируется в ячейках между кристаллами в виде крепкого рассола. По мере нарастания льда рассол стекает вниз, а лед частично сублимируется, и концентрация солевого раствора возрастает. Л.А.Зенкевич, будущий академик, тоже заинтригованный этим феноменом, предложил другое объяснение. По его мнению, концентрирование раствора может происходить и летом: капельки воды, которые ветер срывает с поверхности волн, высыхают на лету и падают на берег в более концентрированном виде или даже кристаллами [10]. Зимой кристаллы соли, называемые «солевыми цветами», образуются в результате вымораживания морской воды, поступающей на поверхность льда через приливные трещины. Бродя на лыжах возле нашей биостанции, мы тоже сталкиваемся с этим явлением: соленая пыль делает лед подобным наждачной бумаге.

Мы решили проверить, возникает ли расслоение при замораживании морской воды, и во время зимней экспедиции на Белое море поручили поставить несколько экспериментов старшекласснице из биологического класса школы №192 Ане Вороновой. Заполнив пластиковые бутылки морской водой, она выставляла их на мороз, а потом давала льду оттаять и измеряла соленость на разных уровнях. Как и ожидалось, вода расслоилась: верхняя часть, которая превратилась в лед, оказалась опресненной, а ниже уровня замерзания концентрация морской соли повысилась. Две недели, что мы провели на биостанции, расслоение сохранялось. Но главное — и это стало неожиданным — слоев в сосуде образовалось не два, а три. Возле самого дна бутылей с размороженной водой Аня обнаружила тонкий слой с крепким рассолом, в два и более раз концентрированнее исходной морской воды. Как мы поняли, этот рассол образовался в порах льда, но в силу высокой плот-



Результаты экспериментального расслоения морской воды при замораживании с разной глубиной промерзания. Под границей льда, независимо от ее глубины, после его оттаивания соленость воды была выше, чем у поверхности, и в обоих случаях на дне возник тонкий слой концентрированного рассола.

ности не перемешался с окружающей водой по пути на дно, а скопился в виде тонкого пересоленного слоя. Падал ли рассол каплями, словно подводный дождь, или стекал по стенкам сосуда, еще предстоит выяснить. Нечто подобное было обнаружено в Антарктике и снято операторами BBC: в толстом антарктическом льду, где образуется много концентрированного переохлажденного рассола, он может изливаться на дно мощной подводной струей. Самое впечатляющее — это последствие мгновенного фазового перехода при соприкосновении струи с чем-нибудь твердым: все, к чему она прикоснется на своем пути (к грунту, например, морским звездам), мгновенно леденеет. Струю переохлажденного рассола назвали «пальцем смерти» («Brinicle» ice finger of the Death). В Белом море их пока не находили, но, как показали опыты Ани, по крайней мере дождь из крутого рассола вполне возможен, и он может быть одной из причин возникновения придонного слоя с повышенной соленостью в отделяющихся от моря водоемах.

На пути от моря к суше

Пока мы знали об одном только Кисло-Сладком озере, оно казалось нам уникальным, но когда было обнаружено второе — на Зеленом мысу, — стало понятно, что это явление закономерное. После

внимательного изучения карты побережья в окрестностях биостанции было найдено еще два. Одно из них — оз.Еловое, что недалеко от о.Костьян, излюбленного места экскурсий. Второе — безымянное озеро в Пеккелинской губе, которое мы назвали Трехцветным за три по-разному окрашенных слоя: поверхностный бурый (от гуминовых веществ), средний изумрудно-зеленый и нижний лимонно-желтый. Трехцветное озеро преподнесло сюрприз: оказалось, что соленый меромиктический водоем может маскироваться под обычный пресноводный. Глядя на его поверхность с беззаботно скачущими водомерками, на улиток прудовиков под водой и на береговую сплаvinу из сабельника, ни за что не догадаешься, что под двумя метрами пресной воды лежит еще шесть метров соленой. После этого внимательнее пригляделись к другим пресным прибрежным водоемам — и не ошиблись: проточное Нижнее Ершовское озеро, мимо которого каждую неделю проходят группы экскурсантов, тоже оказалось с соленой «начинкой».

В ближайших окрестностях Беломорской биостанции найдено пять водоемов со слоистой гидрологической структурой. А как в других местах? Летом 2010 г. Всемирный фонд дикой природы спонсировал морскую экспедицию вдоль Карельского побережья Белого моря для обследования побережья под будущий Северо-Карельский природный парк. Спортивная яхта «Белая ночь» Чупинского морского яхтклуба с тремя школьниками-матросами и научной группой из трех человек на борту отправилась на поиски новых соленых озер. Капитан яхты, руководитель яхтклуба Ю.Н.Рыбаков, хорошо зная местность, отметил на карте два десятка лагун и озер, которые, по его мнению, могли оказаться подходящими. Перспек-



Три слоя воды в оз.Трехцветном, давно вышедшем из-под влияния приливов и отливов. Слева направо: поверхностный, желтоватый от гуминовых веществ; зеленый из среднего слоя и мутно-желтый — глубинный. Зеленый и желтый цвета обусловлены, вероятно, обитающими в них бактериями.



Озера Кисло-Сладкое и на о.Тониоар (сверху вниз). Сходство панорам этих отделяющихся водоемов выдает общность происхождения из заливов, у каждого на входе — небольшой остров.

тива вдохновляла. За две недели путешествий и приключений, без которых на море не обходится, мы действительно нашли несколько соленых озер и существенно расширили свои представления о разнообразии отделяющихся водоемов. Три из них мы нашли возле Сонострова: это губа Глубокая, оз.Мероламина и оз.Вонючка (на о.Тониоар) и один в Чупинской губе (залив Вонючка). В каждом были проведены гидрологические измерения, отобраны пробы зоопланктона и мейобентоса. Материалы, собранные в этом рейсе, вошли в дипломную работу студентки кафедры зоологии беспозвоночных Т.А.Рогатых. Успех окрыляет, и, вернувшись из рейса, мы продолжили поиски таких озер. С помощью школьной биостанции в с.Ковда мы обследовали Большие Хрусломены —

частично изолированный от моря водоем на о.Оленьем. Об этом озере в своем отчете писал основатель одного из первых беломорских биологических стационаров (и тоже в Ковде), профессор Дерптского университета К.К.Сент-Илер. Подобные водоемы найдены и в Кандалакшском заповеднике.

Важный результат этого рекогносцировочного исследования таков: во всех отделяющихся водоемах, независимо от стадии отделения, мейобентос и зоопланктон представлены морскими формами. Даже при крайне низкой солёности и тот и другой были обедненными, но морскими. Другое открытие — ландшафтное сходство. Подбирая фотографии для отчетной презентации, Е.Д.Краснова, один из авторов этой статьи, по ошибке по-



Здесь и далее фото Е.Д.Красновой, Д.А.Воронова, И.Соловья

меняла местами панорамы двух озер, а когда заметила свой промах, осознала: эти снимки — словно близнецы! У каждой губы на выходе к морю есть остров, «приросший» к одному или двум ее берегам, и мелкий порог, преграждающий дорогу приливам. Видимо, и механизм отделения от моря одинаков. Только стадии изоляции разные. В одних еще в полную силу царствуют приливы, в других они ослаблены приподнявшимся порогом. В третьих порог уже поднялся выше уровня моря, и обмен водой между озером и морем происходит только за счет фильтрации через каменистый порог. А четвертые давно позабыли о приливах и хранят в своих недрах реликтовую соленую воду, захваченную сотни лет назад, до отделения от моря. Возле поверхности вода может быть прес-

ной, чуть солоноватой (1—4‰), что делает присутствие морской соли заметным на вкус, и даже «пересоленной» — с концентрацией выше, чем в море. В каждом из этих озер нижняя соленая водная масса оказалась зоной климатической стабильности, где почти не меняется ни соленость, ни температура. Влияние атмосферы с ее сменой сезонов ограничивается верхними тремя метрами, а глубже — и теплым летом, и морозной зимой — всегда около +5°C, и на соленость не влияют ни летняя засуха, ни весеннее половодье.

Каждый водоем — индивидуальность, а все вместе они выстраиваются в гомологический ряд, в котором можно, не тратя столетий, проследить эволюцию гидрологической и экологической систем, от морских к пресноводным.



Еремеевская губа. Пока она не изолирована от моря, но по прошествии времени, по-видимому, отделится.

Ведь в морских заливах живут морские виды, из которых далеко не все способны переносить опреснение, даже временное. Обитатели же континентальных водоемов нуждаются в пресной воде, и соленая для них смертельна. В каждой экосистеме — и морской, и пресноводной — есть все необходимые звенья пищевой сети: производители первичной продукции, ее потребители, хищники и деструкторы. В процессе отделения водоема от моря виды, исполняющие эти роли, сменяются на другие. Как, в какой последовательности? Постепенно или через катастрофические события? Последовательная и закономерная смена одного сообщества другим на определенном участке среды во времени называется сукцессией. Примеры экологических сукцессий — зарастание пресного водоема и образование на его месте сначала болота, а потом сухопутного сообщества; заселение растениями застывшей лавы после извержения вулкана; восстановление леса после пожара или вырубки. Зная стадии сукцессии, можно прогнозировать события. Для отделяющихся за-

ливов это особенно важно. Если подъем морского дна не прекратится, а пока до этого очень далеко, все нынешние заливы рано или поздно окажутся на суше. Перед этим они будут проходить через закономерные стадии сукцессии, и людям, чья жизнь связана с побережьем, придется с этим считаться. Экологический прогноз необходим в случаях, когда люди отделяют часть акватории искусственно. Да и само Белое море с его узким мелководным горлом тоже представляет собой водоем, постепенно отделяющийся от Баренцева, и ход событий, хотя и в более крупном масштабе, возможно, будет таким же.

Несмотря на повышение интереса к беломорским отделяющимся водоемам, их изучение находится еще в самом начале. Беломорская биостанция в качестве постоянной полевой базы и возможности современных приборов могут обеспечить исследования целого ряда водоемов, находящихся на разных стадиях отделения от моря. Тогда и появятся результаты, по которым можно будет судить обо всех этапах эволюции водоема. ■

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 12-04-10056-к.

Литература

1. Дерюгин К.М. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцевом море). Л., 1925.
2. Гуревич В.И. Реликтовое озеро Могильное. Л., 1975.
3. Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997—2000 гг.). Мурманск, 2002.
4. Стрелков П.П., Фокин М.В., Шунатова Н.Н. и др. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцевом море): 80 лет после Дерюгина // Чтения памяти К.М.Дерюгина. СПб, 2005. С.44—59.
5. Крепс Е.М. Гидрологический очерк Черной губы на Новой Земле и реликтовых озер, к ней примыкающих // Исследования морей СССР. Л., 1927. Вып.5. С.10—80.
6. Нинбург Е.А. Долгая губа: изоляция естественная и искусственная // Природа. 1990. №7. С.44—49.
7. Марфенин Н.Н., Малютин О.И., Пантюлин А.Н. и др. // Влияние приливных электростанций на окружающую среду. М., 1995.
8. Шапоренко С.И. Кисло-сладкие озера у полярного круга // Природа. 2004. №11. С.23—30.
9. Лунина О.Н., Брянцева И.А., Акимов В.Н. и др. Сообщество аноксигенных фототрофных бактерий озера Ши́ра (Хакассия) // Микробиология. 2007. Т.76. №4. С.533—544.
10. Зенкевич Л.А. К режиму осолоненных береговых озер Южного острова Новой Земли // Русский гидробиологический журн. 1928. Т.7. №8/9. С.183—187.

О саккоглоссусе, зоологах и перевернутых хордовых

О.В.Ежова,

кандидат биологических наук,

научный сотрудник кафедры зоологии беспозвоночных им. М.В. Ломоносова

В.В.Малахов, член-корреспондент РАН,

заведующий той же кафедрой, руководитель лаборатории биологии морских беспозвоночных Дальневосточного федерального университета

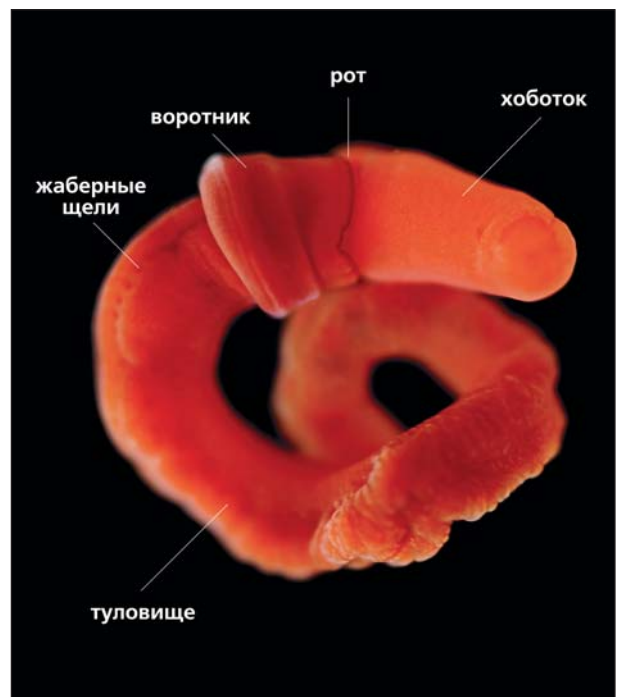
В начале 1880-х годов профессор Императорского Санкт-Петербургского университета Н.П.Вагнер, работая на основанной им Соловецкой биологической станции, исследовал фауну Белого моря и обнаружил небольших червеобразных животных ярко-оранжевого цвета, источающих слабый аптечный запах. Вагнер описал этих животных как новый вид — баляногloss Мерезжковского (*Balanoglossus mereschkowskii*), назвав его в честь К.С.Мерезжковского — выдающегося российского биолога, антрополога и философа, участвовавшего вместе с Вагнером в Беломорской экспедиции 1876 г. [1, 2]. Позднее один из его учеников — известный зоолог В.М.Шимкевич — ввел в науку новый род *Saccoglossus*, в состав которого и был перенесен описанный Вагнером вид. Таким образом, современное имя героя нашей статьи — саккоглоссус Мерезжковского (*S.mereschkowskii*) — хранит память о трех выдающихся личностях российской науки.

Чем же привлек внимание зоологов этот вроде бы непримечательный червячок?

Загадки полухордовых

Кишечнодышащие относятся к типу полухордовых (Hemichordata) — одной из самых загадочных и горячо обсуждаемых групп многоклеточных животных. Связана такая популярность с тем, что еще в конце XIX в., когда открывали первых представителей этого типа, в их строении была обнаружена опорная структура, сильно напоминавшая зоологам хорду. Этот орган — один из самых главных отличительных признаков типа хордовых (Chordata), к которым принадлежат все высшие позвоночные животные, в том числе и человек. Шутка ли — обнаружить живую промежуточную ступень между беспозвоночными и позвоночными?!

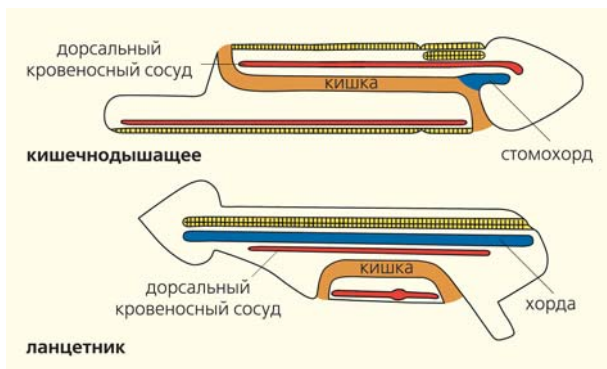
Таинственную структуру полухордовых сочли гомологом опорной струны низших хордовых — нотохорда (от греч. νωτον — спина и χορδη —



Беломорский кишечнодышащий — саккоглоссус Мерезжковского.

Фото А.А.Семенова

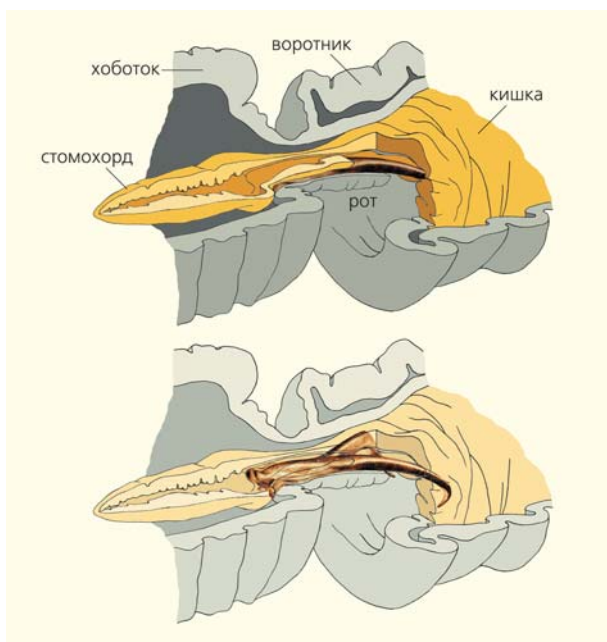
струна). И все же это была не совсем хорда: у настоящих хордовых она располагается над кишкой и кровеносным сосудом, а у полухордовых эта структура находится между ними, да и, по мнению И.В.Шпенгеля и других зоологов [3], больше похожа на преоральный вырост (дивертикул) передней части кишки. А.Виллей предложил именовать его стомохордом (от греч. ζτομα — отверстие, рот и χορδη) [4]. Это название до сих пор широко используется в научной и учебной литературе, хотя Л.Г.Хайман считала, что правильнее было бы использовать термин не «стомохорд», а «буккальный дивертикул», поскольку корень «хорд» подразумевает некую твердую структуру, каковым этот вырост не является [5].



Расположение опорных структур относительно кровеносных сосудов и кишечной трубки у полухордовых (кишечнодышащего) и хордовых (ланцетника).

В середине XX в. высказывались предположения, что стомохорд — это гомолог аденогипофиза или нервной трубки позвоночных, но Г.Э.Невелл предложил считать преоральный вырост кишечника уникальной структурой полухордовых, которая в ходе эволюции больше не возникала ни в одной группе животных [6].

Страсти вроде бы улеглись, однако вскоре зоологи обратили внимание на еще одну структуру некоторых полухордовых, связывающую их с хордовыми, — укрепленные хрящеподобными перегородками жаберные щели. Открыл их еще в 1866 г. А.О.Ковалевский у баяноглосса (*B. clavigerus*), относящегося к полухордовым. Ведут эти щели непосредственно в кишечную трубку, поэтому К.Гегенбаур в 1870 г. предложил назвать таких



Опорные структуры хоботка саккоглоссуса: стомохорд и укрепляющая хрящеподобная «вилочка» (внизу, темная).

животных Enteropneusta (от греч. *εντερο* — кишка и *πνευμονας* — легкое), или кишечнодышащими.

Вопросы родства Enteropneusta и Chordata и того, какие органы одних гомологичны органам других, до сих пор вызывают живой интерес зоологов. Как же в целом организованы кишечнодышащие животные?

Крохотная живая система прокачки воды

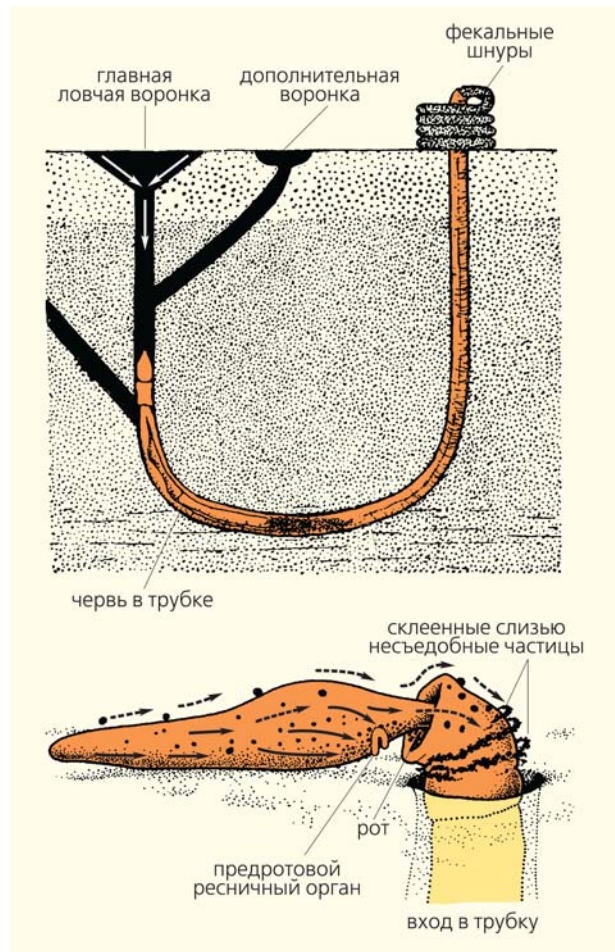
Все кишечнодышащие — это червеобразные организмы, тело которых густо покрыто ресничками и состоит из трех отделов, соответствующих отделам целома (от греч. *κοιλωμα* — углубление, полость): мускулистого, плотного хоботка (протоцеля), короткого воротника (мезоцеля) и длинного, мягкого туловища (метацеля). В передней части туловища, слева и справа, располагается по одному ряду жаберных щелей, которых может быть от нескольких штук до двухсот и более.

Обитают эти животные в морях, в донных субстратах, роют там оформленные норки или просто закапываются в грунт и питаются органическими осадками. Сидя в норке, они либо ждут, когда туда нападает осадок, содержащий питательные вещества, либо высовывают хоботок и собирают вокруг детрит, который склеивают слизью в своеобразные шнуры и направляют ко рту с помощью многочисленных ресничек, покрывающих хоботок.

Рот кишечнодышащих — простая щель на брюшной (вентральной) стороне тела между хоботком и воротником — ведет в глотку, которая продолжается в кишку, уходящую в туловище и заканчивающуюся анальным отверстием. Э.В.Найт-Джонс предполагал, что рот открывается благодаря радиальным мышцам, а закрывается с помощью сфинктера [7]. На самом деле все гораздо проще: рот открыт, когда мышцы хоботка расслаблены, и закрывается, когда они сокращаются и хоботок прижимается к воротнику.

В самой передней части туловища, сразу за воротником, находятся щели, открывающиеся в кишку. Расположены они между жаберными перегородками, которые напоминают два ряда зубьев расчески, обращенных друг к другу и вставленных один в другой. Каждая перегородка состоит из скелетного элемента (утолщения коллагенсодержащего вещества между базальными пластинками эпителия) и сидящих на нем эпителиальных клеток, снабженных многочисленными жгутиками. Иными словами, жаберные перегородки — это просто пальчатовидные выросты пищеварительного эпителия кишки (гастродермиса).

Лакуны между базальными пластинками эпителия заполнены кровью. Попавшая в рот вода прогоняется через жаберные щели, обогащая кровь кислородом, а заодно забирая и унося выделенные из крови продукты обмена. Транспорт кислорода из воды в кровь и вывод продуктов обмена из



Фотографии среды обитания *S. mereschkowskii* (слева сверху видны его норки в песчаном грунте Белого моря, внизу — вынутое из норки животное и фекальные шнуры; фото А.Э.Жадан) и схема питания кишечнодышащих (справа сверху — *Balanoglossus clavigerus* [5], внизу — *Saccoglossus* sp. [8]). Сплошными стрелками показан путь съедобных частиц, прерывистыми — несъедобных.

крови в воду происходит через своеобразный фильтр — базальную пластинку эпителия. Таким образом, жабры кишечнодышащих выполняют не только дыхательную, но и выделительную функцию. Однако главный выделительный орган этих животных — гломерулюс, который представлен густой сетью кровеносных сосудов, толстым валом окружающей стомохорд. Кровь в сосуды поступает из сердца, лежащего на спинной (дорсальной) стороне стомохорда. По сути, сердце кишечнодышащих — это продолжение спинного кровеносного сосуда, который проходит «дорсальнее» стомохорда, а это означает, что стомохорд полухордовых не гомологичен хорде.

Напомним, кровеносные сосуды — это лакуны между двумя базальными пластинками соседних эпителиев, а сердце — крупная лакуна между гастро-дермисом стомохорда и целотелием перикарда. Сосуды гломерулюса залегают в складках между целотелием перикарда и эпителием, выстилающим целом хоботка. Базальные пластинки, между кото-

рыми проходит кровеносная сеть гломерулюса, усажены специализированными клетками — подоцитами. Это тоже жгутиковые эпителиальные клетки, но у них есть специфическая особенность — многочисленные базальные отростки, переплетающиеся между собой и оплетающие кровеносные сосуды. Жидкость из кровеносных сосудов гломерулюса продавливается через базальные пластинки, преобразуясь в так называемую первичную мочу, которая затем проходит в узких промежутках между отростками подоцитов. В это время происходит обратное всасывание — вещества, просочившиеся через базальные пластинки, но необходимые организму, возвращаются в клетки гломерулюса. В итоге в хоботковый целом попадает обедненная жидкость. Остатки полезных веществ всасываются мышечными клетками хоботка, и получающаяся вторичная моча выводится из организма через отверстие хоботкового целомодукта.

Целомодукт (от греч. κοιλωμα и лат. ductus — отвод, канал) хоботка, выполняющий выделительную функцию, не образует никакого извитого ка-

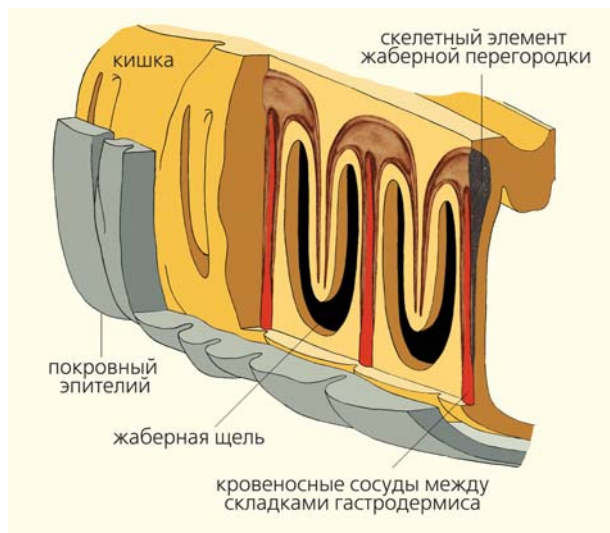


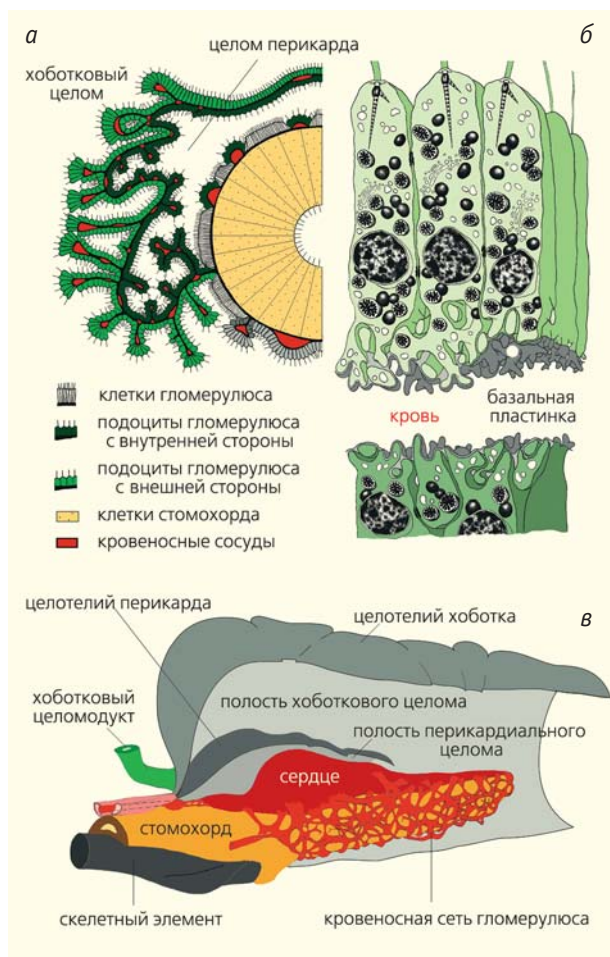
Схема строения стенки тела саккоглоссуса с жаберными щелями и жаберными перегородками.

нальца, как у других животных — кольчатых червей, моллюсков, ракообразных и т.д. У большинства кишечнодышащих это — очень короткая трубочка, открывающаяся из хоботкового целома во внешнюю среду. Такое строение подтверждает, что всасывание веществ из первичной мочи происходит не в целомодукте, а раньше — в хоботковом целоме и в подоцитах гломерулюса.

Таким образом, кишечнодышащие существуют благодаря простому прокачиванию морской воды через свой организм.

Почти без чувств

Все тело кишечнодышащих животных покрыто однослойным столбчатым ресничным эпителием, причем гуще всего реснички расположены на вентральной стороне хоботка непосредственно перед ртом — в области поперечного желобка. Возможно, сам желобок или его густые реснички слу-



Гломерулюс и выделительный аппарат саккоглоссуса: а — схема поперечного среза через гломерулюс; б — подоциты; в — схема устройства выделительного аппарата в хоботке [9].

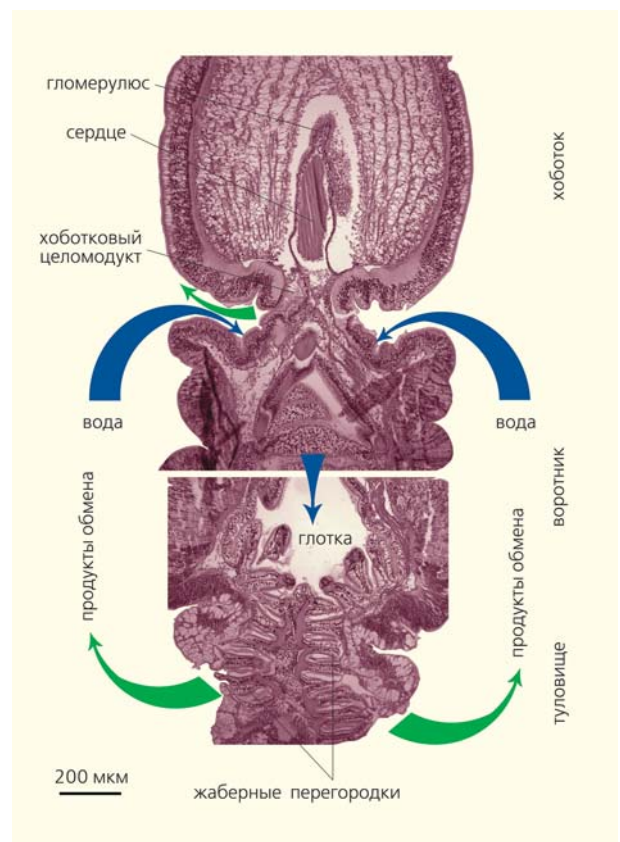


Схема прокачивания воды и вывода продуктов обмена веществ через организм саккоглоссуса. Вода, обогащенная собранным детритом, поступает в рот и глотку, при этом оставляет органические вещества в кишечной трубке, выходит наружу через жаберные щели туловища, отдавая в кровь кислород и забирая продукты обмена. Излишки жидкости из крови выводятся гломерулюсом в хоботковый целомодукт и выбрасываются наружу через хоботковый целомодукт.

жат для хеморецепции [5]. В любом случае это единственное образование, считающееся органом чувства, и больше никаких других нет!

Зато непосредственно между базальными участками столбчатых клеток эпителия залегает мощное сплетение нервных волокон, в некоторых областях достигающее половины толщины всего эпидермиса. Животное целиком заключено в толстый чехол из нервных волокон (плексус), прикрытый сверху клетками покровного эпителия, и, похоже, ни в каких органах чувств не нуждается!

Слабое нервное сплетение присутствует и в базальной части гастродермиса. В коротком воротнике кишечнодышащих расположено единственное нервное образование, не относящееся к «внутрикожному» (интраэпидермальное) нервному сплетению, — нервная трубка. Она даже считалась гомологом нервной трубки хордовых. Можно предположить, что воротниковая нервная трубка координирует деятельность мускулистого хоботка

(отвечающего за сбор пищи), сердца и гломерулюса (центральных органов кровообращения и выделения), хоботкового целомодукта (выводящего из организма избытки жидкости) и ресничного органа (единственного органа чувств), а также жаберных щелей (органов дыхания).

Эпителиальный сверток

В просвете нервной трубки есть жгутики, доказывающие, что это — эпителиальное образование. Покровные ткани и кишечная трубка также сформированы однослойным столбчатым ресничным эпителием, как и направленный в хоботок вырост кишечника — стомохорд.

Между кишечной трубкой и покровным эпителием (тоже образующим своеобразную трубку, поскольку животное — червеобразное) находятся целомические полости, также выстланные однослойным жгутиковым эпителием. В хоботке это непарный протоцель, а в воротнике и туловище, соответственно, — парные мезоцели и метацели. Имеется еще одна целомическая полость — перикардиальный целом, который тоже располагается в хоботке и покрывает сердце. Также традиционно выделяют парные перигемальные целомы в воротнике, но это — просто передние выросты метацелей.

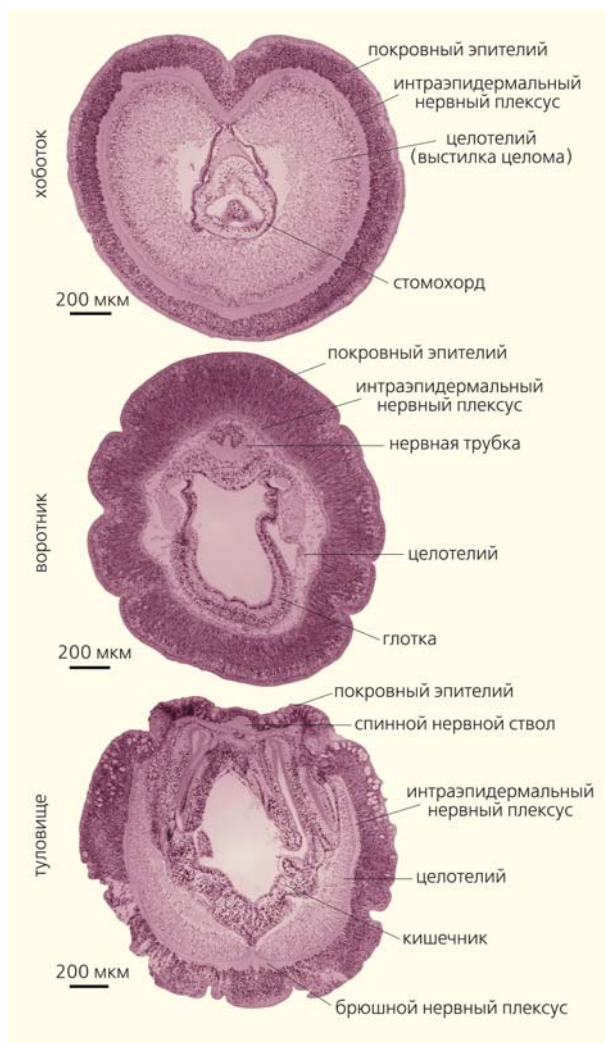
Выстилка всех целомов — туловищного, воротникового, хоботкового и перикардиального — и их целоמוдуктов представляет собой все тот же однослойный жгутиковый эпителий, образованный эпителиально-мышечными клетками.

Мощная мускулатура кишечнодышащих, позволяющая им рыть норки в донном грунте, состоит из очень вытянутых клеток, мышечные волокна в которых занимают большую часть объема [9]. Но на апикальных концах этих клеток есть жгутики! А сами клетки в один слой сидят на базальной пластинке, т.е. мускулатура этих удивительных в своей простоте животных также «сделана» из однослойного столбчатого жгутикового эпителия!

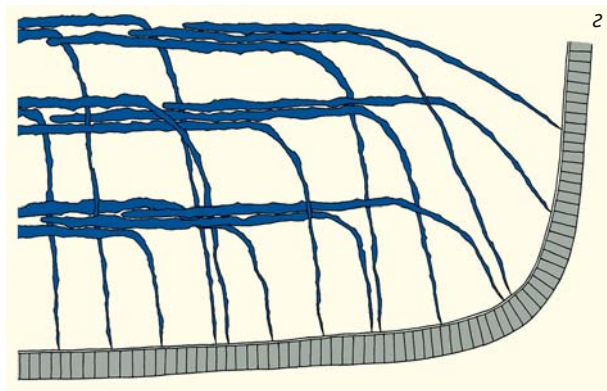
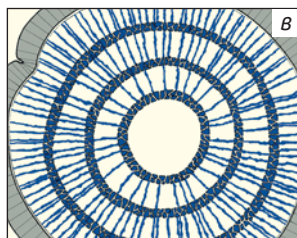
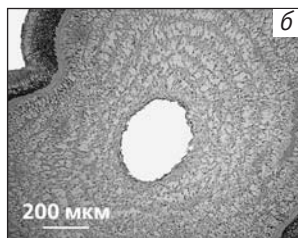
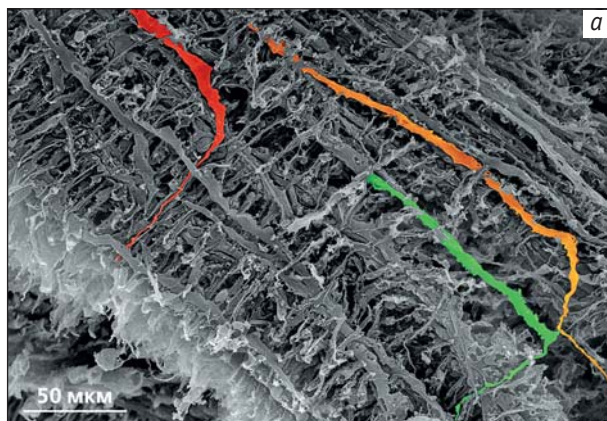
Разные ученые находили у кишечнодышащих продольные и радиальные мышцы; и они действительно есть, только образованы клетками одного и того же однослойного эпителия! Просто сначала такая клетка располагается радиально, потом изгибается и продолжается уже продольно. Мышечные клетки связаны между собой специализированными контактами и функционируют благодаря этому как единая сеть.

Гломерулюс, жаберный аппарат и прочие органы кишечнодышащих также состоят из складок однослойного ресничного эпителия.

Напомним, что хрящевые образования (вилочка, укрепляющая стомохорд) и скелетные элементы жаберных щелей представлены утолщениями базальных пластинок и коллагенсодержащего основного вещества между ними — матрикса. Крове-



Поперечные срезы разных отделов тела саккоглоссуса.



Строение мускулатуры хоботка саккоглоссуса. Показаны мышцы хоботка (а; отдельные клетки выделены цветом), поперечный срез через хоботок (б), схема этого среза (в), а также схема строения мышечного эпителия (г). Серым выделен покровный эпителий, синим — мышечные клетки.

носные структуры — это заполненные кровью пространства в толще матрикса между двумя базальными пластинками соседних эпителиев: дорсальный и вентральный сосуды залегают в матриксе спинного и брюшного мезентериев. Сердце — лакуна между эпителием стомохорда и целотелием перикардиального целома. Кровеносная сеть гломерулуса — это сеть сосудов в основном веществе между базальными пластинками перикардиального и хоботкового целотелиев. Все остальные кровеносные сосуды, включая капилляры, устроены таким же образом. Более того, у кишечнодышащих кровь обнаруживается в любых участках матрикса. т.е. весь слой основного вещества между базальными пластинками эпителиев как бы пропитан кровью.

В эпидермисе и гастродермисе, как мы уже отмечали, залегает интраэпидермальное нервное сплетение. От целотелиев, образующих внутренние органы и мускулатуру кишечнодышащих, это нервное сплетение отделяется только базальными пластинками эпителиев и слоем матрикса между ними. Медиатор, скорее всего, выделяется через базальную пластинку прямо в матрикс — и в пропитывающую его кровь. И таким образом осуществляется регуляция деятельности мускулатуры и внутренних органов.

Получается, что весь организм кишечнодышащих образован только однослойным эпителием и межэпителиальным основным веществом. А все животное — это просто сверток эпителиев, зарывшийся в норку и прогоняющий через себя морскую воду! В самом деле: эпителий кишечной трубки завернут в целотелий, а этот слой, в свою очередь, завернут в интраэпидермальное нервное сплетение и в покровный эпителий.

Что же может получиться из такого свертка, если принять во внимание гипотезу перевернутости хордовых животных?

Полухордовые и хордовые

Еще в 1830 г. французский сравнительный анатом Э.Ж.Сент-Илер отстаивал единство плана строения всех животных, предлагая рассматривать членистоногих как перевернутых на спину позвоночных. Его оппонентом был знаменитый Ж.Кювье, которому французские академики и присудили победу в этом споре. И до середины XIX в., до открытия зародышевых листков и работ Ковалевского по сравнительной эмбриологии, большинство зоологов полагало, что позвоночные и беспозвоночные — две совершенно не связанные между собой группы животных. Однако это убеждение рухнуло, и перед исследователями встала задача выяснить путь эволюции, приведший от беспозвоночных животных к позвоночным.

Ковалевский с этой целью исследовал ланцетника, асцидию и баяноглосса. Ланцетник — наиболее примитивное хордовое животное. Организм, подобный ему, скорее всего, был предком всех позвоночных, но это не был мост между беспозвоночными и хордовыми. Это был просто первый шаг, последовавший за преодолением этого моста. Взрослые представители типа оболочников (Tunicata), к которому относятся асцидии, лишены хорды, но Ковалевский обнаружил хорду в организме плавающей личинки асцидии. Кроме того, у одной группы Tunicata — аппендикулярий — хорда сохраняется на всю жизнь. Это животное тоже не может быть столь старательно отыскиваемым звеном между беспозвоночными и позвоночными. Остается баяноглосс. Однако его личинка, как показал Мечников, близка к иглокожим, которые совсем не похожи на хордовых!

Истина прощупывалась где-то среди этих интуитивно выбранных Ковалевским животных, но не обнаруживалась. В начале XX в. зоологи вернулись к гипотезе происхождения хордовых от кишечнодышащих. Их жаберные щели и стомохорд сочли гомологами жаберных щелей и хорды Chordata. Однако между кишечнодышащими и хордовыми существует ряд резких различий. У *Enteropneusta* кровь по спинному сосуду движется вперед, а по брюшному — назад, сердце располагается на спинной стороне, левый протоцель (хоботковый целом) больше правого протоцеля (перикардиального целома), тогда как у Chordata все наоборот!

В 1865-м — в том же году, когда Ковалевский познакомился с Мечниковым, — другой российский зоолог, Вагнер, открыл феномен педогенеза — размножения насекомых на стадии личинки. Позднее оказалось, что таким образом способны размножаться и другие животные, и это явление получило название неотении. Ученик Вагнера, Мережковский, впервые указал на эволюционное значение неотении. После этого зоологи вспомнили о личинках асцидий, и появились неотенические гипотезы, выводящие хордовых из этих личинок. Правда, если принять эту точку зрения, то остается неясным, откуда же появились сами асцидии. Да и трудно представить, чтобы хорда возникла у живущих один-два дня и не питающихся личинок. Скорее всего, такие личинки — это наследие свободноживущих предков сидячих асцидий.

Таким образом, ни одна из приведенных гипотез не могла считаться истинной. Идея перевернутости к этому времени была совсем отставлена и упоминалась только в сочинениях по истории биологии — для иллюстрации дискуссий, которые велись на раннем этапе развития сравнительной анатомии. В последующие десятилетия XX в. стала очевидной принадлежность хордовых к вторичноротым, выяснились их фундаментальные эмбриологические различия с первичноротыми членистоногими и кольчатыми червями, от которых когда-то выводили хордовых сторонники перевернутости А.Дорн (1876), В.Х.Гаскелл [10] и У.Паттен [11]. Хордовых снова стали сближать с иглокожими и полухордовыми, т.е. с другими вторичноротыми. В большинстве руководств, по которым учились студенты во всех странах в XX в., хордовых выводили от полухордовых, в частности от кишечнодышащих. Их стомохорд, жаберные щели и нервная трубка в воротниковом отделе обсуждались как гомологи хорды, жаберных щелей и спинной нервной трубки хордовых.

Но план строения низших хордовых существенно отличается от плана строения других вторичноротых. Мы уже упоминали об анатомических различиях кишечнодышащих и хордовых. К ним добавились эмбриологические различия. Если суммировать их, то получится, что у хордовых:

— правый протоцель больше левого (у остальных вторичноротых — наоборот);

— отверстия целомов открываются на брюшной стороне, а не на спинной;

— кровь по брюшной стороне течет вперед, а по спинной — назад;

— сердце располагается на брюшной стороне, а не на спинной;

— бластопор (та область эмбриона, где впячивается энтодерма и формируется первичный кишечник) соответствует спинной стороне, а не брюшной;

— нервная пластинка, закладывающаяся по месту замыкания бластопора, превращается в спинную нервную трубку, а не в брюшную нервную тяж.

Эти шесть отличий, по которым хордовые отличаются не только от вторичноротых, но и от большинства других билатерально-симметричных животных, были отмечены в 1977 г. одним из авторов настоящей статьи [12], который пришел к выводу, что хордовые — это перевернутые животные и их спинная сторона гомологична брюшной стороне других многоклеточных. Действительно, если признать, что в эволюции хордовых произошла инверсия сторон тела и они перевернуты по отношению ко всем остальным билатерально-симметричным животным, все перечисленные выше отличия исчезают.

Сама по себе эта инверсия — сравнительно-анатомический факт, вытекающий из сопоставления плана строения хордовых и других групп вторичноротых. В то же время конкретные причины такого переворота установить трудно. Он мог совершиться при переходе от улавливания с помощью щупалец взвешенных в толще воды частиц (как это делают современные крыложаберные, ближайшие родственники кишечнодышащих) к сбору частиц из поверхностного слоя грунта (как это делают современные ланцетники).

По-видимому, переворот произошел уже внутри Chordata, поскольку между личинками оболочников (*Tunicata*), с одной стороны, и бесчерепными (*Acrania*) и позвоночными (*Vertebrata*), с другой, существует одно важное различие. У личинок асцидий, которые относятся к оболочникам, рот располагается на той же стороне, что и нервная трубка, т.е. на исходно брюшной стороне. У *Acrania* по мере их индивидуального развития он перемещается с морфологически брюшной на морфологически спинную сторону. Рот *Vertebrata* изначально закладывается на морфологически спинной стороне. Таким образом, личинки асцидий по своему строению более примитивны, чем остальные хордовые, и отражают организацию подвижных предков хордовых до их переворота. Положение рта бесчерепных и позвоночных, который располагается на противоположной (морфологически спинной) стороне тела, не может быть первичным и возникло уже после переворота. Удивительно, но в индивидуальном развитии бесчерепных сохранились следы постепенного перемещения рта

со спинной стороны на брюшную по левой стороне. А один из представителей бесчерепных — *Assymetron* — так и остался на стадии, когда рот располагается на левой стороне тела. Все это отголоски постепенного перемещения рта со старой, морфологически брюшной, стороны на новую, физиологически брюшную [13].

Таким образом, хордовые представляют собой вторичноротых животных, которые на определенном этапе эволюции перевернулись (это, вероятно, был не одномоментный, а постепенный процесс) и перешли к ползанию на спинной стороне, которая и стала у *Acrania* и *Vertebrata* брюшной.

Современная версия концепции инверсии сторон тела хордовых, изложенная в нескольких публикациях в русскоязычной научной печати в 1970-1980-е годы (в том числе и на страницах журнала «Природа»*), осталась малоизвестной за рубежом, а на родине подвергалась резкой критике и замалчиванию. Тем не менее в середине 1990-х годов начался период возрождения кон-

* Подробнее см.: Малахов В.В. Новый взгляд на происхождение хордовых // Природа. 1982. №5. С.12—19.

цепции перевернутости хордовых. Исследования гомеобоксных генов выявили удивительную картину их активности: в развитии беспозвоночных они экспрессируются на брюшной стороне, а в развитии хордовых — на спинной стороне. Эти результаты породили большую серию публикаций, в которых хордовые стали рассматриваться как вторичноротые, испытывавшие переворот с брюшной стороны на спинную, при этом практически без изменений повторялись аргументы, которые приводились в статьях, опубликованных в российских журналах в 1970-х годах (хотя, как правило, без ссылок на русскоязычные работы). В настоящее время идея перевернутости стала общепринятой парадигмой в сравнительной анатомии животных и вошла в ряд широко известных зоологических руководств.

Ну а что же полухордовые? Вместе с иглокожими они остаются ближайшими родственниками хордовых. Дальнейшие исследования этой небольшой группы животных должны раскрыть нам тайны происхождения хордовых, помочь найти истоки тех превращений, которые позволили им стать успешным и самым высокоорганизованным типом животного царства. ■

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Проекты 11-04-00664а, 12-04-32077.

Литература

1. Вагнер Н.П. Беспозвоночные Белого моря. Зоологические исследования, произведенные на берегах Соловецкого залива в летние месяцы 1876, 1877, 1879 и 1882 гг. Николаем Вагнером, почетным членом и ординарным профессором Императорского Санкт-Петербургского университета. Т.1. СПб., 1885.
2. Шимкевич В.М. Наблюдения над фауной Белого моря. I. *Balanoglossus mereschkowskii* Wagner // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. 1889. Т.20. №2. С.1—74.
3. Spengel J.W. Die Enteropneusten des Golfes von Neapel // Fauna und Flora des Golfes von Neapel. Herausgegeben von der Zoologischen Station zu Neapel. Berlin, 1893. №18. S.1—757.
4. Willey A. Enteropneusta from the South Pacific, with notes on the West Indian species // Zoological results. Part 3 / Ed. M.A.Willey. Cambridge, 1899. P. 223—334.
5. Hyman L.H. The Invertebrates: Smaller Coelomate Groups. NY, 1959. V. 5. P. 72—154.
6. Newell G.E. The homology of the stomochord of the Enteropneusta // Proc. Zool. Soc. L., 1952. V.121. №6. P.741—746.
7. Knight-Jones E.W. Feeding in *Saccoglossus* (Enteropneusta) // Proc. Zool. Soc. L. 1953. №123. P. 637—654.
8. Ruppert E.E., Fox R.S., Barnes R.D. Invertebrate Zoology. Belmont, 2004. V.27. P.857—871.
9. Ежова О.В., Малахов В.В. Микроскопическая анатомия и ультраструктура скелетно-ренио-перикардального комплекса *Saccoglossus mereschkowskii* (Hemichordata, Enteropneusta) // Зоол. журн. 2010. Т.89. №8. С.899—923.
10. Gaskell W.H. The Origin of Vertebrates. L., 1908.
11. Patten W. The evolution of the vertebrates and their kin. L., 1912.
12. Малахов В.В. Проблема основного плана строения в различных группах вторичноротых животных // Журн. общ. биологии. 1977. Т.38. №4. С.485—499.
13. Малахов В.В. Происхождение хордовых животных // Соросовский образоват. журн. 1996. №7. С.2—9.

Зоологическое открытие:

паразит полихеты оказался карликовым самцом

Е.В. Ворцепнева,

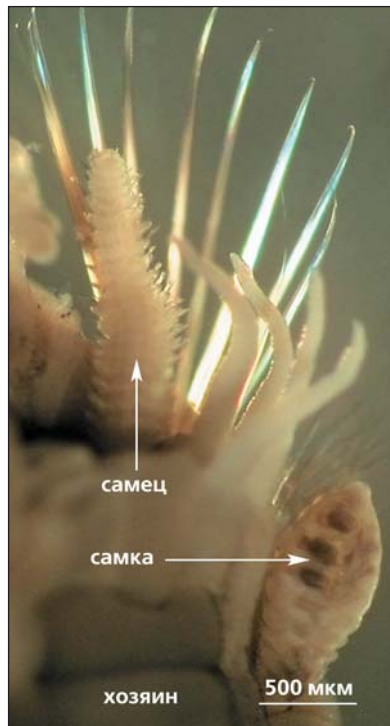
кандидат биологических наук,
научный сотрудник ББС им. Н.А. Перцова

А.Б. Цетлин,

доктор биологических наук,
директор ББС Н.А. Перцова, профессор кафедры зоологии беспозвоночных
биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

У большинства животных самцы и самки различаются по внешнему виду и строению, и это явление называется половым диморфизмом. У кольчатых червей (аннелид) он обычно выражается только в размерах и пропорциях тела, как у паразитического многощетинкового червя (полихеты) *Calamyzas amphictenicola*: самец и самка оба прикреплены к хозяину (другому многощетинковому червю), но легко различаются по размерам и числу сегментов. Часто у самцов развиваются дополнительные образования, которые служат для доставки «пакета» сперматозоидов самке.

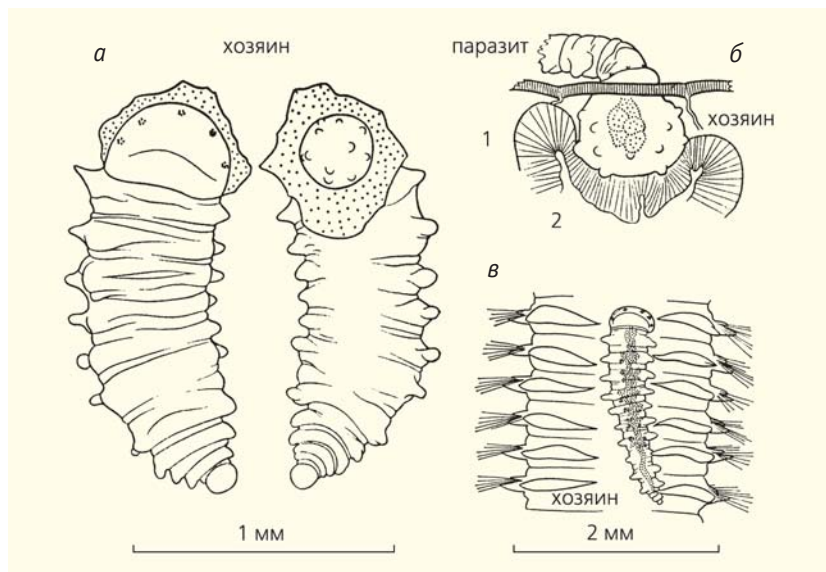
Один из самых впечатляющих примеров полового диморфизма — феномен карликовых самцов. Первым это явление обнаружил знаменитый русский биолог А.О. Ковалевский. Исследуя строение и развитие морского червя бонеллии (*Bonellia viridis* — представитель эхиурид, группы животных, близких к кольчатым червям, аннелидам), он обратил внимание на то, что все особи этого животного были самками. В их половых протоках Ковалевский нашел микроскопических червеобразных животных. По внешнему виду они были похожими на ресничных червей — турбеллярий. При детальном исследовании этих микроскопических червей выяснилось, что это карликовые самцы бонеллии. Поскольку они живут внутри самки и за ее счет, их с полным правом можно назвать паразитическими карликовыми самцами.



Передний конец многощетинкового червя *Amphiteus gunneri*, который служит хозяином для самца и самки паразитической полихеты *C. amphictenicola*.

У многощетинковых червей тоже встречаются карликовые самцы, правда, не всегда они паразиты самок. На затонувших скелетах китов биологи не так давно нашли интересных полихет рода *Osedax* (по-русски — костоеды) — родственников погонофор и вестиментифер (которых теперь тоже рассматривают как кольчатых червей). В трубке каждой самки оказалось множество (до 111) карликовых самцов, которые строением походили на личинку кольчатых червей — трохофору. Самки червей-костоедов питаются за счет симбиотических бактерий, использующих органические вещества, которые содержатся в костях китов. А вот как питаются карликовые самцы костоедов — непонятно. Поскольку в них часто находят крупные капли желтка, возможно, самцы живут за счет эмбриональных запасов, накопленных в яйцах, из которых они развились.

Другой пример полового диморфизма известен для полихеты из рода динофилюс — *Dinophilus gyrotilatus*. Это очень мелкие черви (не более 1 мм в длину), которые живут в промежутках между частицами грунта, т.е. принадлежат к интерстициальной фауне. Самка динофилюса откладывает в яйцевой кокон четыре яйцеклетки, три из них крупные, а четвертая — маленькая. Из первых трех развиваются самки, а из последней — карликовый самец, похожий на личинку-трохофору, но с огромным совокупительным органом и семенным мешком, забитым сперматозоидами. Не выходя из кладки, такая трохофора-самец оплодотворяет еще не успевшие развиваться до

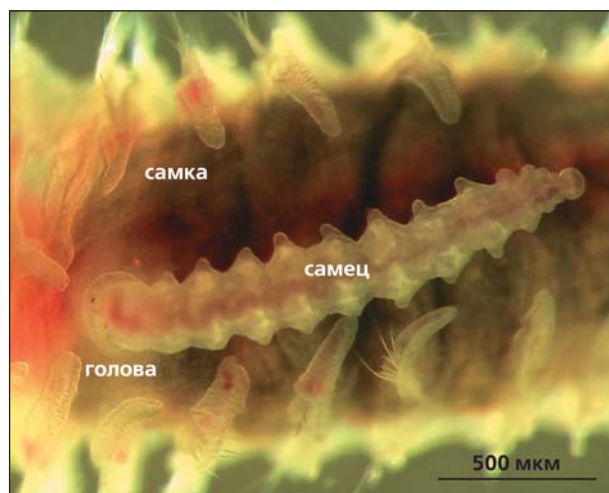


Asetocalamyzas laonicola, прикрепленная к спинной стороне полихеты спиониды. Передний конец тела помещен в целомическую полость хозяина: а — вид с дорсальной и вентральной стороны на *A. laonicola*; б — фронтальный вид с частью тела хозяина; в — вид сверху; 1 — голова паразита, 2 — кишка хозяина.

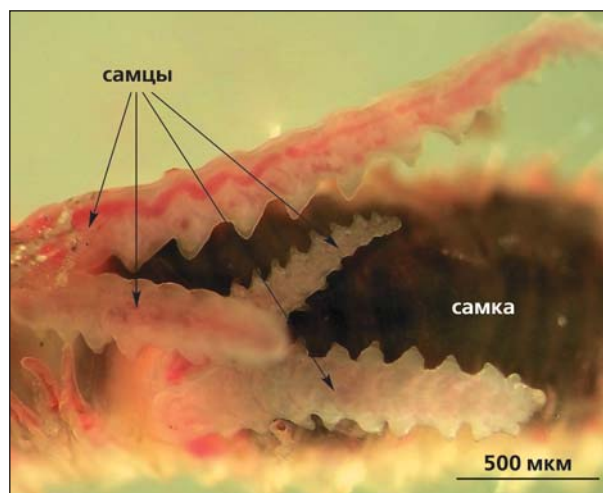
конца эмбрионы самок, после чего погибает [1]. Как видно из этих примеров, карликовые самцы часто представляют собой формы, сохраняющие личиночную организацию.

В 1985 г. в окрестностях ББС один из авторов этой статьи — А.Б. Цетлин — нашел новый вид полихет, который, как он тогда думал, паразитирует на другом многощетинковом черве. Относительно мелкая, лишенная щетинок полихета-паразит прикрепляется к спинной стороне другого червя так прочно, что их невозможно разделить. Новый вид был назван *Asetocalamyzas laonicola* и отнесен к семейству паразитических полихет Calamyidae, в ко-

тором раньше числился только один вид — уже упомянутый *Camphictenicola*. После первой находки *Alaonicola* долго не попадалась в руки исследователей, и только спустя более 15 лет мы поймали ее снова. Это оказалось редкое животное. Каждое лето с 2001 по 2006 г. мы отбирали пробы грунта — в общей сложности подняли со дна и промыли в поисках полихеты, хозяина и паразита, несколько тонн заиленного песка. В итоге в наших руках оказалось 36 экземпляров *Alaonicola*. Первоначально мы рассматривали *Alaonicola* как паразита, но обратили внимание на то, что хозяева были заражены на 100%. Такая «поголовная» зараженность — нечастое явление в мире паразитов, но еще удивительнее оказалось то, что все полихеты-хозяева были самками, а все паразиты — самцами. Тут уж в нас закралось подозрение, что это не «паразиты», а карликовые самцы вида-хозяина. На морфологическом уровне подтвердить эту гипотезу было почти невозможно. Дело в том, что внешне самки и их паразитические карликовые самцы настолько сильно отличаются друг от друга, что изначально их описывали как представителей разных семейств [2]. По внешнему виду самка — типичная полихета из семейства Spionidae. У самцов же так мало тех внешних признаков, по которым обычно определяют полихет (у него нет ни щетинок, ни жабр, ни придатков на головном конце), что отнести их к какому-либо



Самец *Scolelepis laonicola*, лишенный головных придатков, щетинок и жабр и прикрепленный к спинной стороне самки.



Четыре самца *S. laonicola*, прикрепленные к одной самке, попарно располагаются на соседних сегментах.

определенному таксону было затруднительно.

Подтвердить нашу гипотезу помогли современные молекулярно-генетические исследования. Детальное сравнение участков генома «паразита» и «хозяина» показало почти полную идентичность последовательности нуклеотидов в генах цитохромоксидазы-1 (*Co1*) и *ITS*. Это означало, что и «паразиты», и «хозяева» принадлежат к одному виду, которому пришлось дать новое название — *Scolecopsis laonicola*.

Эта полихета обитает на глубинах 20–25 м в плотном грунте, в сообществе, где доминирует крупный двустворчатый моллюск *Modiolus modiolus*. В толще грунта самка строит трубки с мягкими стенками и, вероятнее всего, периодически меняет в ней свое положение. Самцы прикрепляются на спинной стороне самки, чаще всего в передней половине туловища. На большинстве найденных самок находилось только по одному самцу, реже — по два, лишь в единичных случаях — по три и четыре. Самцы сидели или на соседних сегментах, или на далеко отстоящих друг от друга. На одной самке мы нашли четыре самца, которые попарно располагались на соседних сегментах.

Самец прикрепляется к самке сильно модифицированным передним концом тела, где образуется зона контакта. Как показывает анализ гистологических срезов и подтверждают данные электронной микроскопии, кутикула самки переходит без видимой границы в кутикулу самца. Иными словами, покровные ткани одной особи становятся покровными тканями другой. Из результатов исследования мышечной и нервной систем выяснилось, что в тело самки проникает вся передняя часть тела самца до окологлоточного нервного кольца. Другая необычная особенность — ориентация самца относительно самки: закрепившись, он поворачивается на 180° и располагается брюшной стороной вверх.

Как питается самец? Можно высказать несколько гипотез на этот счет. Согласно одной из них, самец питается содержимым целомической полости самки (например, целоמוцитами). В пользу этой гипотезы говорит наличие у самца хорошо развитой кишки и ротового отверстия, которое открывается в полость тела самки, да и в кишке самца видно какое-то содержимое. По другой версии, самец получает питание не через рот, а из кровеносных сосудов самки. Действительно, как показали наши исследования, в зо-

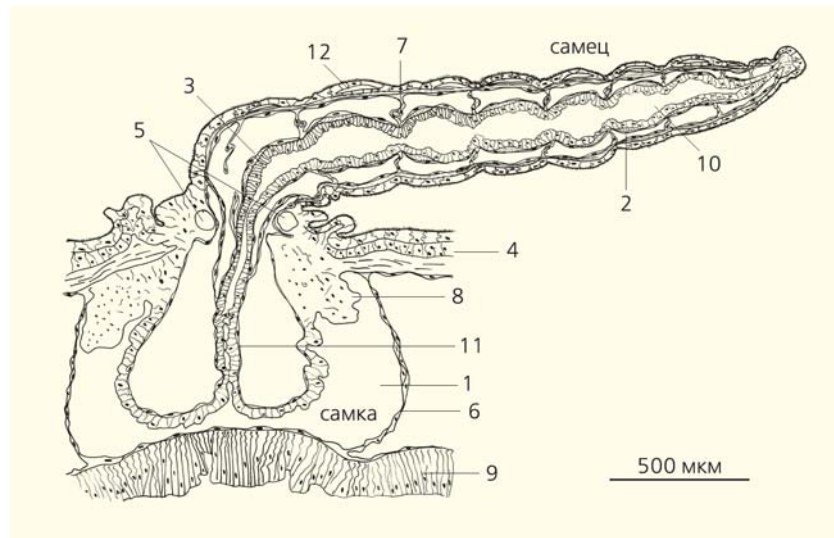
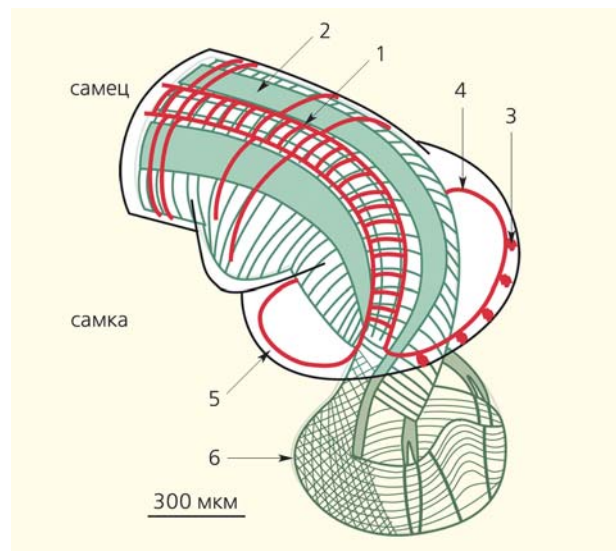


Схема продольного среза самца, прикрепленного к самке: 1 — целомическая полость самки; 2 — целомическая полость самца; 3 — окологлоточный синус; 4 — стенка тела самки; 5 — окологлоточное кольцо самца; 6 — диссепимент самки; 7 — диссепимент самца; 8 — зона срастания; 9 — кишка самки; 10 — кишка самца; 11 — глотка; 12 — брюшной нервный ствол самца.

не срастания кровеносные сосуды самки и самца переплетаются, образуя нечто вроде плаценты. А может быть, имеет место комбинация обоих типов питания?



Реконструкция нервной (показано красным) и мышечной (показано зеленым) систем самца. Его головной конец погружен в полость самки (ее тело окрашено желтым цветом), при этом окологлоточное кольцо с глазными пятнами доходит до места погружения. 1 — брюшной нервный ствол, 2 — вентральный мышечный валик, 3 — глазные пятна, 4 — окологлоточное нервное кольцо, 5 — параподия самца, 6 — передний конец тела самца, погруженный в полость самки.

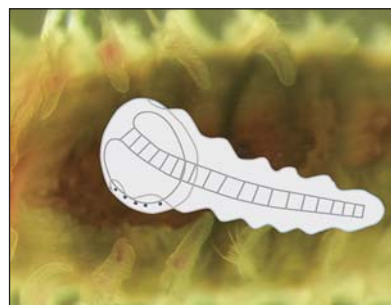
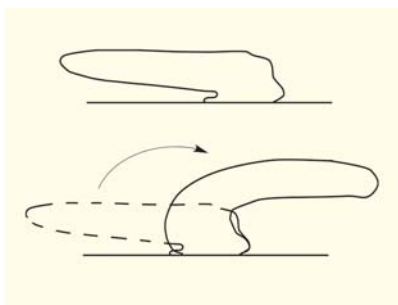
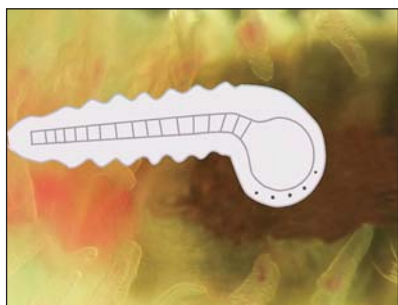


Схема предполагаемого прикрепления и поворота самца относительно самки. Слева — ювенильный самец движется по дорсальной стороне самки и прикрепляется там вентральной стороной, вид сверху; в середине — поворот самца вентральной стороной вверх, вид сбоку; справа — тот же поворот, вид сверху. В результате поворота самец закрепляется брюшной стороной вверх на дорсальной стороне самки.

При всем огромном разнообразии типов полового диморфизма у животных эктопаразитические самцы — очень редкое явление. Ранее оно было известно только у представителей одного семейства глубоководных рыб удильщиков. У них мелкий самец прирастает к более крупной самке с брюшной стороны, ткани их полностью срастаются, образуя переплетение сосудов. Глаза и пищеварительная система карликового самца постепенно редуцируются, и он начинает питаться за счет самки [3]. Найденный нами карликовый самец у беломорской полихеты *Slaonicola*, прикрепленный к самке, — это второй подобный пример в животном царстве и первый — в мире беспозвоночных.

В чем причина появления карликовых паразитических самцов в эволюции различных групп животных? Скорее всего — в крайней разреженности популяции, когда партнерам трудно найти друг друга. (Очевидно, нелегко встретиться и глубоководным рыбам удильщикам.) Плотность поселения полихет *Slaonicola* — всего 1 экз. на 1 м² дна. Не будем забывать и о том, что наш вид — сидячая полихета, она не может покинуть свою трубку, чтобы найти партнера. Как тут обойтись без «карманного», хоть и паразитического самца? Исследуя последовательность нуклеотидов гена цитохромоксидазы-1 у *Slaonicola*, мы обнаружили очень низкий уровень генетического полиморфизма. Эта черта тоже характерна для разреженных популяций.

Мы уже указывали, что карликовые самцы, найденные у некоторых других кольчатых червей, сохраняют личиночные черты. По числу сегментов паразитические самцы *Slaonicola* соответствуют не взрослым полихетам-спионидам, а их оседающим личинкам — нектохетам. Известно, что при оседании длинные щетинки нектохет заменяются на короткие, характерные для взрослых форм. Можно предположить, что прикрепление у *Slaonicola* происходит на стадии нектохеты. При этом у личинок — будущих самок — щетинки претерпевают такое же изменение, как у спионид. Но нектохеты, которые оседают на отверстия трубок взрослых самок и станут в дальнейшем паразитическими самцами, щетинки просто сбрасывают.

Пока неясно, какие факторы определяют превращение личинки в самца или в самку. Пол упоминавшейся уже бонеллии определяется гормонально: если личинка оседает на грунт, она превратится в самку. Если же попадет на хоботок самки, — то в самца (видимо, под влиянием гормонов самки) [4]. Может быть, и у нашей полихеты происходит так же? Тогда из личинки, осевшей на свободный участок грунта, развивается самка. Но, оказавшись нектохетой вблизи самочьей норки, она заползет в нее и будет самцом. Если же пол определяется генетически, то личинки с генотипом самцов должны долго скитаться по дну, прежде чем найдут трубку самки. Так что пока об определении пола у *Slaonicola* остается лишь строить гипотезы, а точный ответ могут дать дальнейшие исследования. ■

Литература

1. Westbeide W. Polychaeta: Interstitial Families // Synopses of the British Fauna, New Series. 1990. V.44. P.1—152.
2. Цетлин А.Б. *Asetocalamyzas laonicolae* gen. et sp. n. — новая эктопаразитическая полихета из Белого моря // Зоол. журн. 1985. Т.67. Вып.2. С.296—299.
3. Munk O. Histology of the fusion area between the parasitic male and the female in the deep-sea anglerfish *Neoceratias spinifer* Pappenheim, 1914 (Teleostei, Ceratioidei) // Acta Zool. (Stockholm). 2000. V.81. P.315—324.
4. Berec L., Schembri P.J., Boukal D.S. Sex determination in *Bonellia viridis* (Echiura: Bonelliidae): population dynamics and evolution // Oikos. 2005. V.108. №3. P.473—484.

О бесполом размножении беломорской полихеты

Г.Д. Колбасова,
аспирантка кафедры зоологии беспозвоночных
биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

Многощетинковые черви, или полихеты (Polychaeta), — одна из самых многочисленных и разнообразных (около 12 тыс. видов) групп беспозвоночных животных, обитающих на всех глубинах и грунтах Мирового океана в самых разных условиях [1]. Плотные поселения полихет покрывают поверхность морского дна или образуют массивные постройки — рифы, которые служат приютом для многих других животных. Кроме того, полихеты — излюбленная пища промысловых рыб, и во многих странах этих червей используют в качестве наживки для любительского и промышленного рыболовства.

Широкое распространение полихет в океане определяется большой пластичностью их жизненных циклов. Для одних видов характерны долго живущие в пелагиали личиночные стадии, с помощью которых вид распространяется, занимая новые территории [2]. У других, наоборот, личинки могут быть донными, а вот взрослые особи регулярно перемещаются на значительные расстояния. Существуют виды, приспособленные к регулярному расселению по далеко отстоящим друг от друга подводным горам [3].

Лишь некоторые полихеты размножаются исключительно бесполом путем [4]. Большинство же используют половой либо чередуют оба типа, причем бесполое размножение может возникать периодически — когда червь оказывается в неблагоприятных условиях. Например, это произошло с маленькой полихетой *Myriochele* cf. *beeri*, когда резко возросла смертность ее личинок [5], и глу-



Извлеченный из трубки взрослый червь *Pseudopotamilla reniformis* (а). Стрелкой показана граница торакального и абдоминального отделов тела. Светлый кончик хвоста недавно восстановился после архитомии, в результате которой на свет появилось бесполое поколение (б, в).

боководной пещерной *Nicomache lokii*, живущей при низком содержании кислорода [6], а также *N. minor* и *Maldane sarsi*, когда их стали выедать хищники [7, 8]. В критической ситуации переходит к бесполому размножению и одна из самых заметных и красочных полихет Белого моря — *Pseudopotamilla reniformis* из обширного семейства сабеллид (Sabellidae).

Живет этот довольно крупный (5–7 см длиной) червь в эластичной органической трубке, образуя плотные поселения, которые покрывают густой дерновиной камни и скалы на глубине 4–25 м. Пи-

тается *P.reniformis*, как и все остальные сабеллиды, микроскопическими планктонными водорослями (фитопланктоном), отфильтровывая их из толщи воды с помощью ярко окрашенного полосатого венчика жаберных щупалец.

В Белом море, как и в других морях средних широт, сезонная динамика фитопланктона зависит от температуры, освещенности и поступления минеральных веществ. Зимой, когда море покрыто льдом, количество фитопланктона в толще воды существенно уменьшается [9], и животные-фильтраторы испытывают недостаток в пище. В таких условиях с сентября по март *P.reniformis* размножается бесполом способом (архитомией) — его тело делится на несколько фрагментов, у которых вырастают недостающие головы и хвосты. В Белом море личинок *P.reniformis* не находили, но считалось, что они такие же, как у близкого вида *P.occelata*, обитающего у западного побережья США, — маленькие, пелагические и быстро оседающие [10].

Подобная картина необычна для сабеллид. У некоторых видов этого семейства изредка обнаруживали в трубках фрагменты задней части тела

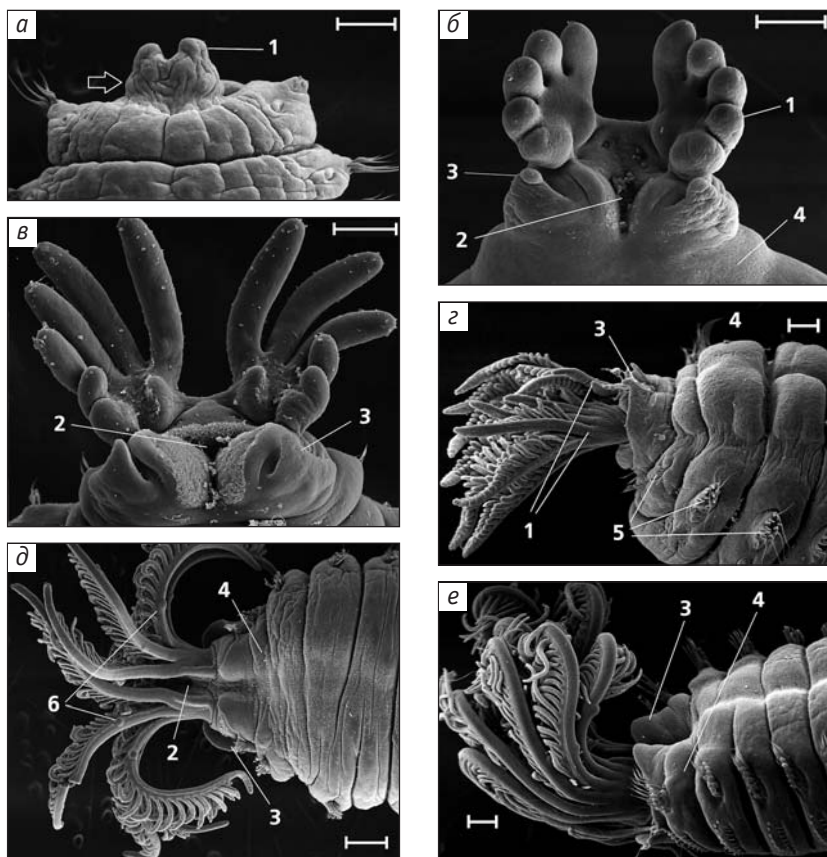
с недоразвитыми передними и задними концами [11—13]. У *P.reniformis* в Белом море бесполое размножение происходит регулярно и носит массовый характер.

Интересно было изучить особенности жизненного цикла *P.reniformis* и выяснить, как эта полихета адаптируется к резкой сезонной смене пищевых и климатических условий. Для изучения деталей бесполого размножения и времени, которое занимают эти процессы у *P.reniformis*, животных регулярно собирали в природе, а также провели серию экспериментов.

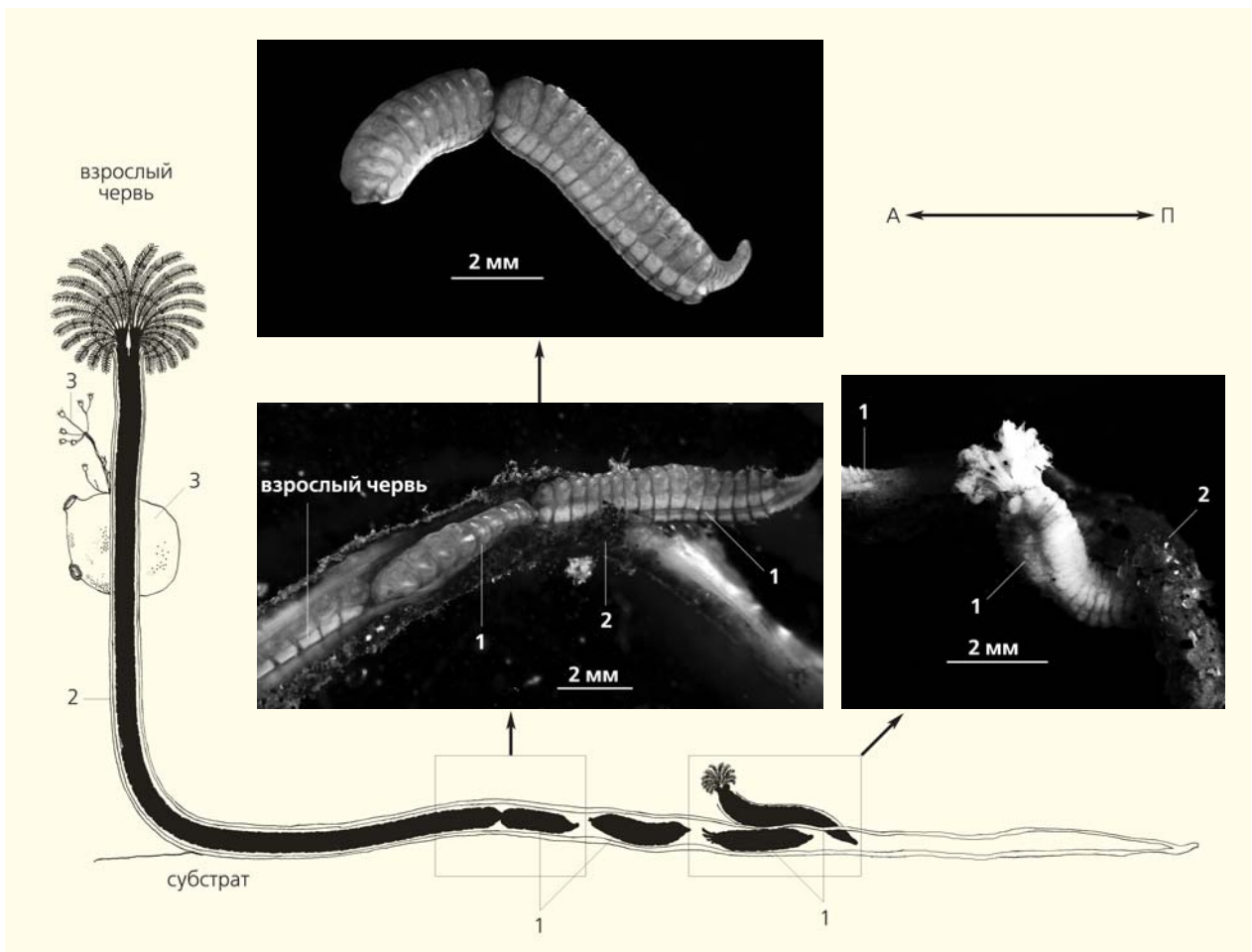
В естественных условиях бесполое размножение полихет, тело которых состоит из 8—9 сегментов переднего (торакального) и 120—150 сегментов заднего (абдоминального) отделов, происходит за счет перешнуровки тела. Чтобы вызвать этот процесс искусственно, взрослых червей, не извлекая из трубки, сильно пережимали пинцетом в задней трети абдоминального отдела. В результате в одной целой трубке оказывались передний конец тела и два-три фрагмента его задней части. После этого трубки помещали в аквариум с проточной морской водой.

У материнской особи начал восстанавливаться хвост, а у кусочков ее тела выростали недостающие передние и задние концы тела. За превращениями наблюдали в течение 114 дней, через каждые 3—5 сут извлекая две—четыре трубки, вскрывая их и фиксируя червей на разных стадиях регенерации. Часть экспериментов была проведена в природных условиях: для этого водолаз индуцировал бесполое размножение, пережимая пинцетом трубки полихет, сидящих на камнях на дне моря. В обоих случаях для контроля оставляли неповрежденные червей. Всего в эксперименте было задействовано более 400 животных.

Экспериментальные исследования проводили в летнее время (с 22 июня по 31 октября). В естественных условиях полихеты размножаются таким образом преимущественно зимой: 95% от собранных червей находились в различных стадиях бесполого размножения. Образовавшиеся маленькие полихеты лежат в материнской трубке друг за другом позади взрослого червя до весны, изолированные от внешней среды, и не питаются. Интересно, что раз-



Регенерация переднего конца тела на 10-й (а), 15-й (б), 20-й (в), 30-й (г), 40-й (д) и 90-й (е) день после искусственно индуцированной архитомии. Размер масштабной линейки 100 мкм. Стрелкой показаны первый и второй торакальный сегменты, которые на 10-й день регенерации внешне выглядят слитыми между собой. 1 — жаберные опахала (на а — их зачатки), 2 — рот, 3 — воротничковый сегмент, 4 — второй торакальный сегмент, 5 — параподии, 6 — глаза.



Общая схема бесполого размножения: 1 — черви, образовавшиеся в результате бесполого размножения (архитомии), 2 — трубка, 3 — обрастания; направление: А — антериальное (к голове), П — постериальное (к хвосту).

виваются такие червячки с разной скоростью: быстрее регенерируют те, которые лежат в трубке дальше от материнской особи. Приблизительно в середине марта, отрастив себе жаберные венчики, они проделывают в стенке материнской трубки отверстие, выходят наружу и, построив свою собственную трубочку, переходят к самостоятельной жизни.

В экспериментальных условиях регенерация длится более трех месяцев. Первые день-два будущий червячок, представляющий собой кусочек тела с 7–20 абдоминальными сегментами, заживает раны на переднем и заднем концах тела. После этого формируются две зоны роста — передняя и задняя. Из передней на 10–12-й день образуются зачатки жаберных опахал, похожие на маленькие рожки, и первые два сегмента тела червя — воротничковый и торакальный. Остальные шесть или семь торакальных сегментов добавляются позже, образуясь из шести или семи ближайших сегментов абдоминального типа. Все это время из задней зоны роста образуются новые и новые абдоминальные сегменты — длина

тела червя увеличивается. Весь процесс регенерации длится около 100 дней. Приблизительно в возрасте 70–80 дней с начала регенерации маленькие черви покидают материнские трубки и строят свои собственные.

Так бесполом путем размножается *P.reniformis*, а вот как происходит половой, точно не известно. С середины июля до середины сентября в полости тела крупных самок можно обнаружить яйцеклетки, а у самцов — развивающиеся сперматозоиды. Из этого можно заключить, что половое размножение происходит в конце лета — начале осени, но личинок *P.reniformis* в планктоне найти так и не удалось. Во время формирования половых продуктов и нереста полихеты не размножаются бесполом путем, и регенерация идет гораздо медленнее или не идет совсем [14]. Возможно, это обусловлено тем, что животные тратят слишком много энергии на образование половых клеток и у ослабленного организма не хватает сил на регенерацию.

Бесполое размножение, в отличие от полового, по-видимому, оказывается более надежным и эф-

фективным для быстрого захвата субстрата. Например, серпулиды, ближайшие родственники сабеллид, также ведущие сидячий образ жизни, комбинируют бесполое размножение с половым [15, 16]. На морском дне, где все бентосные организмы непрерывно борются за субстрат, для неподвижных червей, неспособных выбраться из своей трубки, половое размножение с плавающей в толще воды личинкой необходимо для заселения новых субстратов, в то время как бесполое позволяет животному быстро увеличить численность на уже занятой территории и вытеснить конкурентов.

Поскольку *P.reniformis* заселяет камни, находящиеся на значительном расстоянии друг от друга, а внутри червя найдены половые клетки, планктонные личинки у него должны быть. Однако так

и неясно, насколько регулярно эта полихета размножается половым путем. Чтобы определить соотношение животных, образовавшихся в результате бесполого размножения, и животных, выросших из осевших когда-то личинок, в будущем предполагается провести генетический анализ нескольких изолированных колоний. Таким образом можно будет оценить роль полового и бесполого размножения в популяции беломорской *P.reniformis*.

Вероятно, бесполое размножение у полихет-сабеллид — явление не столь редкое, как считалось ранее, однако, чтобы выяснить, какова его роль и насколько оно распространено в семействе Sabellidae, необходимо изучение биологии гораздо большего числа видов. ■

Литература

1. Ушаков П.В. Многощетинковые черви дальневосточных морей СССР. М., 1955.
2. Tzetlin A.B. Giant Pelagic Larvae of Phyllodocidae (Polychaeta, Annelida) // Journal of Morphology. 1998. V.238. P.93—107.
3. Tzetlin A.B., Britayev T.A. A New Species of the Spionidae (Polychaeta) with Asexual Reproduction Associated with Sponges // Zoologica Scripta. 1985. V.14. №3. P.177—181.
4. Ekesson B., Rice S.A. Two new *Dorvillea* species (Polychaeta, Dorvilleidae) with obligate asexual reproduction // Zoologica Scripta. 1992. V.21. №4. P.351—362.
5. Oliver J.S. Selection for asexual reproduction in an Antarctic polychaete worm // Marine Ecology Progress Series. 1984. V.19. P.33—38.
6. Kongsrud J.A., Rapp H.T. *Nicomache (Loxochona) lokii* sp. nov. (Annelida: Polychaeta: Maldanidae) from the Loki's Castle vent field: an important structure builder in an Arctic vent system // Polar Biology. 2012. V.35. P.161—170.
7. Цетлин А.Б., Маркелова Н.П. Некоторые аспекты распространения и биологии *Nicomache minor* Arwidsson (Polychaeta, Maldanidae) в Белом море // Исследования фауны морей. 1985. Т.34. С.136—138.
8. Цетлин А.Б., Маркелова Н.П. Бесполое размножение *Maldane sarsi* (Polychaeta, Maldanidae) в Белом море // Докл. АН СССР. 1986. Т.288. С.763—765.
9. Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д. Фитопланктон Белого моря. М., 2003.
10. Pernet B. Persistent ancestral feeding structures in nonfeeding annelid larvae // Biological Bulletin. 2003. V.205. P.295—307.
11. Knight-Jones P., Bowden N. Incubation and scissiparity in Sabellidae (Polychaeta) // Journal of Marine Biology. 1984. V.64. P.809—818.
12. Fitzbugh K. A new species of *Megalomma* Johansson, 1927 (Polychaeta: Sabellidae: Sabellinae) from Taiwan, with comments on sabellid dorsal lip classification // Zoological Studies. 2003. V.42. №1. P.106—134.
13. Gambi M.C., Giangrande A., Patti F.P. Comparative observations on reproductive biology of four species of Perkinsiana (Polychaeta: Sabellidae: Sabellinae) // Bulletin of Marine Science. 2000. V.67. P.299—309.
14. Murray J.M. Regeneration and reproduction in *Sabella pavonina* (Savigny): developing a novel method to culture marine ornamental sabellids. Portsmouth, 2010.
15. Kupriyanova E.K., Nishi E., ten Hove H.A., Rzbavsky A.V. Life-history patterns in Serpulimorph polychaetes: ecological and evolutionary perspectives // Oceanography and Marine Biology: an Annual Review. 2001. V.39. P.1—101.
16. Pernet B. Escape hatches for the clonal offspring of serpulid polychaetes // Biological Bulletin. 2001. V.200. №3. P.107—117.

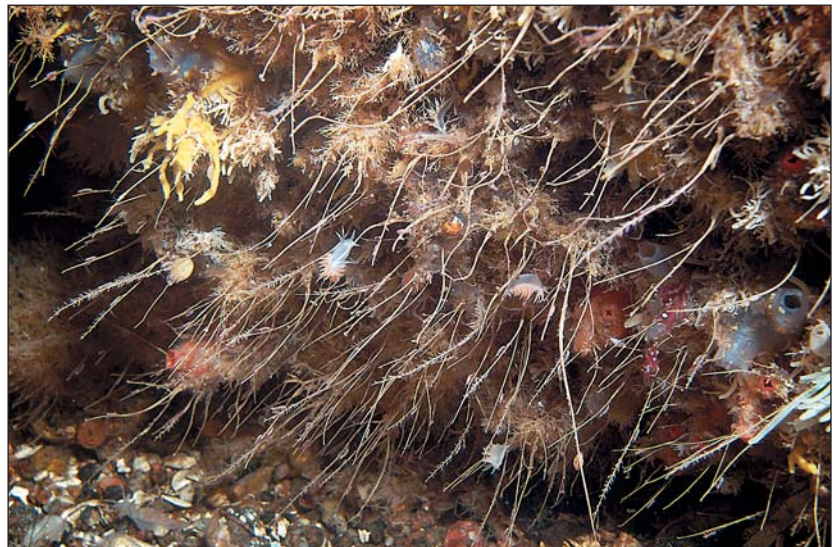
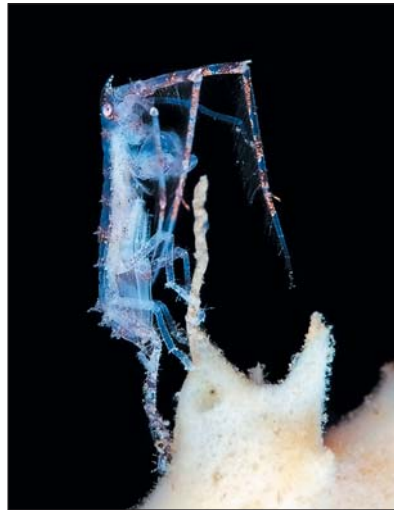
Строители на дне моря

Н.Ю.Неретин,

студент пятого курса кафедры зоологии беспозвоночных биологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

В 2005 г. на ББС появилась дистанционно-управляемая подводная видеочка «Гном», которая засняла на морском дне какие-то гибкие вертикальные структуры размером около 10 см. Одним концом они прикреплялись ко дну, а другой, свободный, находился в толще воды. По размерам и внешнему виду такие палочки немного напоминали сосновые иголки. В окрестностях биостанции большая часть дна глубже 8 м буквально утыкана ими, но водолазы просто не обращали на них внимания, вероятно, принимая за водоросли. Сначала вообще не было понятно, что это, и высказывалось множество гипотез. Затем выяснилось, что подобные структуры уже известны в других северных морях и что сделаны они рачками амфиподами из семейства *Dulichiiidae* [1]. Эти небольшие рачки питаются взвешенным детритом — сестомом, и улавливать пищу им помогают большие перистые усы — первая и вторая пара антенн [2]. Родственники этих рачков, питающиеся таким же способом, ищут, куда бы залезть повыше, и их благополучие зависит от обилия возвышающихся субстратов. А вот дулихии сами строят для себя мачты, забираться на них и могут питаться на такой высоте относительно дна, какая им больше нравится. Во многих биотопах дулихии — очень массовые животные, плотность поселений которых может достигать более 10 тыс. рачков на 1 м².

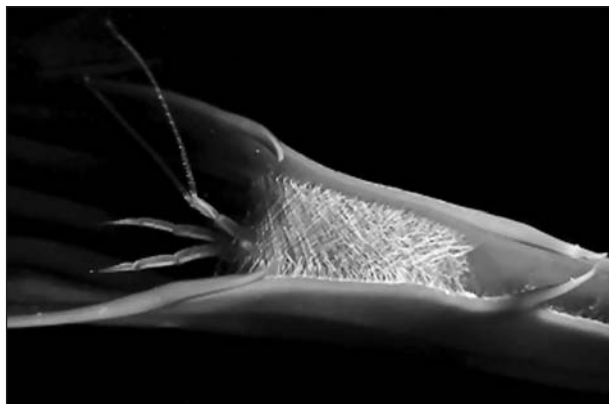
Надо сказать, что среди амфипод (разноногих раков, к ним



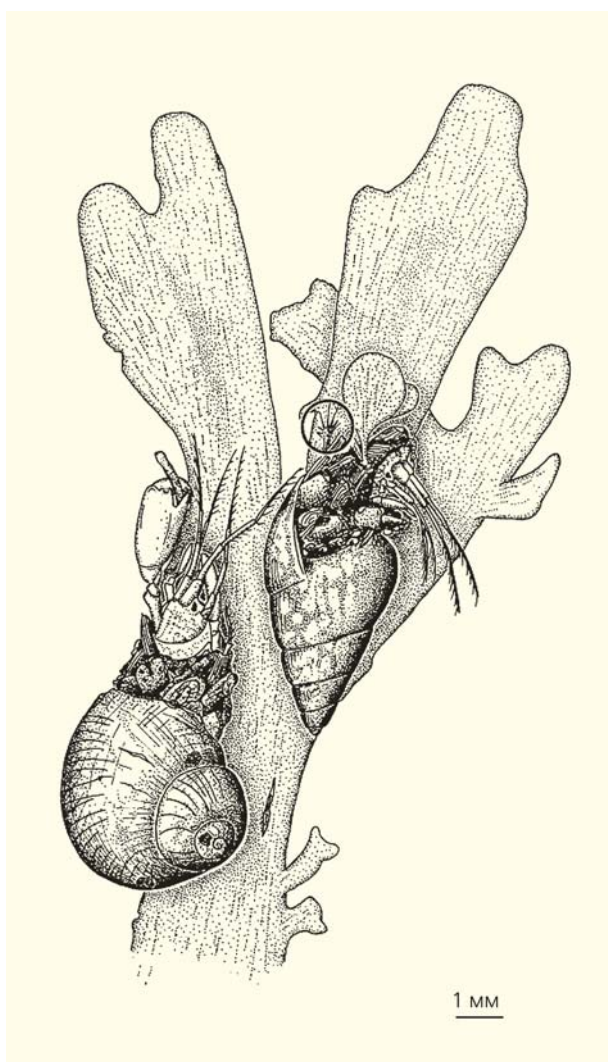
Два вида дулихий (вверху слева — *Dulichia spinosissima*, справа — *Dyopodes bispinis*) и поселение рачков *Ericthonius* sp. в трубочках собственной постройки.

Здесь и далее фото А.А.Семенова

относятся и бокоплавы) склонность к созданию всяких построек довольно обычна. Строительным ремеслом занимаются амфиподы как минимум из 10 семейств, потому и постройки их различаются между собой по форме, используемым материалам, назначению и т.п. Основное разнообразие сооружений составляют домики в виде трубочек, которые строятся внутри субстрата (норки), а также на его поверхности. Они могут быть короткими, размером с самого рачка, а бывают и значительно длиннее. Есть трубочки с единственным



«Рачок-листовертка» *Peramphithoe femorata*, стянувший края пластины бурой водоросли. Видны нити «амфиподного шелка» [4].



Амфиподы *Photis conchicola*, живущие в ракушках гастропод. Слева — самец с большой ложной клешней, справа — самка. Видно, что амфиподы подстраивают ракушку под себя, добавляя к ней кусочек трубочки [7].

входным отверстием — удлиненные мешочки, а есть трубочки «тянитолкайные» — с двумя выходами. Иногда эти отверстия одинаковы и используются попеременно, в других же случаях трубка суживается к одному концу. Выходов может быть и больше двух — например, некоторые амфиподы из семейства Melitidae формируют сложные норные системы с дополнительными выходами [3].

Зачастую дома бокоплавов напоминают постройки известных нам насекомых. Так, растительоядные амфиподы *Peramphithoe femorata* подобно листоверткам стягивают края бурой водоросли *Macrocystis porifera* в неполную трубочку. Интересно, что рачок, подгрызая при этом водоросль, на которой сидит, потихоньку подстраивает трубочку ближе к растущему основанию ее пластины. Сама же она (пластина водоросли), наоборот, растет у основания. Однако кончается все отмиранием водоросли [4]. Другие рачки, подобно ручейникам, могут носить свои домики с собой. Особо интересны небольшие «амфиподы-отшельники» (*Photis conchicola*), которые поселяются в пустых раковинках брюхоногих моллюсков, подобно своим десятиногим родственникам. Правда, ракушку свою они прикрепляют к субстрату [5].

Из всего разнообразия домиков заметно выделяются палочки. Морфологически они не сильно различаются, зато могут «расти» на очень разных субстратах: на камнях, водорослях, ракушках, губках, гидроидах и даже на песке. Некоторые виды дулихий строят свои мачты на других животных. Так, мы заметили, что беломорские дулихии часто используют в качестве фундамента гидроидов или кустистых мшанок, иногда замуровывая часть колонии этих животных. Но, пожалуй, самый интересный пример — *Dulichia rhabdoplastica*, строящая свои палочки как продолжение игл больших морских ежей. Плотность амфипод-строителей в некоторых донных биотопах настолько велика, что их роль в морских экосистемах очевидна. Некоторые виды семейства Ampeliscidae образуют в Беринговом и Чукотском морях огромные поля своих норок, а серые киты, взмучивая грунт и всасывая легкую составляющую, питаются ампелисцидами [6]. Амфиподы из рода *Corophium* также часто образуют во многих морях очень густые поселения, иногда совместно с полихетами. Как показали наши исследования, дулихии на палочках встречаются в очень больших количествах и в Великой Салме. Вполне вероятно, что участие дулихий в бентосных экосистемах недооценено в связи с их «незаметностью»: при опасности эти рачки сразу убегают с палочек, что сильно затрудняет определение их количества. Вообще, хорошо знаем мы о биологии только немногих мелководных видов дулихий, а об образе жизни большинства почти ничего неизвестно.

Оседлая жизнь, которую ведут обитатели норок, трубочек и палочек, зачастую сильно усложняет их поведение. Во-первых, у рачка, смастерив-

шего домик, появляется собственность — постройка, а иногда и участок вокруг нее и, соответственно, возникает территориальное поведение. Рачок охраняет свою постройку и обычно никого туда не пускает. Во-вторых, жизнь в неподвижном жилище в сочетании с обязательным внутренним оплодотворением заставляет изыскивать способы встречи половых партнеров. И проблема решается по-разному. Первый способ таков: в одну лунную ночь все, и самцы и самки, выходят в планктон, где и происходит спаривание. В другом случае самки спокойно живут в своих жилищах, а самцы со временем перестают строить свои домики и отправляются в путешествие на поиски самок. В пути из-за разных опасностей число их обычно сокращается. У одной самки самцы, как правило, задерживаются ненадолго, и, дождавшись копулятивной линьки самки (ракообразные могут спариваться только после линьки самки), скорей отправляются к следующему. Большинство амфипод-строителей практикуют второй способ (иногда с различными отклонениями). Каждый метод накладывает отпечаток на морфологию рачков. Так, у странствующих самцов часто развиваются вторичные половые признаки — сильно увеличивается одна пара передних ног — гнатопод. Они могут использоваться для удержания самки и при стычках с другими самцами [7].

Наконец, постоянное жилище самки может быть благоприятно для потомства. Прежде чем начать самостоятельную жизнь, молодые рачки подрастают в безопасной материнской трубочке или на высокой палочке. Так, на одной палочке *Dyopedos monacanthus* может находиться более 100 ювенильных рачков (конечно, они не из одного выводка, а из нескольких последовательных). Выгода от такого сожительства двоякая — иногда защита от хищников или внутривидовых конкурентов, а иногда более благоприятные условия питания. Например, в аквариумах маленьких рачков на собственных низеньких палочках креветки выедают намного быстрее, чем их ровесников на больших материнских. Поскольку изученные дулихииды — сестонофаги, то чем выше сидит рачок, тем больше еды ему перепадает. Значит, бездомные самостоятельные дети опять остаются в проигрыше — они не могут построить достаточно высокую мачту, чтобы та эффективно выполняла свою функцию. В трубочках же иногда наблюдается так называемый «семейный комменсализм» — ювенильные рачки *Lembos websteri* подьедают

роняемую матерью еду. Но если в трубочке есть самец, они боятся к нему подходить — самцы зачастую не жалуют детей [8].

Степень развития заботы о потомстве определяется, видимо, тем, что выгода от нее перекрывается затрачиваемыми усилиями. Так, у некоторых амфипод дети уходят из родной трубочки сразу или почти сразу — вероятно, из-за ограниченности пространства и пищи. В других случаях они подрастают там почти до взрослых размеров, как, например, у норных бокоплавов *Casco bigelowi* [8].

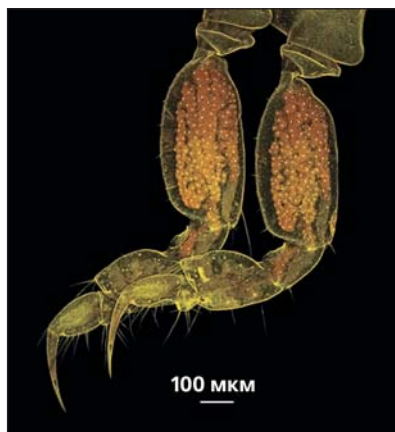
Наши работы по изучению популяционной структуры беломорских дулихий подтверждают территориальность их поведения. На одной палочке в норме могут находиться только два взрослых рачка — самец и самка, а дети, подрастая, покидают палочку. Однако со временем накапливается все больше данных, показывающих, что картина более сложна, чем представлялось ранее. Например, в Белом море встречаются единичные палочки с очень большим числом именно взрослых размножающихся особей (до 20 самок с яйцами и до пяти самцов). Такая палочка значительно длиннее обычных. Можно предположить, что дети остаются на ней, демонстрируя сложное поведение, например включение механизмов снижения агрессии.

У читателя может возникнуть вопрос, а как и чем рачки создают свои постройки? Каждый, кто строил замки из песка, понимает, что без цементирующей жидкости получить постоянную форму не так просто. И действительно, у амфипод есть железы, выделяющие вещество, которое скрепляет частицы грунта, детрита, водоросли и т.п. У большей части амфипод-строителей эти



Самка *Dyopedos* sp. с выводком.

железы располагаются в одном и том же месте — на третьих и четвертых конечностях переона (части тела, морфологически выделяемой как грудь), а их выводное отверстие находится на самом конце коготка конечности [9]. Рачки «прядут веретено» этими четырьмя ножками, совершая движения, которые С. Смит в 1874 г. сравнивал с движением пальцев пианиста. Систематика амфипод на надсемейственном уровне еще не вполне устоялась: большую часть семейств «строителей» как-то объединяют в группу *Coelocorpiidae*, но одно из семейств (*Ampeliscidae*) сильно выделяется из всех остальных. Поэтому вопросы родства и сходства строительных желез амфипод представляются довольно интересными. Еще одна примечательная особенность этих желез заключается в том, что зачастую секрет выходит из коготка в виде весьма прочной нити. Именно ими

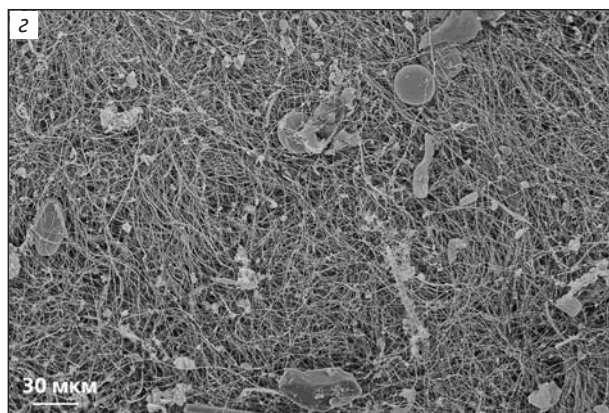
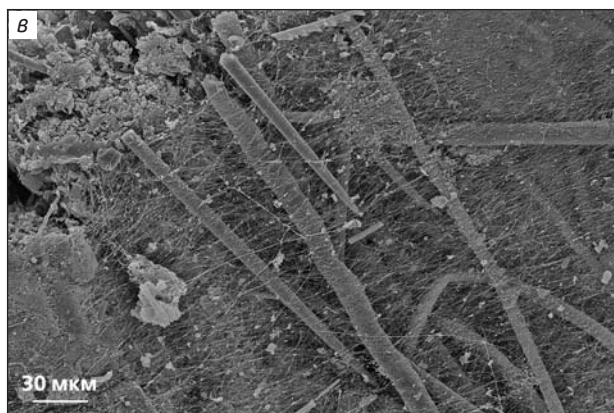
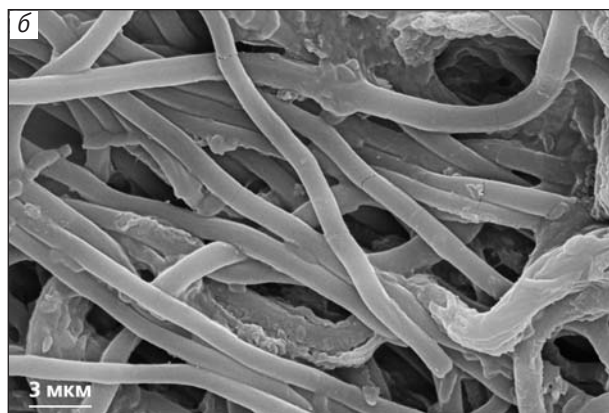
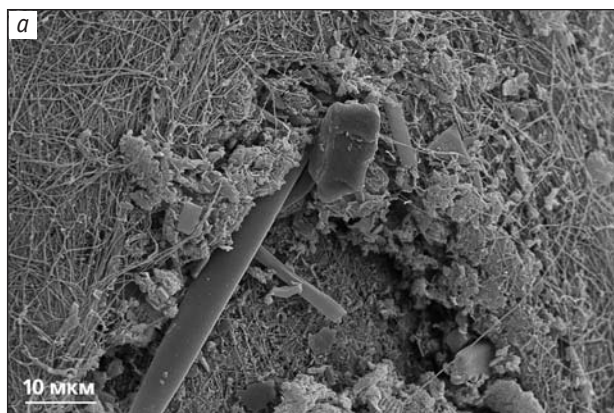


Фотография ножек переона *Crassicoelocorpius bonnelli*. Видна железистая ткань у основания ножек, производящая «амфиподный шелк», выделяющийся на самом конце когтей [12].

«рачки-листовертки» стягивают края пластины водоросли. Такие нити палочек, обшивающие их поверхность, придают им прочность.

Это обстоятельство заставляет нас вспомнить наземных членистоногих, которые часто сооружают различные конструкции для облегчения питания, выведения потомства, укрытия от хищников. Так, пауки строят огромные ловчие сети, домики, детские садики... Все разнообразие построек насекомых сложно перечислить. Особенно известны, конечно, коконы шелкопрядов, но различной формы шелка встречаются по крайней мере в 15 отрядах насекомых [10].

А как же ракообразные, чем они хуже? Среди них тоже есть организмы, которые производят секрет, вполне напоминающий шелк. Выделение нитей специальными железами известно по крайней мере среди амфипод, ракушковых раков (остракод) и морских



«Амфиподный шелк» у разных видов бокоплавов: наружная поверхность палочки *Diopodes bispinis* (а) и внутренние поверхности трубочек *Amphithoe rubricate* (б), *Ericthonius* sp. (в), *Photis* sp (г).

Фото автора

клешненок осликов (танаид) — малоизвестного таксона маленьких и очень симпатичных бентосных животных. Однако в большинстве случаев о химической структуре этих «шелков» ничего не известно. А между тем вопрос этот может быть интересен не только с теоретической, но и с практической точки зрения. Ведь нити шелкопрядов люди используют с древнейших времен, а на основе паучьего шелка, прочность которого на разрыв во много раз больше прочности стали, проектируется и создается множество полезных вещей — от бронезилетов до залечивающих раны нанопленок, которые благодаря своей инертности не возбуждают отторжения [11]. Быть может, изучение шелков ракообразных тоже внесет новые технические решения в области практического применения, ведь нити амфипод отличаются как минимум тем, что производятся под водой и склеивают частицы тоже под водой. Кстати, проблема подводных клеев в настоящее время довольно популярна. С этой точки зрения неплохо изучен «цемент» усоногих раков, возможно, родственной по своей химической структуре шелку амфипод, однако выделяемый не в виде нитей.

Интересно, что «амфиподным шелком» секрет строительных желез бокоплавов назван очень давно — в 1874 г. Смитом, однако до самого последнего времени химическая структура этого вещества не была известна. Шелковые железы изучали в XIX в. (работы О.Небески), но вернулись к проблеме только в конце 2000-х годов. Работы

по выяснению структуры «амфиподного шелка» и строению желез различных амфипод в настоящее время ведутся как минимум в двух местах — в Оксфорде и на ББС МГУ.

Для двух видов амфипод из близких семейств (Corophiidae и Aoridae) нашими коллегами показано одинаковое строение этих желез. Шелк корофиума состоит, видимо, из белкового стержня и полисахаридного окружения. Специалисты, изучавшие железы корофиумов, считают, что по сложности шелкопроизводства амфиподы находятся примерно на уровне примитивных пауков. Так, у одного из них за счет натяжения нити паутины конформация спидроина меняется с α -спирали на параллельные β -слои. При этом белок приобретает химически и механически уникально прочную квазикристаллическую структуру. Этому способствует параллельное обезвоживание секрета. Предполагается, что у корофиид становление шелковой нити происходит сходным образом. Если это действительно так, то в ножке рачка независимо от наземных членистоногих развивается сложная аналогичная система [12].

Теперь известны основные принципы устройства шелковых желез двух видов. Но кто знает, какие вариации претерпевает эта система, быть может, в неродственных семействах бокоплавов при сооружении различных по строению домиков? Это еще предстоит выяснить, так же, как и многие другие особенности именно амфиподного шелка. ■

Литература

1. Жадан А.Э и др. Неизвестные палочки // Материалы X научной конференции ББС МГУ. 9–10 августа 2006 г. М., 2006. С.105–108.
2. Mattson S., Cedebagen T. Aspects of the behaviour and ecology of *Dyopedos monacanthus* (Metzger) and *D.porrectus* Bate, with comparative notes on *Dulichia tuberculata* Boeck (Crustacea: Amphipoda: Podoceridae) // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 1989. V.127. P.253–272.
3. Thiel M. Reproductive biology of a deposit-feeding amphipod, *Casco bigelowi*, with extended parental care // Marine Biology, 1998. V.132. №1. P.107–116.
4. Cerda O., Hinojosa I.A., Thiel M. Nest-building behavior by the amphipod *Peramphitoe femorata* (Krøyer) on the kelp *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) from Northern-Central Chile // Biol. Bull. 2010. V.218. №3. P.248–258.
5. Carter J.W. Natural history observations on the gastropod shell-using amphipod *Photis conchicola* Alderman, 1936 // Journal of Crustacean biology. 1982. V.2. №3. P.328–341.
6. Oliver J.S. Gray whale feeding on dense ampeliscid amphipod communities near Bamfield, British Columbia // Canadian Journal of Zoology. 1984. V.62. №1. P.41–49.
7. Borowsky B. Reproductive behavior of three tube-building peracarid crustaceans: the amphipods *Jassa falcata* and *Ampithoe valida* and the tanaid *Tanais cavolinii* // Mar. Biol. 1983. V.77. P.257–263.
8. Thiel M. Extended parental care in crustaceans — an update // Revista Chilena de Historia Natural. 2003. V.76. P.205–218.
9. Myers A.A., Lowry J.K. A phylogeny and a new classification of the Corophiidea Leach, 1814 (Amphipoda) // J. Crustac. Biol. 2003. V.23. P.443–485.
10. Sutherland T.D. et al. Insect silk: one name, many materials // Annu. Rev. Entomol. 2010. V.55. P.171–88
11. Бозуш В.Г. и др. Получение, очистка и прядение рекомбинантного аналога спидроина 1 // Биотехнология. 2006. Вып.4. С.3–12.
12. Kronenberger K., Dicko C., Vollrath F. A novel marine silk // Naturwissenschaften. 2012. B.99. S.3–10.

Сердечные тайны камптозой

А.О.Борисанова,
аспирантка кафедры зоологии беспозвоночных
биологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

Всем ли животным необходимо сердце? Человеку и другим позвоночным — несомненно. А беспозвоночным? Оказалось, у одних (например, моллюсков и ракообразных) этот орган есть, а у других (плоских червей, медуз) — нет. Как это объяснить? Обычно сердце присутствует у животных с развитой сосудистой кровеносной системой. Те же, у кого кровь (точнее, ее аналог — гемолимфа) не течет по сосудам, а просто заполняет все пространство между внутренними органами (первичную полость тела, или гемоцель), как правило, в сердце не нуждаются. Но из этого правила существуют исключения. Одно из них — крошечные (обычно от нескольких сот микрометров до нескольких миллиметров, редко — до 1 см) беспозвоночные животные, от которых мы вправе были бы ожидать бессердечности в самом прямом смысле этого слова. Называются они Камптозоа (от греч. *καμπτο* — гнуть и *ζωο* — животное). Похожи эти организмы на маленькие бокалы на тонких ножках, которые в случае опасности изгибаются, опуская верхнюю часть (чашечку) к субстрату.

Есть у этой группы еще одно название — внутрипорошицевые, или Entoprocta (от греч. *εντοσ* — внутри и *πρωκτοσ* — анальное отверстие, порошица). Столь неблагозвучному названию эти животные обязаны положением их анального отверстия, которое, как и ротовое отверстие, лежит внутри чашечки. Зоологи редко используют труднопроизносимое слово внутрипорошицевые, да и латинскому названию Entoprocta предпочитают Камптозоа. Американский зоолог Э.Рупперт шутливо заметил, что, наверное, это связано с тем, что гораздо приятнее быть камптозоологом, чем энтопроктологом. Кстати, и ножка, и венчающая ее чашечка, вмещающая внутренние органы, — вполне законные названия частей тела камптозой. По кромке чашечки располагаются длинные выросты — щупальца (от 8 до 30 в зависимости от вида и возраста особи). Нужны они для питания, так как камптозои — животные-фильтраторы, которые улавливают пищевые частицы, создавая ток воды с помощью ресничек, покрывающих внутреннюю поверхность щупалец [1, 2]. Большинство камптозой — одиночные организмы, но встречаются и колониальные формы, особи которых связаны друг с другом или стелющимся столоном, или общим базальным диском. Поселяются камптозои на дне,



Общий вид колонии *Pedicellina cernua*.

Фото А.А.Семенова

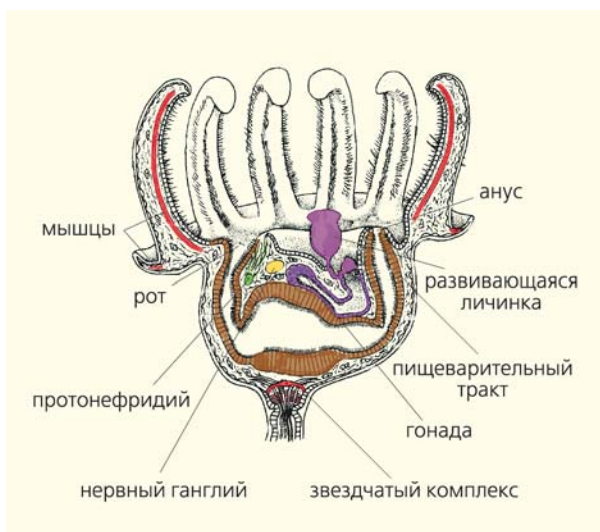


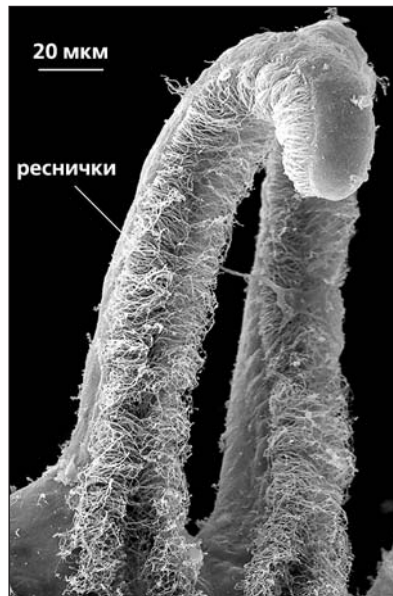
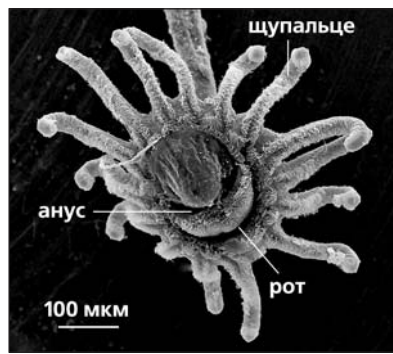
Схема строения чашечки.

прикрепляясь к камням или становясь эпибонтами, которые используют в качестве субстрата другие организмы — например, водоросли, моллюсков, мшанок, многощетинковых червей [3].

Камптозои — очень небольшая группа, состоящая всего из около 160 видов, среди которых лишь несколько обитают в пресноводных водоемах, остальные — в морях, в основном на мелководье, изредка на глубинах до 700 м [4].

На первый взгляд камптозои устроены очень просто, не сложнее гидры, у которой только и есть, что кишечная полость. Кстати, в середине XVIII в., когда Камптозоа только открыли, их сочли родственниками именно кишечнополостных, но вскоре поняли, что на самом деле это не так. Выяснилось, что у камптозой, несмотря на мелкие размеры, развиты чуть ли не все системы органов, которые есть даже у человека: пищеварительная, нервная, выделительная, половая. Большую часть чашечки занимает U-образный пищеварительный канал, состоящий из нескольких отделов: ротовое отверстие ведет в пищевод, затем следуют желудок, кишечник и прямая кишка, заканчивающаяся анальным отверстием. Есть также парные выделительные органы (протонефридии), нервный ганглий, от которого отходят нервы ко всем частям тела. В чашечке находятся половые органы, представленные парными мешковидными гонадами (среди камптозой есть раздельнополые виды и гермафродиты), от которых отходят половые протоки, открывающиеся общим половым отверстием. Между стенкой тела и внутренними органами, а также внутри щупалец располагается гемоцель — полость, заполненная жидкостью, соответствующей крови у других животных [1].

Одна из главных загадок Камптозоа — их родственные связи с другими группами беспозвоночных животных. К кому они ближе: к мшанкам, а может, к кольчатым червям или моллюскам? Признаем откровенно — ответа нет до сих пор. Точнее, ответов много, только вот все они противоречат друг другу и вместо того, чтобы прояснить ситуацию, только еще больше ее запутывают. Пасует даже молекулярная филогенетика — один из самых мощных современных методов анализа родственных связей разных типов животных. К сожалению, по его результатам, Камптозоа ока-



Чашечка (вверху) и ее щупальце.

зываются близки то к одной, то к совершенно другой группе беспозвоночных [5–7].

Нет единомыслия и среди исследователей-морфологов: кто-то до сих пор считает камптозой родственниками настоящих мшанок [8], хотя большинство ученых все же разделяет эти группы на два отдельных, неродственных таксона [9, 10]. Некоторые исследователи предполагают родство внутриворончатых с примитивными моллюсками, основываясь на результатах сравнения нервной системы их личинок [11]. Некоторое сходство в жизненном цикле и строении личинок обнаружено у камптозой с циклиофорами (Cycliophora) — очень интересной, недавно открытой группой мелких морских беспозвоночных животных, у которых чередуются стадии полового и бесполого размножения [12–14]. Таким образом, вопрос родства все еще остается открытым, и только подробные исследования этой загадочной группы позволят прояснить ее положение на филогенетическом древе царства животных. Но вернемся к сердечным тайнам камптозой.

Сразу оговорюсь, что у камптозой сердце есть, но не у всех —

только у колониальных, у которых, несмотря на небольшие размеры самих особей, присутствует довольно протяженный (до нескольких десятков сантиметров) стolon. Одиночные же камптозои столь малы, что им нет необходимости создавать специальный орган, который будет обеспечивать постоянный ток жидкости гемоцели.

У всех колониальных камптозой чашечка и ножка каждой особи разделены неполной перегородкой — септой. Она служит опорой для весьма специфического мышечного органа — звездчатого комплекса, который состоит из клетки мышечной полусферы и лежащих друг под другом звездчатых клеток [15]. Именно этот комплекс и есть сердце колониальных камптозой.

Клетка мышечной полусферы имеет форму купола, вдающегося в полость чашечки. Край этой клетки образуют многочисленные выросты, которые расширены на концах и смыкаются друг с другом, образуя своеобразные отверстия — окна, через которые сообщаются полости тела над и под клеткой мышечной полусферы. Ее сократимые волокна образуют пучки, идущие из центра клетки в ее выросты.

Звездчатые клетки действительно похожи на маленькие звездочки с несколькими лучами-отростками, расходящимися в разные стороны от центрального диска. На конце эти отростки расширяются и разветвляются, формируя многочисленные корнеподобные выросты. Пучки сократимых волокон тянутся из одного отростка через центральную часть клетки в отросток на противоположной стороне и тоже разветвляются на конце, как и сами отростки. Так формируется «радиальная мускулатура» звездчатых клеток. Есть у них и «кольцевая мускулатура», образованная мощными пучками сократимых волокон, расположенных по периметру звездчатого комплекса в расширенных частях отростков.

Из ножки в основание чашечки, сквозь звездчатый комплекс (через промежутки между отростками звездчатых клеток и через отверстия между выростами клетки мышечной полусферы), тянутся веретенообразные соединительно-тканые клетки. Они, хотя и не относятся к специфической части звездчатого комплекса (поскольку есть и в полости ножки), все же играют важную роль в работе всего комплекса — выполняют функцию пробки, препятствующей току жидкости между отростками звездчатых клеток при их сокращении.

Каков же механизм работы звездчатого комплекса? Единственная клетка мышечной полусферы, очевидно, выполняет функцию предсердия, а совокупность звездчатых клеток — желудочка. Работу комплекса можно разделить на несколько фаз. В первой фазе происходит расслабление клетки мышечной полусферы и поступление жидкости гемоцеля чашечки в пространство под этой клеткой. Звездчатые клетки при этом сокращены и не позволяют жидкости перетекать из чашечки в ножку. Во второй фазе звездчатые клетки расслабляются, а клетка мышечной полусферы сокращается, поэтому гемолимфа выдавливается из-под клетки мышечной полусферы в апикальную зону ножки. Затем наступает следующая фаза сокращения, но в этот раз волна идет от верхних звездчатых клеток, расположенных ближе к чашечке, в сторону нижних, находящихся в ножке, в глубь которой и продавливается жидкость.

Хочется еще раз подчеркнуть, что звездчатый комплекс возникает именно у колониальных представителей Kamptozoa, так как именно у них возникает необходимость снабжать питательными веществами не только ножку и чашечку (это возможно и без создания направленного тока жидкости), но и удаленно расположенный стolon. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №12-04-31778) и ведущей научной школы (НШ-5704.2012.4).

Литература

1. Brien P. Classe des Endoproctes ou Kamptozoaires // *Traité de Zoologie, Anatomie, Systématique, Biologie* / Ed. P.Grasse. Paris, 1959. T.5. Fasc.1. P.927—1007.
2. Nielsen C., Rostgaard J. Structure and function of an entoproct tentacle with a discussion of ciliary feeding types // *Ophelia*. 1976. V.15. №2. P.115—140.
3. Nielsen C. Studies on Danish Entoprocta // *Ophelia*. 1964. V.1. №1. P.1—76.
4. Nielsen C. Three new species of *Loxosoma* (Entoprocta) from Phuket, Thailand, with a review of the genus // *Zoologica Scripta*. 1996. V.25. №1. P.61—75.
5. Giribet G., Distel D.L., Polz M. et al. Triploblastic relationships with emphasis on the acoelomates and the position of Gnathostomulida, Cycliophora, Plathelminthes, and Chaetognatha: A combined approach of 18S rDNA sequences and morphology // *Syst. Biol.* 2000. V.49. P.539—562.
6. Hausdorf B., Helmkampf M., Meyer A. et al. Spiralian phylogenomics supports the resurrection of Bryozoa comprising Ectoprocta and Entoprocta // *Mol. Biol. Evol.* 2007. V.24. №12. P.2723—2729.
7. Mackey L.Y., Winnepenninckx B., De Wachter R. et al. 18S rRNA suggests that Entoprocta are protostomes, unrelated to Ectoprocta // *Journal of Molecular Evolution*. 1996. V.42. №5. P.552—559.
8. Nielsen C. Entoproct life cycle and entoproct/ectoproct relationship // *Ophelia*. 1971. V.9. №2. P.209—341.
9. Emschermann P. The present state of our knowledge of the anatomy, the development and biology and the phylogeny of the Entoprocta (Kamptozoa) // *Bull. Soc. Zool. Fr.* 1982. V.107. №2. P.317—344.
10. Zrzavy J., Mibulka S., Kepka P. et al. Phylogeny of the Metazoa Based on Morphological and 18S Ribosomal DNA Evidence // *Cladistics*. 1998. V.14. P.249—285.
11. Haszprunar G., Wanninger A. On the fine structure of the creeping larva of *Loxosomella murmanica*: additional evidence for a clade of Kamptozoa (Entoprocta) and Mollusca // *Acta Zoologica*. 2008. V.89. P.137—148.
12. Funch P., Kristensen M. Cycliophora is a new phylum with affinities to Entoprocta and Ectoprocta // *Nature*. 1995. V.378. P.711—714.
13. Obst M., Funch P. The dwarf male of *Symbion pandora* (Cycliophora) // *Journal of Morphology*. 2003. V.255. №3. P.261—278.
14. Neves R.C., Cunha M.R., Funch P. et al. Comparative myoanatomy of cycliophoran life cycle stages // *Journal of Morphology*. 2010. V.271. №5. P.596—611.
15. Emschermann P. Ein Kreislauforgan bei Kamptozoen // *Z. Zellforsch.* 1969. V.97. P.576—607.

ДНК–штрихкодирование организмов

Т.В.Неретина,

сотрудник ББС им. Н.А.Перцова

Н.С.Мюге,

кандидат биологических наук,

старший научный сотрудник Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН,
заведующий лабораторией генетики ФГУП «ВНИРО»

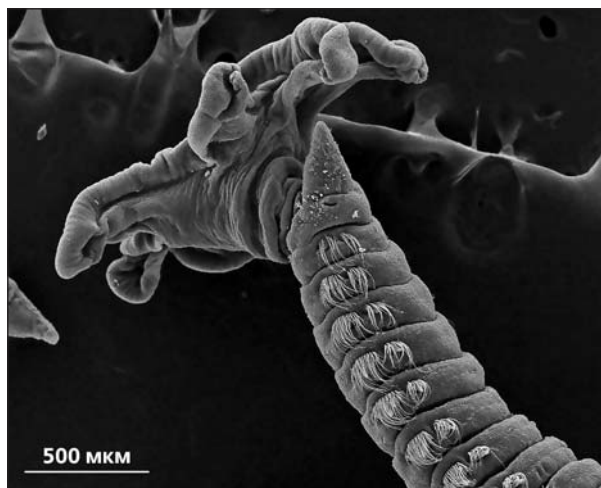
Организованный в 2003—2005 гг. международный проект «Штрихкод жизни» (The International Barcode of Life project, iBOL) призван объединить усилия генетиков, зоологов, ботаников и биоинформатиков и дать специфическую молекулярную метку, или штрихкод, каждому виду обитающих на Земле животных, растений и других организмов*. По этой метке любой организм, даже поврежденный, сохранившийся в виде какого-то фрагмента или находящийся на ранней стадии развития (непохожей на взрослое его состояние), можно будет точно определить. Канадский биолог П.Эбер в 2003 г. в качестве видо-специфичной метки предложил использовать последовательность нуклеотидов фрагмента гена, который есть у всех животных и растений, — он кодирует одну из субъединиц фермента цитохромоксидазы в митохондриях всех эукариот. Известно, что этот ген обладает достаточной разрешающей способностью для видовой идентификации большинства птиц, рыб, насекомых и многих других животных.

В 2009 г. на международной конференции по ДНК-штрихкодированию были сформулированы задачи проекта iBOL. Цель его — создать полную базу данных для 500 тыс. известных видов животных и растений. В ходе изучения видового разнообразия необходимо: связывать названия видов, морфологию и изменения последовательности ДНК; полученные данные использовать для мониторинга; изучать новые виды; оценить таксономически значимую географическую изменчивость и наличие криптических видов; описать генетическое разнообразие крупномасштабных популяций, характеризующее филогеографию; провести филогенетический анализ отдельных групп. Сейчас база данных эффективно пополняется лишь для некоторых таксонов, а внутривидовое разнообразие морских организмов изучается мало.

* См.: Захаров И.А., Шайкевич Е.В., Ившин Н.В. ДНК-штрихкодирование в энтомологии // Природа. 2007. №9. С.3—9.

Работа международной конференции нашла отклик и на ББС. В том же 2009 г. состоялась первая международная школа по молекулярным методам в зоологии, в которой участвовала сотрудница Центра ДНК-штрихкодирования (Канада) Кристи Карр. Тогда впервые собранные нами образцы морских беспозвоночных животных отправили в Канаду для молекулярно-генетического анализа. Тогда же возникла мысль о создании собственных коллекций как филиала Зоологического музея МГУ. Для такой коллекции мало поймать животное, выделить ДНК и определить нуклеотидную последовательность некоторого ее фрагмента. Необходимо точно определить объект, сфотографировать, а все данные о нем внести в специальную таблицу. Точное определение видовой принадлежности организма по его морфологическим признакам — задача зачастую очень сложная, и решить ее может только специалист по данной группе животных. Базы данных по ДНК-штрихкодированию живых организмов как раз и позволят определять вид, не прибегая к помощи специалистов-зоологов. Чтобы исключить ошибку определения, вернее, для возможности его перепроверки, необходимо сохранять «ваучерный образец» организма, взятый для выделения ДНК с последующим секвенированием фрагмента гена первой субъединицы фермента цитохромоксидазы (CO1). Таким образом, коллекция собранных животных — часть работы по ДНК-штрихкодированию. В некоторых случаях, правда, изучаемый объект настолько мал (например, многие планктонные организмы), что невозможно взять его небольшую часть и выделить ДНК; тогда остается только фотография экземпляра — так называемый электронный ваучер. В коллекции должно присутствовать не менее пяти экземпляров каждого собранного вида животных.

Активная работа по ДНК-штрихкодированию беломорской биоты началась с 2011 г., когда наша лаборатория смогла приобрести оборудование, необходимое для определения нуклеотидной последовательности ДНК. И уже летом 2011 г. мы



Многощетинковый червь *Scoloplos armiger* (слева — общий вид, справа — фрагмент головной части).

собрали более 1500 экземпляров, а к осени 2012 г. коллекция составляла уже 2500 образцов.

Почему так важны работы по ДНК-штрихкодированию именно на ББС? В течение последних 60 лет биота Кандалакшского залива тщательно изучается. На биостанции во время полевого сезона трудятся специалисты по самым разным группам морских беспозвоночных. В результате создан каталог биоты Белого моря, издан атлас его флоры и фауны. Таким образом, решается одна из самых ответственных и трудоемких стадий проекта — точное определение видовой принадлежности объекта. Есть и другая сторона вопроса: в Белом море с его пониженной соленостью видовой состав животных весьма беден. Значит, провести полную генетическую ревизию всех живущих в нем морских животных будет относительно просто (пока нам еще далеко до решения этой задачи). Подобное исследование позволит нам ответить на целый ряд очень интересных вопросов.

Участок Кандалакшского залива, в котором расположена ББС, изучен зоологами, пожалуй, лучше, чем любая другая часть Мирового океана. Однако до настоящего времени исследователи использовали лишь методы классической зоологии. Хорошо известно, что применение молекулярно-генетических методов в зоологии нередко приводит к пересмотру таксономического положения многих видов и групп животных. Сегодня и у нас появилась возможность сравнить результаты морфологических методов с молекулярно-генетическими данными. Одно из классических следствий применения молекулярных методов в зоологии и ботанике — выявление так называемых видов-двойников. Представители таких видов внешне сходны, т.е. не имеют четких морфологических различий, но они изолированы репродуктивно, и их генотип неидентичен.

В ходе исследований мы действительно обнаружили несколько таких пар. Как правило, мы находили различия в митохондриальной и ядерной ДНК представителей тех видов, у которых зоологи с самого начала подозревали наличие «двойников». Типичный пример — многощетинковый червь рода *Scoloplos*. Хотя считалось, что в Белом море существует только один вид этого рода — *S.armiger*, зоолог А.Э.Жадан, изучавшая его на основании морфологических данных, предполагала наличие двойника, занимающего иную экологическую нишу (ему даже дали название *S.acutus*). Сравнение последовательностей фрагментов нескольких ядерных и митохондриальных генов у двух предполагаемых видов не только подтвердило выводы морфолога, но и привело к выявлению третьего вида. Если между *S.acutus* и *S.armiger* морфологические различия найдены, то третий вид пока морфологически неотличим от *S.armiger*.

Совершенно неожиданным для зоологов оказалось существование двух внешне неразличимых и, видимо, обитающих практически в одном и том же месте представителей многощетинкового червя *Terebellides stroemi*. Полученные для них характеристики неопровержимо доказывают, что живущий в Белом море род *Terebellides* представлен двумя видами — один из них хорошо известен и обитает во многих морях, а другой найден пока только в Белом. Однако из этого не следует, что последний образовался именно там (ведь Белое море слишком молодо для возникновения непосредственно в нем новых видов). Вероятно, беломорский вид может обнаружиться при изучении фауны Баренцева моря.

Другая задача — исследование организмов, обитающих в более высоких широтах. ББС — один из научных центров, активно участвующих в изучении Арктики. В рамках договора о научном



Представители видов-двойников многощетинкового червя, которые пока объединены названием *Terebellides stroemi*.

сотрудничестве между биологическим факультетом МГУ и Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН проводятся совместные работы по изучению биоты Арктического бассейна. Так, во время рейса научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» отбирались пробы массовых видов зоопланктона и бентоса, общих для Белого и Карского морей. В настоящее время собранная фауна готовится для ДНК-стрихкодирования.

Молекулярно-генетические маркеры — незаменимый инструмент и для решения еще одной очень интересной задачи — так называемой «карликовости» беломорских видов. Специалисты полагают, что явление это связано с пониженной соленостью Белого моря. Известно, что многие здешние виды, обитающие и в других морях, имеют значительно меньшие размеры, чем их собратья. Было очень интересно сравнить их генетические характеристики. Для многих видов уже показано, что, несмотря на некоторую разницу в размерах и морфологии, беломорские обитатели генетически идентичны своим заокеанским родственникам.

Есть еще одна проблема. Сравнение последовательностей фрагментов только митохондриальной ДНК, конечно, поможет в видовой идентификации организма, но в большинстве случаев для получения более полной информации необходимо изучать и фрагменты ядерных генов. Так, на основании данных о нуклеотидной последовательности ДНК еще одного многощетинкового червя, *Lumbrineris fragilis*, мы также нашли еще два вида-двойника. Однако по анализу ядерной ДНК они оказались абсолютно идентичными, хотя их митохондриальная ДНК значительно (до 10% нуклеотидных замен) различается. В дальнейшем вы-



Многощетинковый червь *Lumbrineris fragilis*, имеющий виды-двойники.

яснилось, что в данном случае мы имеем дело с так называемой митохондриальной интрогрессией, при которой у одного вида обнаруживается митохондриальная ДНК другого. Такое возможно после гибридизации и последующих возвратных скрещиваний гибридов с особями из родительских популяций. К сожалению, здесь, как в случае с *Terebellides* и *Scoloplos*, мы не можем сказать, как и откуда попал в Белое море вид, с которым произошла гибридизация и, более того, не можем пока определить его видовую принадлежность. Однако надеемся, что генетическая ревизия беломорской биоты — только первый шаг на пути изучения обитателей Арктики. В ходе дальнейшей работы мы будем находить все больше ответов на свои вопросы. ■

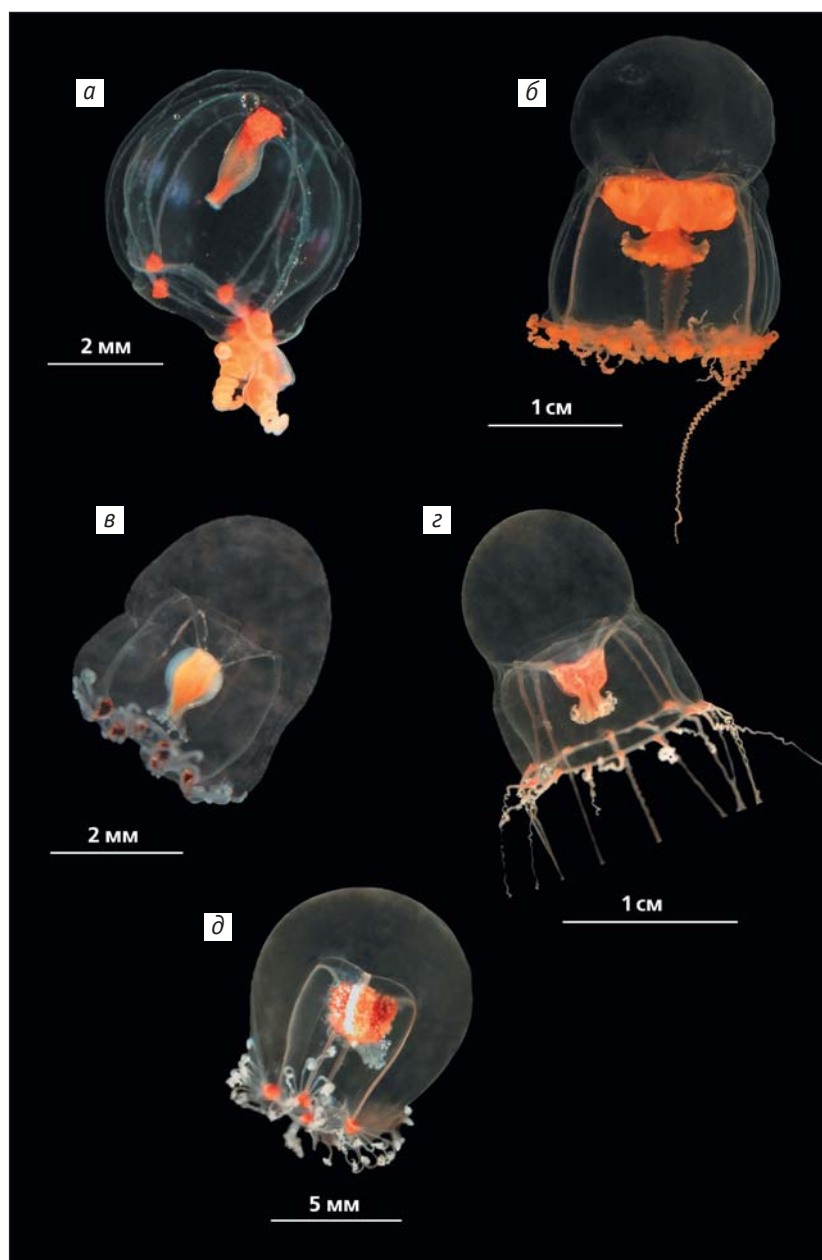
Наблюдения над гидроидными медузами

А.А. Прудковский,
кандидат биологических наук
научный сотрудник кафедры зоологии беспозвоночных им. М.В. Ломоносова

В бескрайнем просторе морей и океанов, от ледовитых вод полярных широт и до экватора, среди беспросветной ночи океанических глубин и у солнечной водной поверхности, живет множество плавающих в толще воды существ, которые носят имя «планктон». По определению, это совокупность организмов, не способных противостоять переносу течением.

Часто думают, что планктон — это мелкие организмы, едва видимые или совсем невидимые невооруженным глазом. Это не совсем так или даже совсем не так. Помимо множества видов бактерий, одноклеточных водорослей, простейших, мелких ракообразных и т.д., к планктону относятся и настоящие гиганты. Дальневосточные медузы-корнероты весят до 300 кг. У ярко-красной медузы цианеи диаметр колокола до 2 м и щупальца до 30 м в длину. Самая крупная костяная рыба — рыба-луна с массой тела до 2 т — тоже планктон: лишенная хвостового плавника, она не способна противостоять течению в той же степени, как и медузы.

Тело медуз по консистенции напоминает студень, поэтому содержащий их планктон назван студенистым. Все медузы — большие и маленькие, ярко окрашенные и почти невидимые — это половые стадии сложного жизненного цикла стрекочущих кишечнополостных. Другая стадия — живущие на дне полипы, одиночные или



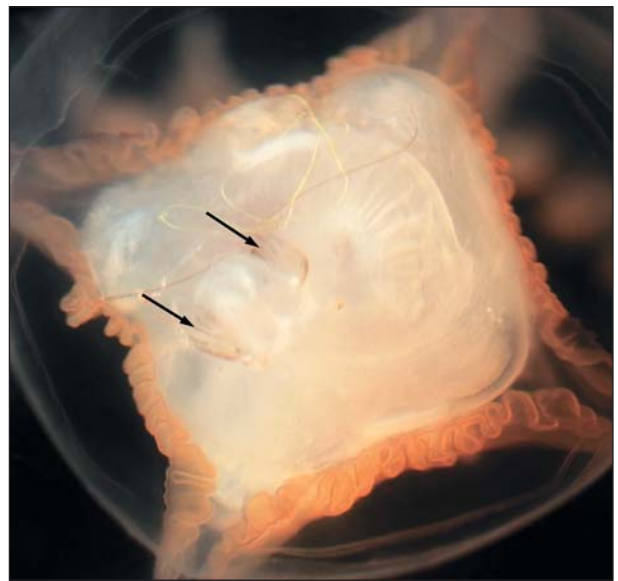
Медузы, пойманные в 2012 г. в акватории ББС: *Hybocodon prolifer* (а), *Catablema vesicarium* (б), *Rhatkea octopunctata* (в), *Halitholus* sp. (2), *Bougainvillia supercilialis* (д).

колониальные организмы, часто маленькие и невзрачные. Размножаются они бесполом путем — раз в год отпочковывают маленьких медузок, которые растут и становятся половозрелыми. Уплывая от места своего рождения на большие расстояния, медузы рассеивают крошечных личинок — планул, которые оседают на дно и дают начало полипам.

Большинство кишечнополостных, жизненный цикл которых включает стадию медузы, зоологи относят к двум классам — сцифоидным и гидроидным. Первые из них, как правило, — крупные организмы с диаметром тела в несколько десятков сантиметров. Вторые меньше, их диаметр всего несколько сантиметров. В Белом море обитают и те и другие, но дальше речь пойдет о наблюдениях за гидроидными медузами.

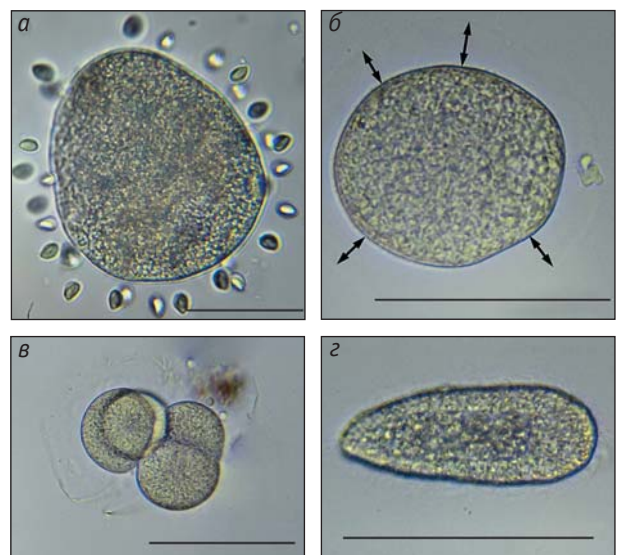
Исследования медуз и полипов на Белом море начались давно. В конце XIX в. Н.П. Вагнер опубликовал замечательное исследование, выполненное в акватории Соловецких о-вов [1]. Стоит обратить внимание на то, что Вагнера интересовало не только строение животных, но и особенности их биологии, их «привычки». По данным Н.М. Перцовой, много лет изучавшей планктонных животных Белого моря, в этом водоеме обитает 19 видов гидроидных медуз, из них 13 встречаются в окрестностях ББС МГУ [2]. Несмотря на многолетние наблюдения, медуза *Hybocodon prolifer* впервые обнаружена в акватории биостанции только в мае 2012 г. Мало известно о местообитании полипоидной стадии развития в Белом море нескольких видов гидроидов — *Bougainvillia superciliaris*, *Rhatkea octopuncata*, *Halitholus* sp. и *Catablema vesicarium*. Жизненный цикл первых двух хорошо изучен благодаря культивации гидроидных полипов из Северного моря [3, 4], о взаимосвязи гидроидов *Perigonimus yoldia-arcticae* и медуз *Halitholus* sp. можно только предполагать [4], а полипы *C. vesicarium* до сих пор не описаны. Чтобы проследить жизненный цикл этих видов, я культивировал медуз и полипов в лабораторных условиях на Беломорской биостанции.

Собрать медуз *B. superciliaris* не составляет особого труда: они регулярно появляются у пирса биостанции в мае-июне, и чтобы поймать их, достаточно зачерпнуть медуз кружкой и содержать их в стеклянной банке при температуре 10–12°C. Они могут долго так жить, но иногда им все же стоит менять воду и кормить мелкими рачками (копеподами), которые в изобилии встречаются у поверхности моря в период развития медуз. Во время ловли добычи *B. superciliaris* использует стратегию «ожидающего хищника». Она парит, не двигаясь, а ее щупальца дугообразно изогнуты вниз и образуют широкий купол. Жертве достаточно прикоснуться, чтобы приклеиться к щупальцам внешнего круга, которые передают ее на внутренний круг, откуда добыча отправляется уже в рот.



Желудок медузы *C. vesicarium* со съеденной морской стрелкой *Sagitta elegans* (вид со стороны колокола). Стрелки указывают на щетинки по краям головы сагитты.

Также просто можно культивировать и других беломорских прибрежных медуз. Правда, более крупные из них, относящиеся к семейству Pandeidae, питаются иначе. Например, *C. vesicarium* может поймать не только маленьких прибрежных копепод, но и крупных беломорских рачков *Calanus glacialis* и *Metridia longa*. В аквариуме эти медузы ели себе подобных — *B. superciliaris*



Этапы полового размножения гидромедуз: яйца медуз *Halitholus* sp. (а; на поверхности яйца видны кинодоцисты) и *Catablema vesicarium* (б; стрелками обозначена студенистая оболочка яйца); начало дробления яйца *C. vesicarium* (в) и планула (г). Размер масштабной линейки 50 мкм.

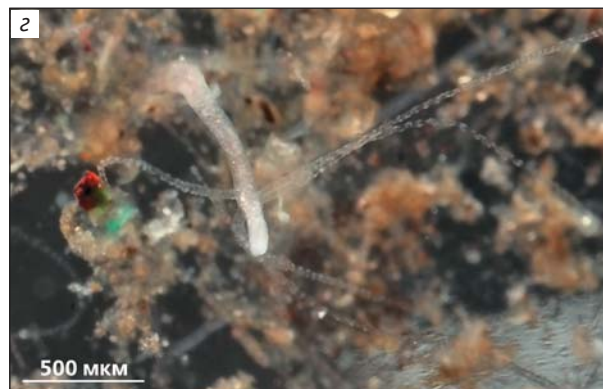
и *H.prolifer*, подбирали со дна аквариума погибших морских стрелок *Sagitta elegans*, а также кусочки нарубленной мидии. Хотя медузы способны существовать длительное время в небольшой емкости, стрессовые условия приводят к преждевременному нересту. Большинство яиц, которые получены от медуз *Halitholus* sp. и *C.vesicarium* в июне-июле, оказались незрелыми и не способными к дальнейшему развитию.

У *B.superciliaris* из яиц развиваются личинки (планулы) прямо на ротовом хоботке (манубриуме) самки. Оторвутся они от нее, только когда созреют и станут готовы к оседанию. Свообразную заботу о потомстве я наблюдал у медуз *R.octopunctata* — одновременно с развитием потомства самка погибала, и на том месте субстрата, куда она опустилась, появляется новая колония. Таким образом, родительская особь «инвестирует» свои сбережения потомкам.

У остальных видов сформированные яйца выбрасываются в воду во время нереста. Яйца *Halitholus* sp. и *C.vesicarium* имеют необычную оболочку, которая, возможно, растягивает период, в течение которого яйцо находится в толще воды. Но, может быть, студенистая оболочка помогает яйцам *C.vesicarium* плотно прилипнуть к субстрату и удержаться на нем.

Вышедшие из яиц планулы оседают на субстрат, причем одним из них важно, на какой именно, а другим — нет. Личинки разных видов отличаются и размерами, и поведением. У *B.superciliaris* они крупные, двигаются степенно. Опустившись на субстрат, долго скользят по нему, выбирая более удачную точку для прикрепления. На чистой стеклянной поверхности такие планулы погибают, что вероятно связано с недостатком индукторов для метаморфоза. У *R.octopunctata* личинки значительно меньше и чрезвычайно подвижны, а у *C.vesicarium* — совсем миниатюрные и медлительные, они долго ввинчиваются в субстрат или неспешно ползают по его поверхности. Если такую планулу потревожить, она сокращается и становится шарообразной. В толщу воды эти личинки почти не поднимаются.

Мелкие колонии полипов иногда крайне сложно обнаружить на естественных субстратах в море. Еще труднее различить морфологически сходных полипов и колонии разных видов. Отличаются они по местообитанию, особенностям колониального роста и поведению. Обнаружив колонию *P.yoldia-artcticae* на раковинке моллюска *Elliptica elliptica*, я осторожно перенес полипа на предметное стекло, где он со временем образовал новый стolon. Хотя на искусственном субстрате ограничений нет, вы-



Культуры различных гидроидов, выращенных в лабораторных условиях на стеклах: *P. yoldia-artcticae* (а), *B. superciliaris* (б), *C. vesicarium* (в), *Rh. octopunctata* (г). Культуры гидроидов на фигурах б—г получены в результате оседания планул соответствующих видов медуз. Участок колонии *P. yoldia-artcticae* был пересажен на стекло с раковины моллюска *Elliptica elliptica*.

росла компактная колония: стolon образует многочисленные точки ветвления, но общие размеры колонии увеличиваются довольно медленно. Такой тип роста, который, вероятно, обычен для колонии на поверхности раковины небольших моллюсков, я обнаружил и у культивируемой колонии *C.vesicarium*. Хотя о местообитании полипов в море точно пока неизвестно, можно предположить, что это — раковинки моллюсков или трубки многочисленных червей.

Двустворчатые моллюски и некоторые черви создают пищевые потоки воды с помощью ресничек. Полипы, поселяясь по соседству, выхватывают пищевые частицы из потока и таким образом всегда сыты. Колонии *B.superciliaris* и *R.octopunctata* на стекле в начале роста образуют сравнительно длинные линейные stolony. Так обычно растут *B.superciliaris* на вытянуто-цилиндрических ветвях водоросли *Ascophyllum nodosum* или поверх ветвей крупных колоний других гидроидных полипов в районе с сильными приливно-отливными течениями на Еремеевском пороге.

Полипы исследованных видов питаются различными планктонными рачками, придонными копеподами, коловратками и нематодами. Жертва налетает на расправленное щупальце полипа и захватывается с использованием стрекательных капсул книдоцит. У *C.vesicarium* полипы расположены столь близко друг к другу, что иногда одну и ту же жертву пытаются заглотить сразу два соседа. Размер добычи зависит от величины полипов. Для самых юных из них подходят микроскопические коловратки, нематоды и личинки веслоногих ракообразных. Но даже такая добыча порой велика для миниатюрного хищника в начале его роста. Этот период — самый сложный для молодой колонии, и нередко она погибает от голода.

Когда полипы подрастают и их пищевой рацион расширяется, начинает интенсивно расти и вся колония. Нарастивая клеточную массу, она обеспечивает себе запас стабильности для переживания



Колония *B. superciliaris* с медузоидными почками, которая была обнаружена в акватории биостанции в марте 2011 г.

неблагоприятных условий. Замедление роста колонии может быть связано с неоптимальными условиями температуры и солености или с недостатком пищи. Зимой, при недостатке пищи и низкой температуре, колонии малоактивны, но полипы могут и не рассасываться. Проведенные эксперименты показывают, что покоящийся стolon *B.superciliaris* способен прожить полгода в небольшом объеме воды, без пищи и при неестественно высокой, комнатной, температуре. В благоприятных условиях на stolone появляются новые полипы.

Жизненный цикл гидроидов замыкается, когда весной на колониях появляются медузоидные почки. Весна — наиболее загадочный период для исследователей биологии моря. Подо льдом, в таинственной глубине моря, зарождается новая жизнь, но она сокрыта от чужих глаз. Только удачное стечение обстоятельств позволило мне в марте 2011 г. обнаружить колонию *B.superciliaris* с развивающимися медузоидными почками на собранном водолазами материале [5]. Другие виды пока хранят тайны рождения своих медуз. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 12-04-32296 мол_а.

Литература

1. Вагнер Н.П. Беспозвоночные Белого моря. Зоологические исследования, произведенные на берегах Соловецкого залива в летние месяцы 1876, 1877, 1879 и 1882 года Николаем Вагнером, почетным членом и ординарным профессором Императорского Санкт-Петербургского университета. Т.1. СПб., 1885.
2. Перцова Н.М. Некоторые данные по экологии гидроидных медуз в Белом море // Комплексные исследования природы океана. 1979. Вып.6. С.231—242.
3. Werner B. Morphologie und Lebensgeschichte, sowie Temperaturabhängigkeit der Verbreitung und des jahreszeitlichen Auftretens von *Bougainvillia superciliaris* (L. Agassiz) (Athecatae-Anthomedusae) // Helgolander wissenschaftliche Meeresuntersuchungen. 1961. Bd.7. S.206—237.
4. Schuchert P. The European athecate hydroids and their medusae (Hydrozoa, Cnidaria): Filifera Part 2 // Revue suisse de Zoologie. 2007. V.114. №2. P.195—396.
5. Прудковский А.А. Особенности жизненного цикла и питания *Bougainvillia superciliaris* (L. Agassiz, 1849) (Cnidaria, Hydrozoa, Filifera) в Белом море // Зоология беспозвоночных. 2012. Т.9. Вып.2. С.71—90.

Стрекающие — миниатюрные обитатели толщи грунта

С.В. Пятаева,

кандидат биологических наук,

научный сотрудник кафедры зоологии беспозвоночных биофака МГУ им. М.В. Ломоносова

В окрестностях ББС, в море на глубине около 13–17 м, среди зарослей губок, мшанок и редких кустиков красных водорослей встречаются небольшие участки песчаного дна, которые выглядят совершенно безжизненными. Но если горсть грунта промыть через сито и полученную пробу рассмотреть под микроскопом, то можно обнаружить множество разнообразных животных. Это — мейофауна, или мейобентос, объединяющая животных, которые проходят сквозь сито с ячейей в 1 мм, но задерживаются в сите с ячейей 43 мкм.

Некоторые представители мейофауны — это просто миниатюрные обитатели поверхности дна и водных растений, и кроме размеров они мало чем отличаются от своих более крупных донных сородичей. Особый же интерес представляют те мейобентосные животные, которые обитают в самой толще грунта. Видовой состав мейофауны в конкретном биотопе во многом определяется размером частиц грунта. В крупнозернистом песке или ракушке такие организмы должны протискиваться между песчинками в узком, заполненном водой пространстве (интерстициали), поэтому они обычно удлинённой формы: например, круглые черви, червеобразные гарпактициды, гастротрихи, ресничные черви и т.д. В отдельных камерах, образованных гранями соседних песчинок, живут обладатели компактной формы и прочных покровов — ракушковые рачки остракоды и тихоходки, которые изредка перемещаются в поисках пищи из одной камеры в другую. Однако далеко не все мейобентосные животные из толщи грунта — интерстициальные; например, киноринхи по размеру подпадают под определение мейофауны, но предпочитают жить в илистом грунте очень тонкой фракции.

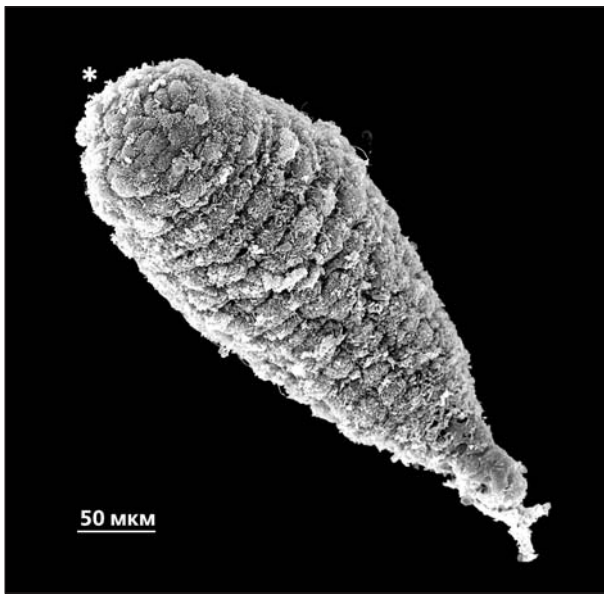
Учитывая все перечисленные требования, было бы странно найти в толще грунта стрекающих, или книдарий (Cnidaria). Называются они так из-за наличия в их стенке тела стрекательных капсул (книдоцист), которые используют для захвата добычи и защиты: внутри капсулы свернута стрекательная нить, которая при механическом или химическом раздражении мгновенно «выстрелива-

ет», пронзая покровы жертвы или приклеиваясь к ним. К стрекающим относятся как полипы (пресноводная гидра, мадрепоровые кораллы, актинии и др.), так и медузы (миниатюрные гидроидные, а также заметные невооружённым глазом сцифоидные и кубомедузы). На ламинариях в Белом море можно легко обнаружить необычных сидячих стаурумедуз.

Как ни удивительно, живут книдарии и в грунте, причем они совсем не похожи на сородичей, обитающих в привычных для этой группы условиях. Всего известно около 30 видов мейобентосных стрекающих, наиболее многочисленны представители класса гидроидных (Hydrozoa). В их жизненном цикле половая стадия чередуется с бесполой: медуза продуцирует половые клетки, получившаяся после оплодотворения зигота развивается в плавающую личинку (планулу), которая вскоре оседает на дно и превращается в полипа, отпочковывающего медуз следующего поколения. У некоторых гидроидных одна из стадий жизненного цикла может быть редуцирована.

Обитают такие необычные книдарии и в Белом море, в окрестностях ББС. В среднем горизонте приливо-отливной зоны в илисто-песчаном грунте живет протогидра (*Protohydra leuckarti*) — веретенновидный гидроидный полип без щупалец и с бугристой из-за множества книдоцист поверхностью. Передвигается она в толще песка, активно сокращаясь, при этом раздвигает песчинки сильно раздувающимся передним концом и вбуравливается в толщу грунта. Чтобы остановиться, она приклеивается к частицам песка с помощью прикрепительного диска, расположенного в основании полипа.

Несмотря на медлительность и миниатюрность, этот полипчик — активный хищник, влияющий на численность других мейобентосных животных [1]. Мы наблюдали, как беломорские протогидры охотились на нематод в толще грунта: встретив червя, полип мгновенно поражаёт его залпом многочисленных книдоцист. Затем протогидра начинала медленно поглощать обездвиженную жертву, наполняя на неё ротом. Зачастую добыча, которой помимо нематод могут стать личинки насекомых, веслоногие рачки, остракоды, гастротрихи и олигохеты, превосходит полипа



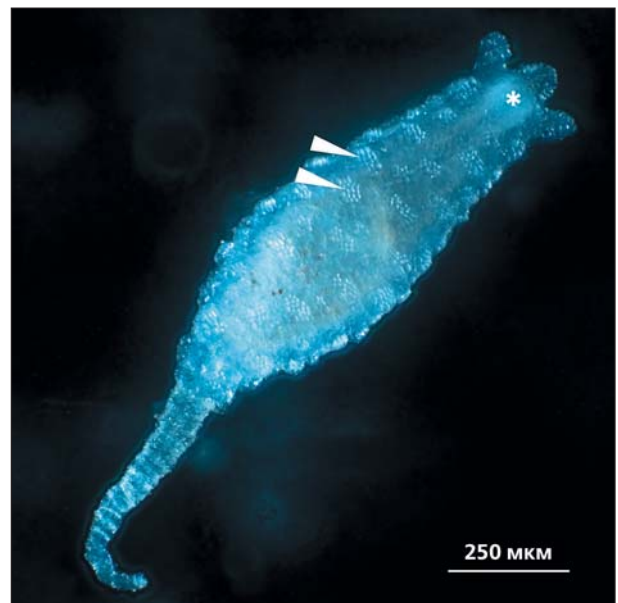
Мейобентосные полипы: протогидра (слева) и бореогидра. Рот отмечен звездочкой, «ризоид» — стрелкой; сч — слизистый чехол.

в длину и оказывается свернутой в его пищеварительной (гастральной) полости. От непереваренных остатков протогидры избавляется тем же путем — через рот, единственное отверстие у всех стрекающих.

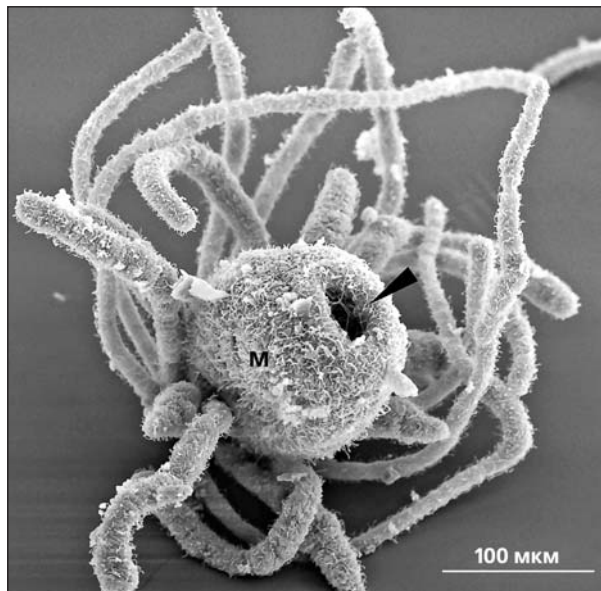
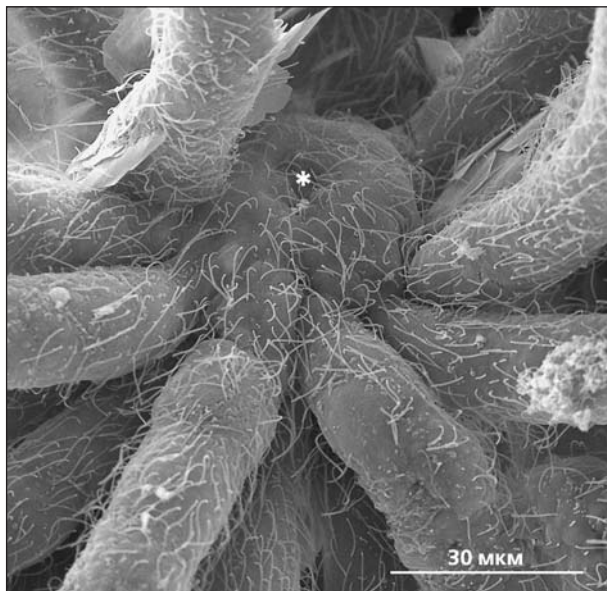
О жизненном цикле *Pleuckarti* известно совсем немного. В пробе грунта довольно часто встречаются особи, размножающиеся бесполом путем (за счет деления поперечной перетяжкой), и крайне редко — половым. У нее нет медузоидной стадии. «Гонады» (крупные яйцеклетки у женских особей и скопления сперматозоидов у мужских) закладываются прямо в стенке тела полипа и растут по мере его созревания, постепенно вдавливаясь внутрь его гастральной полости. Сведения о том, каким образом происходит оплодотворение и дальнейшее развитие протогидры, очень скудны и противоречивы. Однажды удалось наблюдать, как зрелое яйцо высвободилось через разрыв в стенке тела полипа, после чего материнская особь погибла [2]. Казалось бы, дальнейшее развитие должно проходить во внешней среде, однако позже были найдены материнские особи с уже развивающимися внутри эмбрионами [3].

Еще меньше известно о другом мейобентосном полипе — бореогидре (*Boreohydra simplex*). В окрестностях ББС МГУ она обитает на глубине более 15 м в холодных жидких илах очень тонкой фракции. У этого полипа есть 3–5 коротких щупальца, расположенных мутовкой подо ртом, и ножка, покрытая слизистым чехлом, который заканчивается тонким «ризоидом», помогающим, видимо, бореогидре закрепиться в жидком илу. Как и протогидра, *B. simplex* любит охотиться на нематод, которых она обездвиживает батареями книдоцитов, покрывающих всю ее поверхность.

О бесполом размножении бореогидры поперечной перетяжкой было известно, мы же на Белом море обнаружили многочисленные экземпляры, делящиеся продольно. До сих пор неясно, есть ли в жизненном цикле бореогидры стадия медузы: сначала нашли нескольких полипов с глобулярными структурами и решили, что это еще незрелые медузоидные стадии [4], затем обнаружили двух бореогидр с образованиями в стенке тела, похожими на «гонады» пресноводной гидры [5].



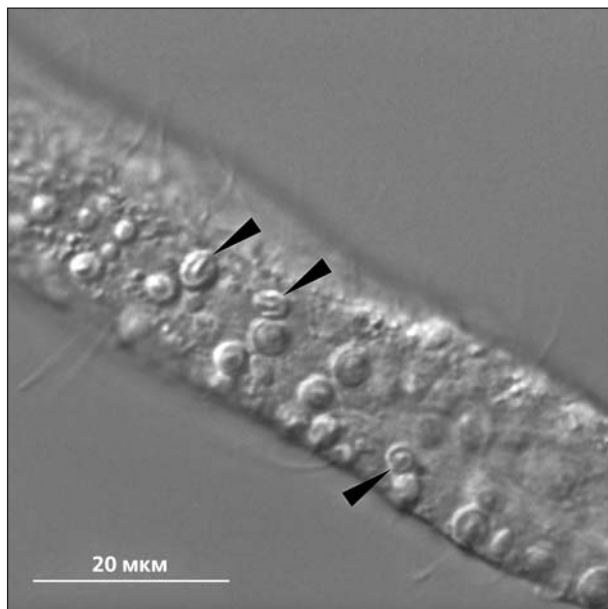
Бореогидра. Звездочкой отмечен рот, стрелками обозначены батареи стрекательных клеток.



Халаммогидра. На фото слева — аборальный конус с отходящими от него щупальцами и адгезивным органом в центре (отмечен звездочкой), справа — вид со стороны рта (м — манубриум, стрелкой обозначен рот).

Самая необычная книдария из толщи грунта на Белом море — микроскопическая медузка халаммогидра (*Halammothrix* sp.), описанная еще в 20-х годах прошлого века [6]. В то время обнаружение медузы, обитающей в толще грунта, стало зоологической сенсацией, и до сих пор халаммогидра изображена на эмблеме Международной ассоциации мейобентологов*.

*www.mciofauna.org



Щупальце халаммогидры. Стрекательные капсулы обозначены стрелками.

Халаммогидра — настоящий обитатель интерстициали. Прозрачное тело этой медузки полностью покрыто жгутиками и состоит из двух основных частей: небольшого аборального конуса, который, видимо, гомологичен куполу зонтика обычных планктонных медуз, и более крупного ротового стебелька (манубриума). Обе части связаны узкой зоной, несущей длинные щупальца и расположенное под ними кольцо органов равновесия — статоцистов. Медуза плавно движется между частицами песка за счет биения жгутиков на поверхности тела. Реактивное движение, характерное для обычных медуз из толщи воды, халаммогидра полностью утратила, но сохранила направление движения — вперед аборальным полюсом. Более короткими щупальцами медузка может грести, а более длинными — рулить. Клетки манубриума содержат многочисленные темные включения, придающие ему желтоватый, оранжеватый или розоватый оттенок. Возможно, цвет зависит от рациона медузы, которая питается теми же нематодами и микроскопическими рачками гарпактицидами. Добычу халаммогидра поражает книдоцистами, разбросанными по всему телу и сконцентрированными вокруг рта и на щупальцах, а затем заглатывает и переваривает в полости манубриума. Ни желудка, ни системы каналов, пронизывающих зонтик обычных планктонных медуз, у халаммогидры нет, что связано с очень небольшими размерами самой медузки и ее зонтика — аборального конуса. Посередине него есть углубление, наполненное слизистыми клетками, — прикрепительный (адгезивный) орган. С его помощью халаммогидра, если ее потревожить, быстро приклеивается к частицам грунта,

но продолжает двигаться вокруг своей оси, работая жгутиками. Развитие органов прикрепления и равновесия характерно для интерстициальных животных и связано с подвижностью окружающей среды [7].

В жизненном цикле халаммогидры нет полипидной стадии. Медузы раздельнополые, половые клетки формируются в стенке манубриума. После оплодотворения яйца развиваются в интерстициали в ювенильную медузку с четырьмя щупальцами и четырьмя статоцистами, количество которых постепенно увеличивается по мере роста животного [8,9].

Каким же образом медузы могли попасть из толщи воды в интерстициаль? Некоторое время миниатюрная халаммогидра, относительно просто устроенная по сравнению с крупными планктонными медузами, считалась предковой формой для других гидроидных, «живым ископаемым» интерстициали [10]. Однако, по современным данным молекулярной филогенетики, халаммогидра — близкий родственник крупных планктонных трахимедуз ропалонематид [11]. Возможно, от них и произошла интерстициальная халаммогидра, размеры которой значительно уменьшились в результате прогенеза — ускорения созревания и приобретения возможности размножаться на ранней, ювенильной, стадии. Такое происхождение предполагается и для многих других групп мейофауны [12]. Подтверждением

тому служит наличие у зрелой халаммогидры жгутиков, что характерно лишь для личинок, но не для взрослых стадий других гидроидных, а потому может рассматриваться как личиночный признак. Миниатюризация за счет прогенеза считается важным приспособлением при заселении интерстициали беспозвоночными [13]. Отмечено, что среди трахимедуз известны виды, ведущие не только исключительно планктонный, но и околодонный образ жизни. Возможно, эволюция таких медуз — предшественников интерстициальной халаммогидры — и послужила началом заселению толщи грунта планктонными медузами [11].

До сих пор квидарии — одна из наименее изученных групп мейофауны: нам неведомо многое из их биологии. До конца не ясно и положение большинства уже известных видов в системе типа Cnidaria. Непонятно, как реализуются жизненные циклы тех видов гидроидных, которые описаны по незрелым экземплярам полипов из толщи грунта. Отпочковывают ли эти полипчики медуз, которые потом из грунта уходят в толщу воды, или, может быть, половая медузоидная стадия редуцирована и полип формирует «гонады» в стенке тела? Всестороннее исследование мейобентосных квидарий могло бы прояснить эволюционную историю типа стрекающих в целом и понять, каким образом происходило заселение толщи грунта в пределах этой группы. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты № 12-04-32149, 11-04-00994.

Литература

1. Heip C., Smol N. On the importance of *Protohydra leuckarti* as a predator of meiobenthic populations // Proceedings of the 10th european symposium on marine biology / Eds G.Persoone, E.Jaspers. Ostend, 1975. P.285—296.
2. Westblad E. Neue Beobachtungen über Protohydra // Zoologischer Anzeiger. 1935. Bd.111. S.152—158.
3. Nyholm K.G. A contribution to the study of the sexual phase of *Protohydra leuckarti* // Arkiv för Zoologi. 1951. Bd.2. №6. S.529—530.
4. Westblad E. Notes on Hydroids // Arkiv för Zoologie. 1947. Bd.39A. №5. S.1—23.
5. Nyholm K.G. Egg cells in the ectoderm of *Boreohydra simplex* // Arkiv för Zoologie. 1951. Bd.2. №7. S.531—533.
6. Remane A. *Hallamohydra*, ein eigenartiges Hydrozoon der Nord- und Ostsee // Zeitschrift für Morphologie und Öcologie der Tiere. 1927. Bd.7. S.643—677.
7. Swedmark B. The interstitial fauna of marine sand // Biological Reviews. 1964. V.39. P.1—42.
8. Swedmark B., Teissier G. Développement d'un Hydrozoaire aberrant *Halammohydra schulzei* Remane // Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. 1950. T.231. P.173—174.
9. Swedmark B., Teissier G. Organisation et développement des *Halammohydra* (Hydrozoaires). Paris, 1957. T.244. P.501—504.
10. Swedmark B., Teissier G. The Actinulida and their evolutionary significance in the Cnidaria // The Cnidaria and their evolution / Ed. W.J.Rees. L., 1966. P.119—133.
11. Collins A.G., Bentlage B., Lindner A. et al. Phylogenetics of Trachylina (Cnidaria: Hydrozoa) with new insights on the evolution of some problematical taxa // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 2008. V.88. №8. P.1673—1685.
12. Westheide W. Progenesis as a principle in meiofauna evolution // J. Nat. Hist. 1987. V.21. №4. P.843—854.
13. Gould S.J. Ontogeny and phylogeny. Cambridge, 1977.

Моллюск–долгожитель

А.И. Исаченко,

ведущий инженер ББС им. Н.А. Перцова

В.О. Мокиевский,

доктор биологических наук,

старший научный сотрудник Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН

Среди морских организмов немало долгожителей. Например, антарктические стеклянные губки живут до 40 тыс. лет [1]. Правда, губки слишком сильно отличаются от других животных, и пока даже не решено, отдельный это организм или колония, состоящая из неопределенно большого числа особей, которые переходят одна в другую. Да и нервной системы у губок нет, а потому, должно быть, они не нервничают и живут «долго и счастливо».

Среди тех организмов, у которых индивидуальность не вызывает сомнений, рекордсменами по продолжительности жизни можно назвать морских двустворчатых моллюсков. И среди них достоин особого внимания отнюдь не тропический гигант тридакна с раковиной до 120 см при массе 220–340 кг, живущий немногим более 100 лет, а относительно небольшой арктический моллюск *Arctica islandica*. Самые крупные экземпляры этого вида достигают 13 см (обычно 5–8 см), а вот максимальная продолжительность жизни, надежно установленная точными лабораторными методами по отложению слоев минеральной раковины, — 507 лет [2]. Это открытие сделало *A. islandica* популярным объектом исследования не только геронтологии, но и науки, изучающей климат Земли в прошедшие эпохи, так как летопись температур окружающей среды записана в изотопном составе слоев раковин моллюсков. Все это заставляет внимательно относиться к биологии этого замечательного вида, тем более что *A. islandica* — обычный беломорский житель с плотностью поселений на глубинах от 10 до 30 м до 600 экз. на м².

Вопрос, однако, состоит в том, как изучать биологию моллюска. При традиционном способе с борта судна опускается трал, который принесет со дна большой мешок ила. Промыв его, мы получим несколько десятков целых и частично разрушенных раковин. Такой способ в лучшем случае позволит нам определить глубины и характер грунтов, на которых моллюск обитает. Уже несколько десятков лет морские биологи используют дночерпатель, позволяющий захватывать мягкий грунт с определенной площади и таким образом определять плотность поселения организ-



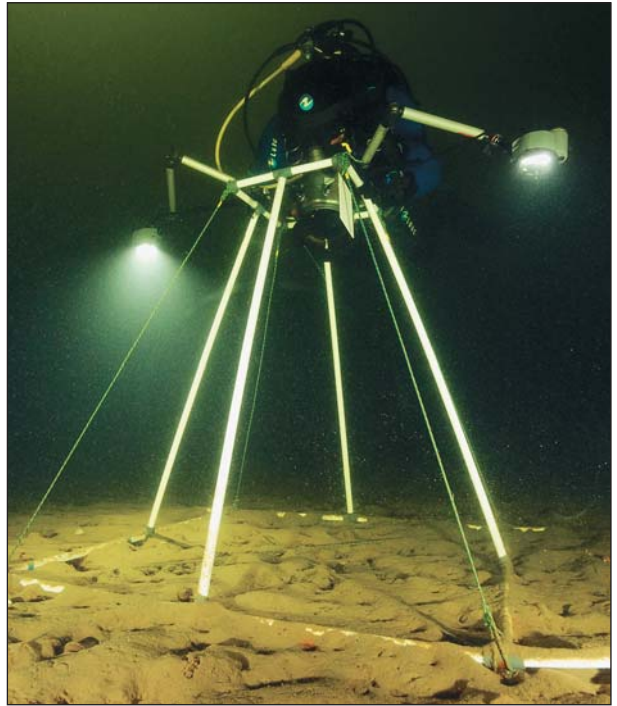
Моллюск-долгожитель *Arctica islandica*.

мов. Правда, дночерпатель снимает только верхний слой грунта и не захватывает животных, способных закапываться в толщу субстрата. Больше информации дадут наблюдения водолаза, который отметит взаимное расположение моллюсков на дне, плотность их поселений. Однако водолаз может пробыть под водой час-полтора, а моллюски, как правило, никуда не спешат (да и куда спешить долгожителю, измеряющему свою жизнь столетиями!), поэтому неизвестными останутся и поведение моллюсков, и их медленные перемещения, и изменение характера, и другие черты биологии.

Вот почему мы поставили перед собой задачу разработать бесконтактные методы наблюдения, позволяющие изучать моллюска в природных условиях в течение длительного времени. Для этого мы сконструировали «подводный штатив», представляющий собой усеченную пирамиду, на верхнюю площадку которой ставили камеру для съемки. Конструкция позволяет жестко фиксировать подводный бокс фотоаппарата и снимать с высокой четкостью один и тот же участок дна площадью 1 м² с постоянной точки в течение длительного времени. Сравнивая последовательно сделанные фотографии, можно отслеживать перемещения отдельных особей, формирование ими агрегаций, регистрировать ритмику жизнедеятельности. Наши первые экспериментальные наблюдения продолжались всего 24 дня, но и они дали некоторые новые сведения о жизни *A. islandica*.

Питается этот двустворчатый моллюск как фильтратор, при этом находится в верхнем слое грунта, выставляя на поверхность короткие трубочки — сифоны. Через вводной сифон в мантийную полость поступает вода, из которой моллюск отфильтровывает микроскопические водоросли (ими моллюск питается), а через выводной отработанная вода выбрасывается обратно. При фотографировании ненарушенного участка дна на поверхности грунта видны только сифоны моллюсков. Моллюски располагаются не равномерно, а образуют агрегации по четыре—семь особей. Зачем это нужно? Близкое соседство нескольких животных позволяет объединить усилия и создать мощный приносящий пищу ток воды. Такое явление отмечено и для других видов двустворчатых моллюсков [3].

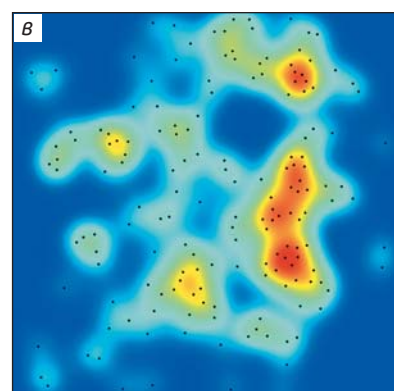
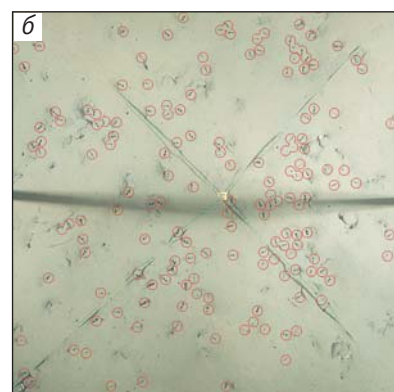
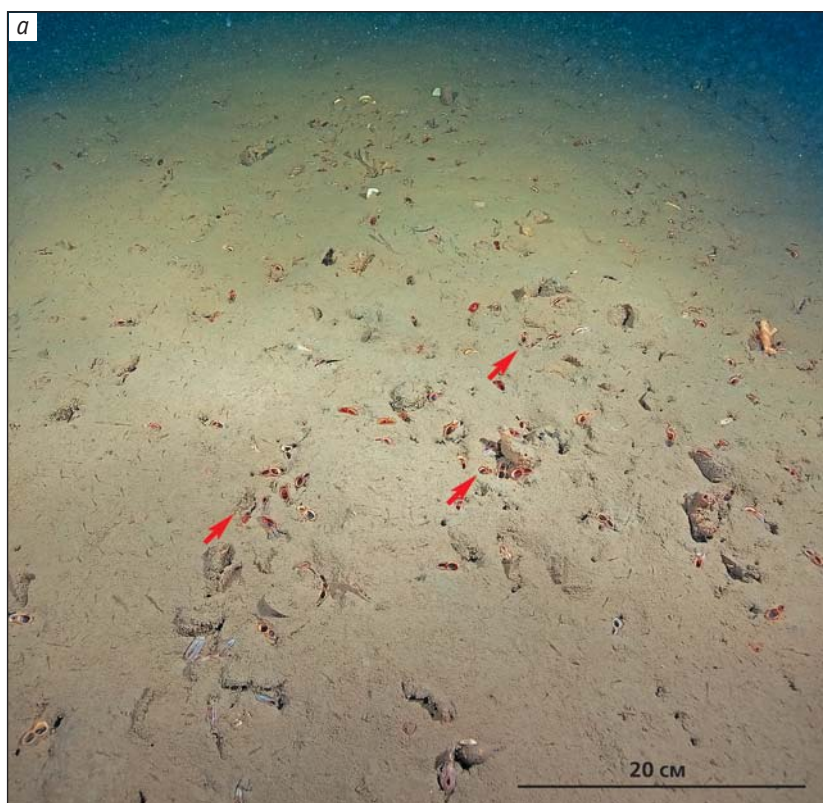
Возможно, агрегации помогают моллюскам защищаться от хищников, например от крупной морской звезды *Asterias rubens*. Стоит такому хищнику появиться на выбранной для наблюдения площадке, поведение моллюсков меняется. Если обычно на поверхности грунта видны сифоны приблизительно 140 особей, то с приближением морской звезды остается только 40. Куда исчезают остальные? Они закапываются в глубокие слои грунта, откуда звезда их добыть не сможет. Имен-



Фотосъемка распределения моллюсков на постоянной площадке с помощью подводного штатива.



На поверхности грунта видны только сифоны *A. islandica*. Глубина — 10 м.



Плотное поселение *A. islandica* на дне Ругозерской губы Белого моря (а). Отдельные (но далеко не все) скопления отмечены стрелками. На следующий день после установки «подводного штатива» с его помощью были сделаны фотографии (б), на которых отмечены контуры агрегации моллюска (в).

но такое глубокое закапывание (а не горизонтальные миграции) — главная причина изменения видимой плотности поселения моллюсков. Долговременные наблюдения показали, что на выбранном участке постоянно обитало около 300 особей, но одновременно были видны сифоны менее половины из них, а при появлении врагов 90% моллюсков зарывались в глубокие слои грунта.

Моллюски могут оставаться в глубине грунта несколько дней, а то и несколько недель. В это время животные не фильтруют, а это означает, что они лишены не только пищи, но и кислорода. В лабораторных экспериментах установлено, что в такой период моллюски переходят к анаэробно-

му типу метаболизма, причем обмен веществ резко замедляется [4]. Таким образом, периоды активной фильтрации у поверхности грунта чередуются у *A. islandica* с периодами резкого замедления жизнедеятельности при погружении в глубину субстрата.

Опробованный нами метод, как нам представляется, имеет большие перспективы для долговременного наблюдения за жизнедеятельностью морских организмов без какого-либо нарушения целостности сообществ. В ближайшем будущем такие наблюдения будут продолжены, и не только в отношении моллюска-долгожителя *A. islandica*, но и других обитателей морского дна. ■

Литература

1. Gatti S. The role of sponges in high-antarctic carbon and silicon cycling — a modelling approach // Berichte zur Polar- und Meeresforschung. 2002. B.434. S.1—124.
2. Munro D., Blier P.U. The extreme longevity of *Arctica islandica* is associated with increased peroxidation resistance in mitochondrial membranes // Aging Cell. 2012. V.11. №5. P.845—855.
3. Jonsson P.R., Petersen J.K., Karlsson O. et al. Particle depletion above experimental bivalve beds: In situ measurements and numerical modeling of bivalve filtration in the boundary layer // Limnol. Oceanogr. 2005. №50. P 1989—1998.
4. Taylor A.C. Burrowing behavior and anaerobiosis in the bivalve *Arctica islandica* (L.) // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 1976. №56. P.95—109.

Реагрегация клеток у губок

А.И.Лавров,

аспирант кафедры зоологии беспозвоночных
биологического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова

И.А.Косевич,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же кафедры

Губки (Porifera) — одни из самых примитивных многоклеточных животных. Это прикрепленные организмы, у которых нет ни нервной системы, ни мускулатуры, ни рта, ни кишечника. Тем не менее, анатомическая и клеточная организация губок не так уж и проста. Все их тело пронизывает сложно устроенная водоносная система. Начинается она на поверхности губок тысячами мельчайших пор (остий), через которые вода проникает в каналы, по ним достигает жгутиковых камер, затем через выводные каналы попадает в общую полость и выходит во внешнюю среду через большое отверстие — оскулюм.

Клетки, составляющие тело губок, дифференцированы на несколько типов, но совсем не такие, как у других многоклеточных животных. Жгутиковые камеры выстланы особыми жгутиковыми клетками — хоаноцитами. Их жгут окружен воротничком из двух десятков цитоплазматических микроворсинок. Биение жгутов хоаноцитов обеспечивает прокачивание воды через организм губки. Взвешенные в воде мелкие частицы (бактерии, комочки детрита) прилипают к микроворсинкам, захватываются и перевариваются в цитоплазме самих хоаноцитов или передаются для переваривания другим клеткам. Поверхность губки одета слоем уплощенных клеток — пинакоцитов. Каналы водоносной системы выстланы другой разновидностью пинакоцитов.

Основной объем губки занят мезохилом, который образован белком, близким к коллагену (белку соединительной ткани других многоклеточных). Сквозь мезохил тянутся тяжи особого белка губок — спонгина. В мезохиле помещаются иглы минерального скелета — спикулы. У некоторых губок они известковые, но у большинства видов состоят из гидратированной двуокиси кремния — опала. Мезохил наполнен разнообразными клеточными элементами. Одни из них производят коллаген мезохила, другие продуцируют спонгин, третьи заняты изготовлением минеральных спикул. Блуждающие амебодные клетки мезохила переваривают частицы, полученные ими от хоаноцитов, и разносят пищу по всему организму. Амебоциты способны дифференцироваться в другие типы клеток, в том числе и в половые. Мезо-

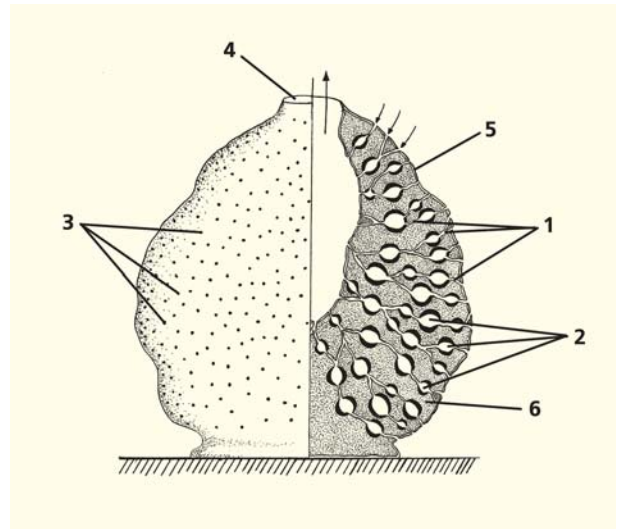


Схема организации взрослой особи губки. Единственная обособленная структура в теле — водоносная система, состоящая из каналов (1) и жгутиковых камер (2). Вода проникает через множественные мелкие отверстия на теле животного — остии (3), а выбрасывается через оскулюм (4). Снаружи тело губки покрыто непрерывным слоем уплощенных клеток — экзопинакодермой (5). Весь объем тела между экзопинакодермой и каналами водоносной системы заполнен мезохилом (6). Стрелки на схеме показывают направление токов воды через водоносную систему.

хил губок заселен симбиотическими бактериями и водорослями. В общем, к губкам вполне применимо высказывание французского биолога Г.Гаррона: «Примитивные, но не простые».

Губки всегда были интересны биологам как рано обособившаяся группа многоклеточных, которая пошла в своей эволюции по совсем другому пути, чем остальные животные. Но в последние годы к губкам появился и чисто практический интерес. Дело в том, что помимо всего перечисленного, в мезохиле губок есть множество клеток с различными включениями, которые содержат хиноны, гликозиды и другие биологически активные вещества. Самим губкам они нужны для того, чтобы защищаться от болезнетворных бактерий, грибов и отпугивать животных, которые хотели бы использовать губок для питания. Оказалось,

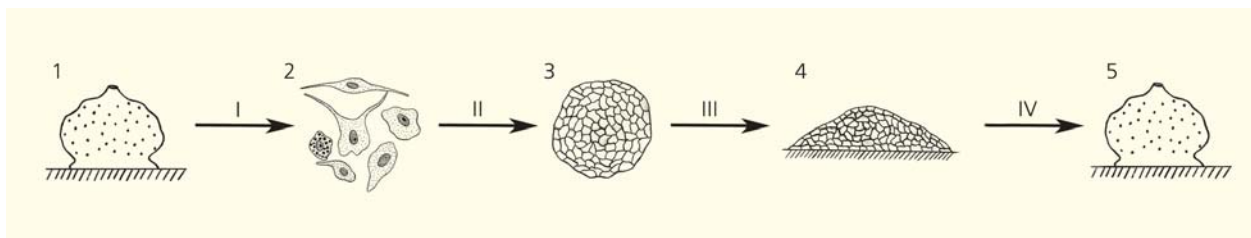


Схема эксперимента Г.Вилсона с губкой *Microciona prolifera*. 1 — взрослая особь *M. prolifera*; 2 — суспензия клеток губки; 3 — многоклеточный агрегат; 4 — агрегат, прикрепившийся к покровному стеклу; 5 — особь *M. prolifera*, восстановившаяся в процессе реагрегации клеток; I — механическая диссоциация губки; II — формирование многоклеточных агрегатов; III — прикрепление агрегатов к субстрату; IV — восстановление исходной организации губки.

однако, что биологически активные вещества, извлекаемые из губок, можно использовать как лекарства, в том числе и для лечения злокачественных опухолей.

Уникальная черта взрослых губок — способность всех клеток к активному перемещению и смене функций. Более того, структуры водоносной системы в течение жизни губок постоянно перестраиваются: каналы и камеры «разбираются» на отдельные клетки и заново формируются в других участках тела, а могут перемещаться и без разборки на клетки [1]. Такая лабильность структур позволяет губкам быстро и адекватно реагировать на изменение гидродинамических условий среды.

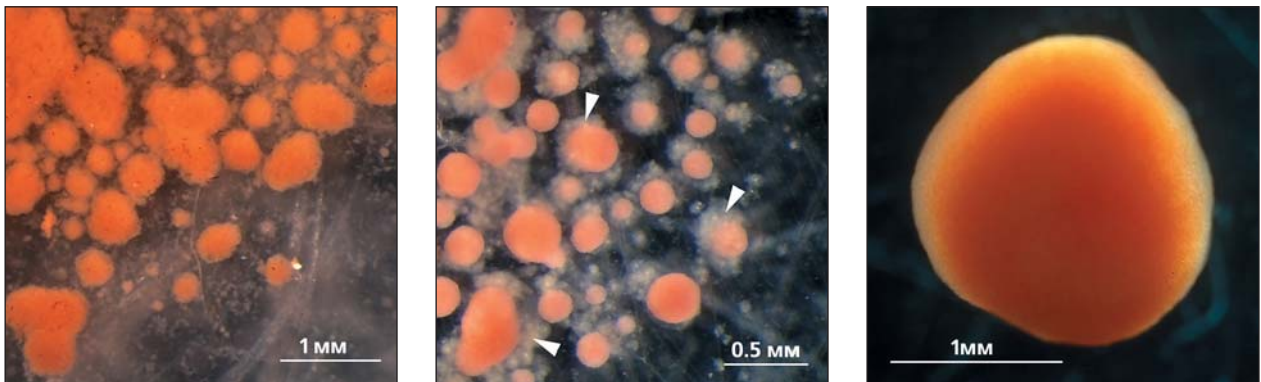
Одной из форм проявления пластичности губок можно назвать процесс реагрегации клеток, который впервые описал американский ученый Г.Вилсон в 1907 г. [2]. Он протер фрагменты тела губки *Microciona prolifera* через мелкоячеистую ткань и получил суспензию живых клеток, которые

оказались способны объединяться друг с другом и образовывать многоклеточные агрегаты. В опытах Вилсона агрегаты прикреплялись к субстрату и восстанавливали исходную организацию губки. У других видов полноценной регенерации губок получить не удалось [3, 4]. Тем не менее, этот процесс привлек внимание исследователей, так как является удобной лабораторной моделью, которая позволяет в контролируемых условиях изучать поведение отдельных типов клеток (деление, миграцию, дифференцировку, апоптоз), а также восстановление их связей и формирование основных структурных элементов организма.

Мы изучали процесс реагрегации клеток у нескольких видов губок, обитающих в окрестностях ББС, — *Haliclondria panicea*, *Haliclona aquaeductus*, *Haliclona cinerea*. Кусочки губок мы протирали через мелкоячеистое сито и помещали в сосуды со стерильной морской водой. Как же выглядела только что полученная суспензия клеток?



Клетки *Haliclona cinerea* в суспензии, полученной механической диссоциацией губки. Слева — клетка, образующая псевдоподии (показаны стрелками); справа — реагрегирующие клетки.



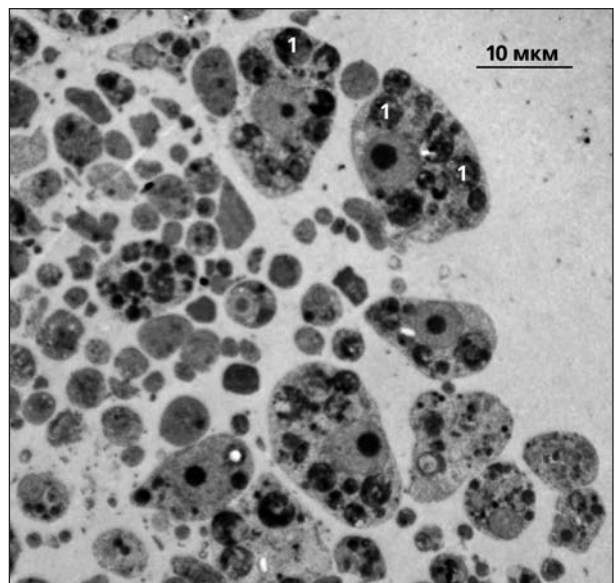
Стадии процесса реагрегации клеток *Haliclona aquaeductus*. Слева — первичные клеточные агрегаты (24 ч после диссоциации губки); в центре — сортировка клеток в первичных клеточных агрегатах (72 ч после диссоциации губки); справа — примморфа (20 сут после диссоциации губки). Белые стрелки указывают на оболочку из мертвых клеток и детрита.

Большинство клеток успешно пережили механическую диссоциацию и активно меняли свою форму. Хоаноциты втягивали жгутик, и у них, как и у других клеток, появлялись псевдоподии. Ими клетки как бы «ощупывали» субстрат, и если встречались с псевдоподиями соседей, начинали сближаться и формировать агрегаты. Такое пассивное поведение клеток протертой губки было описано еще для одного беломорского вида — *Halisarca dujardini* [5]. У других видов клетки сохраняют амебоидную подвижность, и агрегаты формируются за счет случайных встреч активно передвигающихся клеток [3, 6]. Такая подвижность диссоциированных клеток при формировании агрегатов характерна для более организованных животных — стрекающих кишечнорастных, например для обыкновенной гидры [7, 8].

Через сутки после диссоциации губок в сосудах формируются первичные клеточные агрегаты. Они имеют округлую форму и размеры 0.1–0.5 мм, а потому заметны даже невооруженным глазом. Мелкие клетки (размером 2–5 мкм), образовавшиеся из хоаноцитов и пинакоцитов, беспорядочно перемешаны с более крупными клетками мезохила (размером 8–20 мкм). Лишь изредка между отдельными клетками можно увидеть специализированные клеточные контакты. Крупные клетки активно захватывают и поглощают мелкие. На срезах через агрегаты видно, что в крупных клетках содержится множество пищеварительных вакуолей — фагосом.

Через трое суток после диссоциации начинается сортировка клеток первичных агрегатов. Крупные клетки, образовавшиеся из элементов мезохила, уплотняются в центральную массу. Вокруг нее формируется рыхлая наружная оболочка, состоящая из мертвых, преимущественно мелких клеток, образовавшихся из пинакоцитов и хоаноцитов.

Через пять–восемь суток после диссоциации первичные агрегаты превращаются в трехмер-



Срез первичного клеточного агрегата *Halichondria panicea* (72 ч после диссоциации губки). На срезе присутствуют клетки двух размерных классов. В крупных клетках видны фагосомы (1). Между клетками заметны обширные промежутки, у живых агрегатов, вероятно, заполненные внеклеточным матриксом. Фотография сделана с помощью трансмиссионного электронного микроскопа.

ные, сферической формы образования (примморфы), при этом они освобождаются от оболочки из мертвых клеток и детрита и приобретают специализированные покровы. У вида *Suberites domuncula*, поверхность примморф покрыта непрерывным слоем пинакоцитов [9, 10]. Примморфы исследованных нами видов из рода *Haliclona* одеты пинакоцитами не полностью, а у представителя другого рода *Halichondria panicea* на поверхности примморф формируется гладкий слой внеклеточного матрикса.

У исследованных видов губок примморфы были последней стадией реагрегации. Они сохраняли жизнеспособность более месяца, и за это время сливались друг с другом, увеличивались в размерах, но восстановления исходной организации губок в наших опытах наблюдать не удалось.

Из литературы известно, что у некоторых видов губок развитие примморф заканчивается восстановлением исходной организации [5, 6, 11]. Ключевой момент в этом процессе — прикрепление примморф к субстрату. Это означает формирование апико-базальной полярности, что сопровождается значительными изменениями в распределении различных типов клеток внутри примморф. После прикрепления к субстрату в них начинают формироваться элементы водоносной системы — каналы и жгутиковые камеры. Сначала они изолированы друг от друга, но вскоре начинают постепенно объединяться. Заканчивается весь процесс восстановления образованием оскулярного отверстия водоносной системы, после чего она начинает нормально функционировать.

Если примморфы не прикрепилась к субстрату, они могут сохранять жизнеспособность до 10 месяцев. Хотя водоносная система у них не восстанавливается, некоторые признаки физиологии полноценных губок все же проявляются. Например, в них формируются неорганические скелетные элементы (спикулы) и синтезируются биологически активные вещества [12, 13].

Наши исследования примморф, образовавшихся из диссоциированных беломорских губок, находятся на начальном этапе. Мы надеемся, что дальнейшая работа в этом направлении даст возможность детально изучить поведение изолированных клеток, судьбу клеточных типов и характер взаимодействия между ними, исследовать роль симбиотических микроорганизмов в процессе реагрегации. Примморфы могут послужить модельной системой для фундаментальных исследований физиологии и биологии развития губок, а также в качестве системы для получения перспективных биологически активных веществ на основе биотехнологических подходов. ■

Литература

1. Ересковский А.В. Сравнительная эмбриология губок (Porifera). СПб., 2005.
2. Wilson H.V. On some phenomena of coalescence and regeneration in sponges // Journal of Experimental Zoology. 1907. V.5. №2. P.245—258.
3. Galtsoff P. The amoeboid movement of dissociated sponge cells // Biological Bulletin. 1923. V.45. №3. P.153—161.
4. Gaino E., Burlando B. Sponge cell motility: A model system for the study of morphogenetic processes // Bolletino di zoologia. 1990. V.57. №2. P.109—118.
5. Волкова М.А., Золоторева Г.А. Развитие *Halisarca dujardini* Jonhston из конгломератов соматических клеток // Морфогенез у губок. Л., 1981. С. 74—93.
6. Короткова Г.П. Сравнительно-морфологические исследования развития губок из диссоциированных клеток // Бесполое размножение, соматический эмбриогенез и регенерация. Л., 1972. С. 74—109.
7. Technau U., Cramer V.L., Rentzsch F. et al. Parameters of self-organization in Hydra aggregates // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 2000. V.97. №22. P.12127—12131.
8. Kishimoto Y., Murate M., Sugiyama T. Hydra regeneration from recombined ectodermal and endodermal tissue. I. Epibolic ectodermal spreading is driven by cell intercalation // Journal of Cell Science. 1996. V.109. P.763—772.
9. Custodio M.R., Prokic I., Steffen R. et al. Primmorphs generated from dissociated cells of the sponge *Suberites domuncula*: a model system for studies of cell proliferation and cell death // Mechanisms of Ageing and Development, 1998. V.105. №1—2. P.45—59.
10. Müller W.E.G., Wiens M., Batel R. et al. Establishment of a primary cell culture from a sponge: primmorphs from *Suberites domuncula* // Marine Ecology Progress Series. 1999. V.178. №1. P.205—219.
11. Ефремова С.М. Морфологический анализ развития губки *Ephydatia fluviatilis* из диссоциированных клеток // Вестник Ленинградского университета. 1969. №9. С.39—53.
12. Chernogor L.I., Denikina N.N., Belikov S.I. et al. Formation of spicules during the long-term cultivation of primmorphs from the freshwater Baikal sponge *Lubomirskia baikalensis* // Organic Chemistry: Current Research. 2011. doi: 10.4172/2161-0401.S2-001
13. Müller W.E.G., Bobm M., Batel R. et al. Application of cell culture for the production of bioactive compounds from sponges: synthesis of avarol by primmorphs from *Dysidea avara* // Journal of Natural Products. 2000. V.63. №8. P.1077—1081.

Морские травы: взгляд из космоса

А.В.Макаров,

инженер ББС им. Н.А.Перцова

В.А.Спиридонов,

кандидат биологических наук,

старший научный сотрудник лаборатории экологии прибрежных донных сообществ

Института океанологии им.П.П.Шириова РАН

Москва

В прибрежной полосе многих морей, от экватора до полярного круга, заросли морских трав уменьшают интенсивность волнового воздействия, а их корневая система пронизывает донные осадки. Благодаря этому сообщества морских трав, в отличие от водорослей, формируют характерный илистый грунт, насыщенный органическими веществами. В Белом море такие сообщества образует зостера морская (*Zostera marina*), или взморник по-поморски.

В середине прошлого столетия в морях Атлантического океана наблюдалась массовая гибель зостеры в результате поражения миксоциетом *Labyrinthula macrocystis*. Вероятно, по той же причине взморник практически исчез в 60-х годах прошлого столетия и в Белом море [1]. До сих пор там, где до массовой гибели существовали обширные поля этого растения, можно увидеть лишь отдельные его скопления [2, 3].

Прибрежные заросли беломорской зостеры, богатые питательными веществами и защищенные от волн, служат местом обитания различных организмов, кормежки трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*) и камбалы (*Liopsetta glacialis*), нереста беломорской сельди (*Clupea pallasii marisalbi*) и других хозяйственно важных видов рыб [4]. Кроме того, побегам взморника кормятся и некоторые водоплавающие птицы. Сообщества морской травы — своего рода индикатор прибрежных экосистем Белого моря, и потому для исследований их динамики необходимо постоянно следить за состоянием и восстановлением зарослей зостеры. Этим целям служит дистанционный мониторинг с использованием спутниковых снимков. Результаты их обработки позволяют, например, картографировать заросли зостеры [5], распознавать и наносить на карту местообитания макробентоса [6], зарослей водорослей-макрофитов [7], изучать пространственную структуру сообществ коралловых рифов [8–10]. Однако опыт использования космической информации для

идентификации подводных биологических объектов в полярных морях невелик даже на мелководье, и наше исследование — одно из первых такого рода проектов.

Дешифрирование спутниковых снимков мелководья Кандалакшского залива имеет свою специфику. В довольно узкой* приливно-отливной зоне (литорали), покрываемой водой дважды в сутки, и на примыкающей к ней верхней сублиторали встречается не так много объектов, способных образовывать однородные скопления, которые на спутниковом снимке можно различить с большой степенью достоверности. Кроме того, идентифицировать объекты в прибрежной зоне северных морей сложно из-за очень низкой прозрачности воды, которая богата планктоном и содержит смывы с берегов взвеси. На спутниковых снимках морского побережья достоверно различаются только объекты, находящиеся у самой поверхности воды. Они могут располагаться на литорали и в верхней сублиторали, включая зону распространения зарослей зостеры.

Возможности современных спутников, предоставляющих фотографии поверхности Земли, сильно различаются. Сенсоры спутника «Landsat», снимки которого часто используются для ландшафтного картографирования, имеют каналы видимого и ближнего инфракрасного диапазонов 30-метрового разрешения (т.е. расстояние на земной поверхности, которое соответствует стороне квадрата, отображаемого одной ячейкой матрицы сенсора — пикселем, равно 30 м). В районе, где выполнялась настоящая работа, применение таких снимков для идентификации литоральных и сублиторальных объектов может дать мало полезной информации. В большинстве случаев ширина литорали и зоны прибрежного мелководья составляет всего несколько десятков метров, а зарослей зостеры — 10–30 м. По той же причине не

* В других частях Белого моря (например, в приливно-отливной зоне Онежского залива) литораль может быть значительно шире.



Схема расположения эталонных участков, контрольных полигонов и мест обнаружения сублиторальных зарослей зостеры.

использовались и снимки спутника «Spot» с разрешением 10–20 м.

В нашей работе на ББС им.Н.А.Перцова для исследования ландшафтов и сообществ узкой полосы прибрежного мелководья использовались космические снимки спутника «Formosat-2». Этот аппарат имеет четыре канала с разрешением 8 м, что позволяет точнее идентифицировать объекты менее 30 м в длину и ширину. На снимках этого спутника заросли зостеры распознаются так же хорошо, как и наземные зеленые растения, точнее, их скопления. Это объясняется тем, что спектральное разрешение каналов спутника «Formosat-2» полностью перекрывает зеленую часть спектра, а спектр отражения у зостеры такой же, как у наземных зеленых растений, несмотря на то что она растет под водой [11].

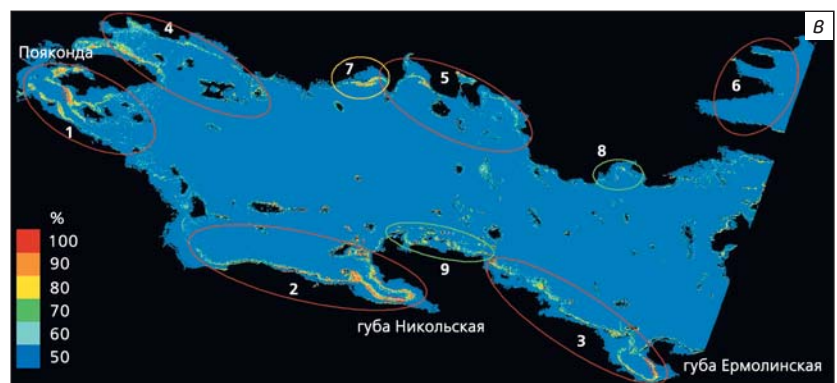
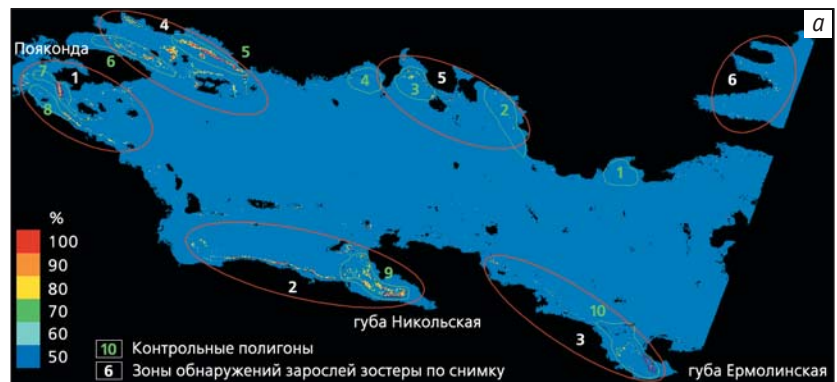
Чтобы увидеть заросли морских трав из космоса, нужно сначала буквально «пощупать» их на берегу и в воде. Иными словами, нужно сначала найти и нанести на карту несколько эталонных участков зарослей зостеры, «привязать» к карте спутниковый снимок и научить компьютерную программу различать спектральные характеристики морской травы. Поиск и картографирование зарослей зостеры произведены в окрестностях ББС в 2011–2012 гг.: однородные заросли обнаружены в верхней части sublittoral в губе Ермолинская, губе Никольская и в самой верхней, кутовой части губы Ругозерская напротив пос.Пояконда. Эти участки и послужили эталонами. Их координаты определили с помощью навигатора «Garmin», а для коли-

чественной оценки зарослей использовали методику проективного покрытия, которую применяют геоботаники. Зостера найдена и в мелководных заливах по северному берегу губы Ругозерская, и по побережью залива Бабые Море. Эти территории стали контролем, который нужен, чтобы проверить, насколько хорошо наша программа «научилась» распознавать заросли зостеры на снимке из космоса. Метод так и называется: «классификация с обучением» [12, 13], а для обработки снимков мы использовали созданный Инженерно-технологическим центром «SkanEx» пакет программ «SkanEx Image Processor», в котором реализован ряд алгоритмов классификации изображений, позволяющих идентифицировать объекты по эталонным участкам. Алгоритм «бинарный классификатор» использует сходство яркостных характеристик пикселей всех каналов с эталонными участками, что позволяет выделить на всем снимке места распространения объектов одного типа. С его помощью можно также оценить оптическую плотность присутствия объекта в каждом пикселе изображения. Кроме того, этот алгоритм позволяет оценить однородность эталонного участка и выявить в нем зоны, обладающие максимальными яркостными характеристиками.

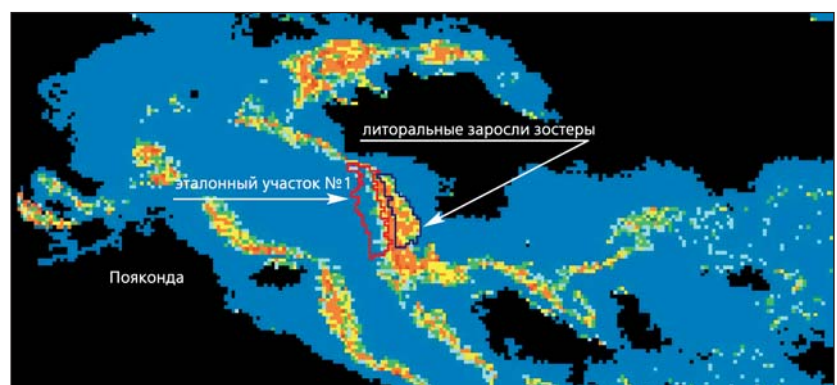
Алгоритм бинарной классификации предполагает использование в каждом расчете только одного эталона для обучения программы. Именно с ним сравниваются характеристики всего изображения: программа оценивает яркость каждого пикселя эталона по всем каналам и находит соот-

ветствующие им пиксели на всем снимке. Цвета шкалы отражают проценты яркости каждого пикселя изображения, что в данном случае можно соотнести с оптической плотностью zostеры и ее проективным покрытием. В результате получают карту, где видно предсказанное распределение сублиторальных зарослей zostеры, которые присутствуют в области, охваченной снимком. Мы провели независимые расчеты с использованием трех разных эталонных площадок. Большая часть выявленных с помощью спутникового снимка участков с зарослями морской травы, куда попали и контрольные полигоны, совпали, но при этом были обнаружены и различия в итоговых картах распределения zostеры, возникающие при использовании разных эталонов. Отчего это происходит? Дело, по-видимому, в том, что в районе наших исследований береговая линия сложной конфигурации, поэтому фазы отлива на разных эталонных участках могут не совпадать, и одновременно в одних местах морская трава окажется на осушке, в других — будет стелиться по поверхности воды, а в третьих — останется покрытой слоем воды. Все это отразится на ее оптических характеристиках, и программа, «обученная» по конкретному участку, лучше «увидит» zostеру, произрастающую в похожих условиях. Но сопоставление разных карт, анализ условий произрастания травы и сопоставление уровня воды в момент снимка на эталонных и контрольных участках позволяют разобраться в картине, найти оптимальный эталон и составить достоверную карту зарослей. Теперь мы знаем, что это осуществимо даже для таких сложных участков побережья, как район БС.

Таким образом, для исследования и мониторинга важнейших прибрежных сообществ открываются совершенно новые возможности. Сейчас накапливается все больше свидетельств



Распознавание сублиторальных зарослей zostеры по обучающим эталонам: вблизи пос.Пояконда (а), а также в Никольской (б) и Ермолинской (в) губах.



Литоральные заросли zostеры, выявленные вблизи пос.Пояконда в результате обработки снимка по обучающему эталону №3 (губа Ермолинская).

того, что луга морских трав в Кандалакшском заливе далеко не достигли того уровня развития, которое было им свойственно до массового отмирания зостеры [1]. Учитывая это обстоятельство, можно будет с помощью снимков со спутников отслеживать год за годом, где и как идет процесс восстановления зостеры на разных участках Кандалакшского залива. А это приблизит нас к пониманию фундаментальной проблемы, далекой на сегодняшний день от окончательного решения, — какие факторы ответственны за динамику морской растительности.

Методы, разрабатываемые сейчас на ББС, могут быть полезны в работе морских заповедников и других особо охраняемых природных территорий. Их задача — не только защищать природные комплексы, но и документировать естественные процессы в экосистемах, где должна быть исключена хозяйственная деятельность человека. Морские акватории или охраняемые зоны есть в 16 российских заповедниках и одном национальном парке. По крайней мере в 10 из них очень важную

роль в прибрежных экосистемах играют сообщества морских трав и другая литоральная и сублиторальная растительность. Однако их мониторинг почти не ведется из-за того, что до последнего времени отсутствовали приемлемые по стоимости методы. К примеру, здесь можно было бы использовать аэрофотосъемку, но она чрезвычайно дорога. Методы исследования морских трав из космоса могут стать инструментарием мониторинга и в морских заповедниках, в прибрежных зонах, находящихся под действием крупных промышленных проектов. На Белом море это влияние пока, к счастью, ограничено районами основных портов, а вот на Черном море и в Приморье охватывает уже целые побережья. Там, кстати, вести мониторинг морской растительности из космоса несколько проще технически, поскольку приливные колебания значительно менее выражены. Но для отработки методики, приспособления ее к местным условиям неизбежно понадобится проведение работ на морских биологических стационарах. ■

Литература

1. Вехов В.Н. Зостера морская (*Zostera marina* L.) Белого моря. М., 1992.
2. Максимович Н.В., Иванов М.В., Букина М.В. Современное состояние и перспективы промысла морской травы *Zostera marina* L. в прибрежных акваториях карельского берега Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. Материалы IX международной конференции 11—14 октября 2004 г., Петрозаводск, 2005. С.208—210.
3. Симакова У.В., Удалов А.А., Кондарь Д.В. *Zostera marina* L. в Бабьем море, распределение и общая характеристика // Отчет о научно-исследовательской работе на территории ФГУ «Кандалакшский государственный природный заповедник» за 2011 г. Ч.1. Первичные данные, авторский раздел «Летописи природы». М., 2012.
4. Кузнецов В.В. Белое море и биологические особенности его флоры и фауны. Л., 1960.
5. Curran R.W. The Utility of digital globe's WorldView-2 satellite data in mapping seagrass in North Carolina estuaries. M.A., East Carolina University, 2011.
6. Paz L. de, Patricio J., Marques J.C. et al. Ecological status assessment in the lower Eo estuary (Spain). The challenge of habitat heterogeneity integration: a benthic perspective // Marine Pollution Bulletin. 2008. №56. P.1275—1283.
7. Casal G., Sánchez-Carnero N., Sánchez-Rodríguez E. et al. Remote sensing with SPOT-4 for mapping kelp forests in turbid waters on the south European Atlantic shelf // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2011. №91. P.371—378.
8. Hochberg E.J. Coral Reefs: An Ecosystem in Transition. 2011. Part 2. P.25—35.
9. Roelfsema C., Phinn S. Integrating field data with high spatial resolution multispectral satellite imagery for calibration and validation of coral reef benthic community maps // Appl. J. Remote Sens. 2010. V.4. №1. 043527. doi:10.1117/1.3430107
10. Rowlands G., Purkis S., Riegl B. et al. Satellite imaging coral reef resilience at regional scale. A case-study from Saudi Arabia // Marine Pollution Bulletin. 2012. V. 64. №6. P.1222—1237.
11. Biber P.D., Paerl H.W., Kenworthy W.J. et al. Atlantic Coastal Ecological Indicator Consortium (ACE INC): Using the EaGLE Center concept to develop bio-optical and physiological indicators for coastal water quality management and seagrass habitat condition. 2005.
12. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М., 2004.
13. Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Краснощекоев А.Н. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. М., 2005.

Зостера выходит из кризиса

Н.В.Любезнова,

кандидат биологических наук,
научный сотрудник кафедры высших растений биологического
факультета МГУ им.М.В.Ломоносова

Взморник, или зостера морская (*Zostera marina*), — один из немногих видов высших растений, целиком приспособившихся к обитанию в морской воде. Там проходят все стадии его онтогенеза, включая цветение, опыление и прорастание семян. Зостера широко распространена в бассейнах Тихого и Атлантического океанов; в Белом море встречается в основном в южной и западной частях.

После массовой гибели зостеры в Белом море в 1960 г. численность ее побегов восстанавливалась очень медленно, а в 1975-м произошла повторная вспышка эпифитотии [1]. Миколог Е.А.Кузнецов установил, что тогда в Белом море, как и в 1930 г. в морях Атлантического океана, побеги и корневища взморника были поражены миксомицетом *Labyrinthula macrocystis*. Этот протист вызывал болезнь еще трижды в конце XX в., но это, к счастью, не привело к катастрофическим последствиям. С начала 2000-х годов беломорская популяция зостеры начала восстанавливаться, о чем косвенно свидетельствовала резко возросшая в 2007 г. численность трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*), жизнь которой связана с зарослями зостеры [2].

Состояние зарослей взморника мы изучали в 2009 и 2010 гг. вместе с проходившими на ББС геоботаническую практику студентами биофака МГУ. Были обследованы приморские участки во время отливов в окрестностях пос.Пояконды и биостанции — от Ермолинской губы до оконечности Киндо-мыса, а также Кислая губа.

Известно, что обычно зостера разрастается на литорали губ, закрытых от сильных прибойных волн. Такие благоприятные для взморника участки занимают более половины площади Ермолинской губы, вход в которую перегороджен каменистой отмелью. В 2009 г. на нижней литорали обнаружено не менее 1500 побегов на м². В 2010 г. зостера там исчезла, но чуть ниже, на sublиторали, сохранились небольшие разреженные заросли.

В окрестностях биостанции литораль в основном широкая и пологая, в нижней ее части растут фукусовые водоросли, формирующие сплошные заросли. Там, где уровень нижней литорали выше среднего, образуются лужи разной величины, не высыхающие во время отлива. Почва в таких мес-



Зостера морская.

тах часто глинистая, как и предпочитает зостера. Однако такие лужи большинство ученых считает непригодными для постоянного ее обитания, так как она сильно повреждается в зимний период [1, 3]. Действительно, в 2009 г. в маленьких лужах мы обнаружили растения только первого года жизни, в больших же встречались и двулетние. В 2010 г. мы увидели, что значительному числу растений удалось не просто выжить — у особей старше двух лет появились генеративные побеги (правда, при этом почти не было новых растений).

По дороге к Киндо-мысу на аналогичных участках литорали попадались лужи, также заросшие взморником, причем иногда значительно. В районе Еремеевского порога (между берегом и о.Большой Еремей), где во время приливов и отливов очень быстрое течение, зостера с множеством генеративных побегов растет только на входе и выходе и только на нижней литорали. Интересно, что в средней части порога, где очень подходящая для взморника литораль, его не было вовсе.

В периодически встречающихся вдоль берега небольших губах (чаще всего это устья безымянных ручьев), которые практически не защищены от волн, взморник встречался в основном на sublиторали и нижней литорали, на среднюю литораль растения выходили только вдоль русла ручейка. Разреженные заросли *Z.marina* найдены в небольшой Безымянной губе (по дороге к Ермолин-



Обильные заросли зостеры в безымянной губе. Справа — генеративные побеги.

ской). Численность побегов в 2009 г. там была невелика — около 500 растений на 1 м², что обусловлено открытостью бухты и ее в основном песчаным грунтом на нижней литорали и sublиторали. В 2010 г. побегов стало больше — до 800 на 1 м².

Правда, кое-где (в Кислой губе, в безымянных губах, в лужах на литорали) мы изредка встречали почерневшие побеги, что, с одной стороны, настораживает (не надвигается ли новая эпифитотия?), а с другой, наоборот, обнадеживает (незначительность поражений может быть свидетельством устойчивости к *L.macrocystis* популяции в целом). Однако, напомним, зостера полностью исчезла на литорали Ермолинской губы — возможно, в минувшем году произошла локальная катастрофа, а может быть, просто условия там изменились и перестали быть благоприятными для взморника. Ведь на Кислой губе, где еще несколько лет назад, по свидетельству Е.Д.Красновой, *Z.marina* не встречалась, мы обнаружили ее в изобилии (около 700 побегов на 1 м²). Не упоминал об этом и В.Н.Вехов, много лет изучавший *Z.marina* в окрестностях ББС [1]. Что же происходит и как это можно объяснить?

Высокая, практически максимальная численность беломорской популяции зостеры со множеством молодых побегов в 2009 и 2010 гг. говорит

о ее благополучии, а большое число проростков, сформировавшихся в 2008 и 2009 г. даже в непригодных для зостеры местах, — о хорошем урожае семян в предыдущие годы. Если учесть, что отдельный генеративный побег производит немного семян, которые к тому же обладают в природе низкой всхожестью, можно утверждать, что в последние годы было много и генеративных побегов. Ну а то, что взморник процветает даже в неподходящих для него условиях, свидетельствует о благоприятных погодных условиях, причем не только весной, когда прорастают семена, но и зимой, в трудный для побегов период.

2010 г. был более сухим и теплым, чем предыдущий 2009-й, что сказалось на численности не только зостеры. Помимо нее образовались густые заросли подорожника (*Plantago maritima*) и астры (*Astra tripolium*). Сильно разросся солерос (*Salicornia europaea*), он стал встречаться практически во всех бухточках, правда, заросли его остаются относительно разреженными — то ли почвы литорали бедны для него, то ли вид только начал осваивать новую территорию. В любом случае вытеснить зостеру солерос не сможет, так как на верхней литорали он обычно растет вместе с подорожником и астрой, а на средней — с руппией (*Ruppia maritima*). Для них солерос не конкурент. ■

Литература

1. Вехов В.Н. Зостера морская (*Zostera marina* L.) Белого моря. М., 1992.
2. Краснова Е.Д., Бек Т.А. Ермолинская губа // Путешествия по Киндо-мысу / Под. ред. Т.А.Бек и Д.А.Воронова. Тула, 2008. С.90—97.
3. Максимович Н.В., Иванов М.В., Букина М.В. Современное состояние и перспективы промысла морской травы *Zostera marina* L. в прибрежных акваториях карельского берега Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. Материалы IX международной конференции. 11—14 октября 2004 г. Петрозаводск. Петрозаводск, 2005. С.208—210.

Жизнь беломорского припая

Ф.А. Романенко,

*кандидат географических наук,
ведущий научный сотрудник кафедры геоморфологии
и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова*

Т.Ю. Репкина,

*кандидат географических наук,
старший научный сотрудник той же кафедры*

Л.Е. Ефимова,

*кандидат географических наук,
старший научный сотрудник кафедры гидрологии суши того же факультета*

А.С. Булочникова,

аспирантка кафедры геоморфологии и палеогеографии того же факультета

В еками считалось, что основные события в природе начинают происходить весной, когда тают снега и обнажается грунт, набухают реки и ручьи, меняется погода, просыпаются растения и животные. Поскольку в холодное время года широкий пояс припайных льдов охраняет берега арктических морей от внешних воздействий, зиму при оценке влияния волн на побережья часто исключают. Действительно, раз большую часть года (а зима в Арктике продолжается не менее 7–8 мес) ничего не происходит — все процессы замирают, скованные низкими температурами, льдом и снежным покровом, — то и наблюдать за жизнью берегов не нужно.

Однако внимательный анализ природных условий арктических побережий позволяет предположить, что далеко не везде это так. И главное исключение, конечно, — самое южное из морей Северного Ледовитого океана — Белое. Недаром его называют «дышащим» морем — здесь и зимой продолжает действовать фактор, проявляющийся в других арктических морях (кроме Баренцева) значительно слабее, — приливные колебания. Их максимальный размах увеличивается с запада на восток, от Кандалакшского до Мезенского залива, от 1,5–3 до 10–12 м. При отливе осушается полоса дна различной ширины — от нескольких метров у крутых высоких берегов до нескольких километров у пологих и низменных. При очень сложном рельефе дна, наличии многочисленных каменистых отмелей и островов, узких и глубоких заливов, а также сильных приливо-отливных течений ледовый покров здесь гораздо подвижнее, чем в других арктических морях. Перемещаясь по приливной осушке вверх-вниз и в разных направлениях, лед приобретает новые качества, включая в себя все большее и большее количество донного грунта.

© Романенко Ф.А., Репкина Т.Ю., Ефимова Л.Е.,
Булочникова А.С., 2013

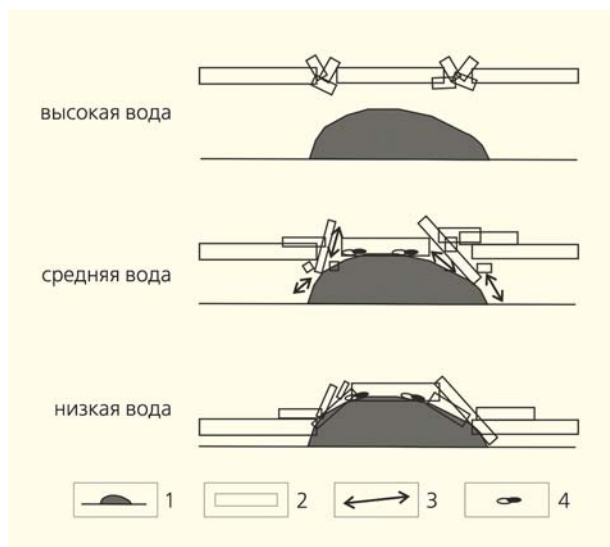
Ледовый покров Северного Ледовитого океана всегда содержит инородный обломочный или биогенный материал. Установлено, что припайные льды Белого моря играют важную роль в его перераспределении на мелководье [1]. Изучены механизмы вмержания, определены объемы перемещения льдами [2, 3]. Остаются неясными детали взаимодействия льда и берегов, распространение и роль различных механизмов вмержания, межгидовая изменчивость строения льда. Лед — один из важнейших экологических факторов, определяющих функционирование прибрежных биоценозов. Поэтому выявление особенностей формирования припайных льдов Белого моря, их внутреннего строения и взаимодействия с рельефом береговой зоны — главная цель зимних беломорских экспедиций нашей кафедры. Они проводятся ежегодно в конце января — первой декаде февраля с 2000 г. силами сотрудников, аспирантов и студентов географического факультета. Более половины экспедиций (2000–2004; 2009–2012) проведено в окрестностях ББС на п-ове Киндо и побережье пролива Великая Салма в Кандалакшском заливе. Помимо зимних наблюдений на ББС ведутся и летние: с 1997 г. здесь ежегодно проходит учебная морская практика студентов-геоморфологов.

Кроме п-ова Киндо экспедиция работала в районе Кандалакши и Умбы, а также на Поморском (районы Кеми, Беломорска, Колежмы, Ворзогор, Онеги и о.Кий), Онежском (Пурнема и Лямца), Летнем (Пертоминск) и Конушинском (Сёмжа) берегах. Изучалась зимняя динамика рельефа — воздействие ледового покрова на литораль и перемещение льдом различных включений. Для этого оценивалось количество ледяных шатров и других ледовых форм. Визуально определялась загрязненность припая, отбирались ледяные керны и образцы снега, обработка которых позволила получить данные о количестве



Расположение районов полевых работ (показаны прямоугольниками). Берега: 1 — Поморский, 2 — Онежский, 3 — Летний, 4 — Конушинский.

и составе поступающего в море инородного материала. Ведутся регулярные наблюдения за динамикой припая и переносом льдом крупных обломков — валунов и глыб. По результатам многолетних наблюдений составлены карты ледового покрова Великой Салмы, на которых отражены



Механизм формирования ледяных шатров I типа: 1 — валун на поверхности осушки; 2 — припайный лед; 3 — направление движения воды в прилив и отлив; 4 — обломочный материал на поверхности валуна.

мощность и строение припайного льда [4, 5], распределение ледовых форм и их положение в рельефе береговой зоны. Кроме того, созданы фотоленты ледовых образований.

Припайный лед (или припай) образуется вдоль побережья, прикрепляясь к берегу, и испытывает лишь вертикальные колебания во время изменений уровня моря [6, 7]. Припай обычно начинает формироваться раньше, а разрушаться — позже, чем дрейфующий лед. По облику, динамике и положению относительно береговой линии в приливных морях различают неподвижный, подвижный и плавучий припайные льды [1].

Неподвижный припай (подошва припая) смерзается с берегом и не испытывает приливно-отливных колебаний. Эта параллельная береговой линии полоса льда (шириной не более 15 м и мощностью 1–3 м) располагается на пляже и в верхней части приливной осушки. Если же берег круто обрывается к морю и осушки нет, то неподвижный припай — узкая полоска льда, примерзшая к скалам. Во время высоких приливов или нагонов она регулярно заливается морской водой, которая постепенно замерзает, формируя так называемый наслоенный лед.

Подвижный припай расположен на приливной осушке. При отливе он ложится на ее поверхность, а во время прилива поднимается и находится на плаву. Именно этот лед испытывает наибольшие деформации и обычно разбит трещинами разных направлений и протяженности. От неподвижной части припая он отделен приливными трещинами, параллельными береговой линии. По ним во время нагона или сильного ветра с суши подвижный припай может оторваться от берега, что часто и происходит на льдах Белого моря весной. Веками поморы-охотники во время зверобойного промысла могли уповать только на то, что направление ветра или течения изменится и их прибьет обратно к берегу. Спасительным нередко оказывался о. Моржовец в Мезенской губе. Людям на припайном льду посвящали повести и рассказы писатели-северяне — например, С.В. Максимов («Год на Севере») и Б.В. Шергин («В отnose морском»).

Плавучий припай никогда не ложится на дно, совершая вертикальные колебания при приливах и отливах. Располагается он обычно над подводным береговым склоном. При значительной заснеженности льда увидеть границу между двумя частями припая бывает сложно. Все части припая, включая статичную подошву, постоянно изменяются вместе с погодой, которая оказывается важнейшим фактором динамики льда, существенно усложняя его облик и создавая множество ледовых форм.

Ледовые формы и образования. В теплые зимы стабильный припай формируется в основном в кутовых частях заливов. Тонкий лед часто взламывается приливами, штормами и нагонами;

его обломки выбрасываются на подошву припая и скальные выступы, где формируются ледяные навалы. Из-за высокой подвижности такой лед чаще заталкивается под более старые льдины или наслаивается на них. Это приводит к неоднородному строению припая и резкой смене его толщины (от 20 до 75 см) на небольших расстояниях. Под тяжестью свежевыпавшего снега лед опускается, поступающая через трещины вода пропитывает снег, образуя снежно-водно-ледяную «няшу» глубиной иногда до 0,2–0,6 м. В такие дни передвигаться по припая мучительно — лыжи практически не скользят по соленому снегу, снегоходы проваливаются по гусеницы и вязнут, двигатели перегреваются, и скорость движения падает до сотен метров за несколько часов.

В холодные зимы припая занимает почти всю акваторию. Он устанавливается раньше и, как правило, в более спокойных гидродинамических условиях, его мощность больше, а количество и разнообразие ледовых образований на берегах значительно меньше, чем в теплые годы. В то же время высокие сплоченность и мощность (до 75 см в 2003 г.) льда делают его менее пластичным — появляются обломки и образуются торосы. В бесснежные или малоснежные зимы усиливается замерзание льда снизу, и на мелководье он насыщается донными илами и взвешенными наносами.

Сформировавшийся припая часто взламывается нагонными ветрами, совпадающими с высокими (сизигийными) приливами. Ветер наваливает на подошву припая кучи ледяных обломков толщиной до 0,5 м, а порой и более. На участках берега, открытых ветрам с моря, образуются гряды торосов и береговые гребни льда высотой до 5–6 м. Эти эффектные формы появляются практически мгновенно (часто за несколько десятков минут) и иногда буквально срезают строения, расположенные слишком близко к берегу.

На плавучем и подвижном припае встречается множество ропаков — отдельных льдин, стоящих вертикально или наклонно и окруженных относительно ровным льдом [5].

Торосы могут возникать и под воздействием течений — приливно-отливных, постоянных, стоковых. Так, сильный сулой (столкновение мощных разнонаправленных течений) у Онежского берега формирует здесь широкую полосу торосов высотой до 2 м с многочисленными полыньями, не замерзающими даже в самые сильные морозы. У рыбаков в этих местах пропадают собаки — они уходят по льду и оказываются отрезанными от суши полосами открытой воды. Такие же течения характерны и для пролива Восточная Соловецкая Салма (между мысом Глубокий и о.Пурлуда). Они практически исключают пешее передвижение по льду между материком и Соловецкими о-вами.

Ледяные шатры и гряды. В Кандалакшском и Онежском заливах зимний облик прибрежной зоны определяют ледяные шатры — округлые на-

громождения битого льда над валунами и вокруг них [8]. Это самые динамичные ледовые образования на приливных осушках Белого моря (но даже специалисты часто путают их с торосами и ропаками).

По внешнему облику и механизму образования ледяные шатры можно разделить на два типа. Чаще встречаются шатры I типа, которые образуются надламыванием льдин над валунами в отлив и напользанием их друг на друга в прилив. Для шатров II типа характерны более округлая форма, столбобразное повышение в центре и меньшее количество ломаного льда вокруг.

Главный фактор локализации ледяных шатров — валуны на осушке, которые во время прилива частично или полностью затапливаются водой. В отлив подвижный припая «садится» на валуны и на его поверхности возникают звездобразные трещины. Из-за избыточного давления под припаем во время прилива трещины в трещины поступает вода — на это указывают ледяные натеки на поверхности шатров. Замерзая, она увеличивает высоту шатров до 2,5–3 м (по опросным данным, до 4–6 м) и в ширину до 6–7 м. Вместе с водой через трещины на поверхность припая поступают обрывки водорослей, моллюски, донный грунт, иногда — мелкие валуны. Если во время отлива температура воздуха понижается (или стабильно низка), на обнажающемся валуне формируется ледяная «шляпа». Через трещины вода парит, пар замерзает на льдинах (образуя сублимационный лед) и цементирует их, также способствуя росту шатра.

Для реконструкции условий формирования ледяных шатров мы разработали специальную методику и применили ее в 2009 г. Выбранные шатры, предварительно очищенные от ледяных нагромождений, фотографировали с фиксированных точек каждые 3 ч или чаще (в зависимости от фазы прилива) в течение недели. Проанализировав полученные снимки вместе с данными об уровне моря и метеорологических параметрами, мы установили, что на формирование шатров влияют рельеф и уклон осушки, размеры валунов, уровень воды, мощность льда, погода и волнение моря. Наиболее интенсивно шатры меняют облик в средней части осушки, а у ее мористого края они относительно стабильны. Самая активная фаза перестройки шатра — 2,5–3 часа до максимальной фазы отлива. На краю припая шатры образуются, когда возрастает мощность льда и он начинает ломаться. При температурах выше -5°C шатры образуются медленнее, поскольку попадающие на припая новые льдины не успевают примерзнуть и смыываются в полынью при повышении уровня.

Если валуны, над которыми раскалываются льдины припая, расположены рядом, то образующиеся шатры сростаются (их высота увеличивается за счет выброшенных волнением или нагоном льдин) и формируются гряды, в которых есть элементы шатра и навала. Так, в Онежском заливе



Ледяной шатер II типа в проливе Кемская Салма у п.Рабочеостровск.

Фото Ф.А.Романенко

(в Колежемской губе) гряды шириной до 50—70 м и высотой до 4—6 м протягиваются на 1—2 км и более вдоль мористой бровки осушки параллельно берегу и друг другу. Они разделены полой ложбиной, которая в прилив покрывается водой, выходящей через приливные трещины. Иногда гряды имеют названия (например, Якоря у дер.Пурнема), что свидетельствует об их ежегодном возникновении на одном и том же месте. Они растут всю зиму и, по словам местных жителей,

впадающие в залив реки и ручьи, приходится перебираться через глубокие ледяные ущелья, крутые склоны которых разбиты трещинами, в то время как в прилив он спокойно скользит по ледяной равнине, задерживаясь только для преодоления гряд наваленного на берег льда. Обстановка в заливе изменяется ежеминутно. Отливные течения несут в море льдины, оторванные от припая торосы (несяки) и небольшие ледяные поля, которые, ударяясь друг о друга, непрерывно шумят.



Уступ подошвы припая над осушкой, покрытой ледяной корочкой.

Фото О.В.Кокина

к маю их высота достигает пятиэтажного дома (т.е. превышает 10 м). После вскрытия акватории гряды срывает с камней и долго носит по морю — они превращаются в небольшие айсберги. Выброшенные на отмели или корги, такие айсберги становятся стамухами (этот поморский термин введен в науку М.В.Ломоносовым в 1760—1763 гг.).

Ледовый покров Мезенского залива. В этом заливе все описанные закономерности приобретают циклопический размер, хотя стабильный припай здесь не образуется, за исключением узкой полосы вдоль берега. Зимние приливные колебания до 7—9 м дважды в сутки вызывают коренную перестройку всего ледового покрова. В отлив лыжнику, идущему вдоль берега и пересекающему

впадающие в залив реки и ручьи, приходится перебираться через глубокие ледяные ущелья, крутые склоны которых разбиты трещинами, в то время как в прилив он спокойно скользит по ледяной равнине, задерживаясь только для преодоления гряд наваленного на берег льда. Обстановка в заливе изменяется ежеминутно. Отливные течения несут в море льдины, оторванные от припая торосы (несяки) и небольшие ледяные поля, которые, ударяясь друг о друга, непрерывно шумят. Обнажающийся донный грунт моментально покрывается тонкой блестящей ледяной корочкой (температура-то остается заметно ниже нуля) или красивыми ледяными разводами. После ухода воды на осушке остается множество льдин. Подошва припая вырастает в течение зимы в ледяную платформу высотой в два человеческих роста с вертикальными ледяными уступами.

Человек, задержавшийся на осушке, рискует утонуть во время прилива, когда за минуту вода поглощает несколько метров суши. Вместо блестящей на солнце ледяной корочки прямо на глазах появляется темная вода. Давление прилива таково, что иногда между плотно сдвинутыми льдинами в воздух взлетают фонтаны, а ручьи прибывающей воды превращаются в

бурные потоки. Приливные течения несут льдины и ледяные поля вверх по р.Мезени, шум сталкивающихся обломков возрастает, острые ледяные края не только выпахивают осушку, собирая донный грунт со всеми его обитателями, но и пропарывают край неподвижного припая, где образуется двигающийся ледяной вал. Если к приливу добавляется нагонный ветер, то взламывается даже подошва припая и массивные льдины вместе с вмержшим в них донным грунтом перемещаются под береговые уступы или выталкиваются на низкие прибрежные террасы. Оторванные водой, они часто переносятся течениями и садятся на осушку в других местах, становясь стамухами высотой до 3—4 м. Если же неподвижный припай не взламывается, он затапливается и ста-



Ледяные «клубмы» во время прилива.

Фото В.В.Архипова

рые ледяные нагромождения омываются водой, превращаясь в «клубмы» высотой до 2 м, которые при замерзании воды окружаются прозрачным льдом. А если идет снег, то он пропитывается водой и вдоль берега образуется полоса неровного льда. Постоянные перемещения припая по осушке способствуют его насыщению донным материалом, в результате чего нижняя часть льдин содержит в основном мерзлый грунт лишь с небольшим количеством льда.

Таким образом, многолетние наблюдения за ледовым припаем беломорского побережья показывают, что он живет, несмотря на морозы, чрезвычайно активно, непрерывно меняя свой облик и внутреннее строение. Появляются, растут, раз-

рушаются и снова возникают ледяные шатры и гряды, волнение и течения постоянно сталкивают и наваливают друг на друга льдины и ледяные поля. Образуются торосы и ледяные гряды, вдоль берегов растут ледяные платформы, подмываемые и одновременно наращиваемые волнами, льдины постоянно трутся и сминают края друг друга, превращая, казалось бы, стабильный ледовый покров в крошево ледяных обломков. Мощный припай, незыблемо лежащий несколько месяцев, в результате смены ветра и уровня воды может за считанные минуты оторваться от берега, кардинально изменив ледовую обстановку. И главные причины такой бурной жизни — приливы и часто меняющаяся беломорская погода. ■

Работы выполнялись при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 99-06-80085, 02-05-64935, 05-05-64872, 08-06-00932, 11-05-01044 и 12-05-00998.

Литература

1. Чувардинский В.Г. Геолого-геоморфологическая деятельность припайных льдов (по исследованиям в Белом море) // Геоморфология. 1985. №3. С.70—77.
2. Совершаев В.А. Влияние морских льдов на развитие криолитозоны арктического шельфа // Криолитозона арктических морей. Якутск, 1981. С.70—83.
3. Огородов С.А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М., 2012.
4. Морской лед. Сбор и анализ данных наблюдений, физические свойства и прогнозирование ледовых условий / Под ред. И.Е.Фролова, В.П.Гаврило. СПб., 1997.
5. Номенклатура морских льдов, условные обозначения для ледовых карт. Л., 1974.
6. Альбом ледовых образований / Под ред. В.Ю.Визе. Л., 1939; Л., 1974.
7. Деев М.Г. Морские льды. М., 2002.
8. Romanenko F.A., Yermolov A.A., Yefimova L.E. et al. The peculiarity of fast dynamics in the White sea tidal-flats // Berichte zur Polar- und Meeresforschung. 2004. №482. P.214—215.

Биота льдов в Кандалакшском заливе

Л.В.Ильяш,

доктор биологических наук,

профессор кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова

Л.С.Житина,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же кафедры

Е.Г.Колосова,

кандидат биологических наук, научный сотрудник той же кафедры

Т.А.Белевич,

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник той же кафедры

Вид скванного морозами и покрытого льдами моря величествен. Нет привычного волнения, не слышно шума набегающих волн. Лед и снежный покров кажутся необитаемыми, но на самом деле они полны жизни! Во льду есть бактерии, цианобактерии и водоросли, одноклеточные гетеротрофные организмы (простейшие) и даже многоклеточные беспозвоночные. Это целое сообщество с довольно сложными трофическими связями: в нем и первичные продуценты (цианобактерии и водоросли*), и консументы (гетеротрофные простейшие и многоклеточные беспозвоночные), и редуценты (бактерии).

Что мы знаем о ледовой биоте Белого моря? Сколько видов организмов живет в крайне суровых ледовых условиях, каково их обилие, как они распределены в толще льда? Присуща ли этой биоте сезонная динамика и пространственная изменчивость? А если она выражена, то какими факторами определяется? Большинство ответов на эти вопросы получено в исследованиях, проведенных на ББС. Работы были начаты еще в 1996 г. и продолжают до сих пор.

Лед как биотоп. Что морской лед (как и любой другой) представляет собой затвердевшую воду — это азбучная истина. Такое твердое тело построено кристаллами льда, между которыми существуют капилляры и каналы стока (капилляры, открывающиеся в воду), заполненные рассолом. В этом концентрированном растворе солей и обитают организмы. Их жизненное пространство совсем не велико: диаметр капилляров варьирует от 5 мкм до 1 мм, а длина достигает нескольких сантиметров, у каналов же оба показателя выше. Зато количество отнюдь не мало: в ледяной толще под 1 м² льда бывает до $4.2 \cdot 10^5$ капилляров. Ясно, что жить во льду мо-

гут только те организмы, чьи размеры не превышают диаметра капилляров или каналов.

Объем межкристаллического пространства и соленость рассола зависят от температуры: с ее понижением объем уменьшается, а концентрация солей увеличивается и может даже превысить 60%. На границе с воздухом лед холоднее, чем в зоне контакта с водой, поэтому нижний слой самый рыхлый, в нем больше места для организмов. По размерам они относятся к пико- (до 2 мкм), нано- (2—20 мкм), и микро- (20—200 мкм) формам.

Обитают гидробионты и на нижней поверхности льда, как правило, покрытой множеством тонких, острых выступов и образовавшимися кавернами. В таких «укрытиях» биота защищена от неблагоприятного воздействия подледных течений. Размер прикрепляющихся к нижней поверхности организмов не ограничен — например, колонии свисающих в воду водорослей могут достигать нескольких метров в длину [1].

Снег на льду тоже наполнен жизнью. Для некоторых водорослей, таких как хламидомонада снежная (*Chlamydomonas nivalis*), рафидонема снежная (*Raphidonema nivale*) и хлоромонас (*Chloromonas* spp.), снег — излюбленный биотоп (поэтому их и называют снежными водорослями). Их споры насыщены пигментами каротиноидами (в основном астаксантином), которые придают клеткам красноватый цвет. При высокой концентрации спор снег становится окрашенным. Пятна красноватого снега отмечают зимой и в районе ББС.

При оттепелях и сезонном таянии льда на нем образуются так называемые снежницы — лужи талой воды. И здесь незамедлительно поселяются гидробионты — зеленые жгутиковые водоросли, а также инфузории, коловратки, нематоды.

Почему же живые существа поселяются во льду, где холоднее и соленость рассола выше, чем в воде? Любое приспособление к неблагоприятным условиям требует затрат энергии — значит, поселяясь во льду, организмы в чем-то выигрывают?

* В дальнейшем под названием «водоросли» будут одновременно значиться и цианобактерии.

Попробуем ответить на этот вопрос, начиная с первичных продуцентов — фотосинтезирующих организмов (водорослей и цианобактерий), создающих органическое вещество. Для их жизни, как известно, кроме световой энергии и CO_2 необходимы биогенные элементы (азот, фосфор, микроэлементы, а для диатомей еще и кремний). Зимой обитающим в воде фотосинтетикам катастрофически не хватает света, который почти не проникает сквозь снежный покров и лед. Во льду же водоросли гораздо лучше обеспечены световой энергией, и их продуктивность выше, чем у обитающих в воде. Если больше синтезируемого органического вещества, значит, использующие его консументы лучше обеспечены пищей. Вот вам и преимущество ледового биотопа.

Заселение льда. Лед — это временный биотоп, который ежегодно образуется заново. Процесс формирования проходит в несколько стадий — от первичных форм льда до молодых (толщиной более 10 см) и однолетних (более 30 см). Как же живые организмы попадают в этот биотоп?

Полагают наличие нескольких механизмов. Первый из них — захватывание пико-, нано- и микроорганизмов поднимающимися вверх кристаллами внутриводного льда, вместе с которыми они и оказываются в поверхностном замерзающем слое. Второй механизм отличается от первого только начальной стадией — сами организмы выступают «ядрами» кристаллизации в водной толще. И потом уже в виде таких «конгломератов» перемещаются наверх. Третий механизм, именуемый волновым насосом, вполне соответствует названию. Под воздействием волн вода «прокачивается» через тонкий слой формирующегося льда, и содержащаяся в ней биота задерживается в нем. Каков бы ни был механизм (не исключается их совместное действие), ясно одно — водная биота включается в первичные формы льда неизбежно и пассивно. Но существует и противоположная точка зрения — об избирательности перехода. Такой способ характерен, например, для ряда диатомовых водорослей. Их клетки заключены в слизистый конверт, который способствует «прилипанию» диатомей к кристаллам льда.

Биота переходит в лед еще и по мере его нарастания — на стадии молодого и однолетнего льда. Их толщина увеличивается как за счет морской воды, т.е. снизу (лед водного генезиса), так и благодаря замерзающему пропитанному водой снегу, т.е. сверху (лед снежного генезиса). Последнее происходит из-за того, что под тяжестью накапливающегося снега лед притапливается, морская вода просачивается через трещины на его поверхность и пропитывает снег. Таким путем организмы из воды попадают в верхние ледяные слои пассивно, неизбежно. В заселении же льда водного генезиса основную роль играет избирательная колонизация водорослями и активная — животными.



Изъятый у пирса ББС керн льда. Видна слоистая структура. Здесь и далее фото авторов

Первичные продуценты. С января по апрель, когда Кандалакшский залив покрыт льдом, за несколько лет наблюдений в районе ББС мы обнаружили около 200 видов фотосинтезирующих микроорганизмов (фотоавтотрофов), обитающих во льдах. Это диатомовые водоросли (151 вид), эвгленовые (7 видов), криптофитовые (3 вида), золотистые (2 вида), динофлагелляты (11 видов) и цианобактерии (5 видов).

Богатство в две сотни видов — много или мало? Это гораздо больше, чем во льдах губ Чупа и Кандалакшская все того же Кандалакшского залива [1]. Ледовые водоросли в районе ББС составляют половину от всех беломорских (413 видов). Возле биостанции таких экстремалов больше, чем в морях Карском (65 видов) и Восточно-Сибирском (156 видов) и в море Лаптевых (185 видов).

Как видно из приведенного списка, среди водорослей преобладают диатомеи. Их клетки покрыты структурированным кремниевым панцирем, по типу симметрии которого их делят на центрические (радиальная симметрия) и пеннатные (билатеральная симметрия) формы. Многие из последних образуют колонии — лентовидные, бочонковидные или разветвленные. Во льдах по числу видов доминируют пеннатные диатомеи, тогда как в планктоне, как правило, больше центрических.

Диатомеи превосходят количеством видов и водоросли, обитающие на нижней поверхности льда. А вот в снежниках и в снегу лидируют одноклеточные жгутиковые формы зеленых, прازیнофитовых, примнезиофитовых водорослей.

Чтобы оценить обилие ледовых водорослей, а также бактерий и животных, из льда выпиливают керн. Делят его на части, соответствующие льду водного и снежного генезиса и рыхлого нижнего. Каждую растапливают отдельно и в полученной воде подсчитывают биомассу отдельных популяций и их численность. Затем суммарные величины обоих показателей всех популяций переводят на единицу объема льда или на всю его толщину. Наши подсчеты с января по апрель включительно пока-



Нижний слой льда, окрашенный в коричневый цвет из-за скопления диатомовых водорослей.

зали, что, как и предполагали, биомасса водорослей под 1 м² льда была наименьшей зимой: в январе 1997 г. — 0,08 мг С/м², а во второй половине апреля — уже 4,10 мг С/м². Даже в зимний период биомасса постепенно растет, ведь эти организмы постоянно поступают из подледной воды и размножаются. А поскольку для нормального фотосинтеза зимой света мало, водоросли потребляют еще растворенные органические вещества. Способность сочетать фотоавтотрофное и гетеротрофное питание (миксотрофия) обнаружена у многих диатомей и представителей других таксономических групп. Весной, с повышением солнечной радиации, фотосинтезики начинают активно развиваться и их биомасса достигает наибольших значений. В разные годы в конце ледового сезона она не отличалась постоянством: в конце марта 2012 г. была выше, чем в марте—апреле 1997 г. К тому же и в разных точках Кандалакшского залива она изменялась от 4,10 до 54,5 мг С/м².

Выяснилось также, что в отдельных слоях льда водоросли распределены неоднородно: обычно их больше в нижнем, рыхлом слое. Причины ясны: здесь больший объем межкристаллического пространства, и сюда из подледной воды поступают необходимые биогенные элементы. Поэтому биомасса водорослей в конце марта — начале апреля достигает таких величин, что лед приобретает коричневатую окраску из-за скопления диатомей. Однако в зимние месяцы в некоторых точках пролива Великая Салма концентрация водорослей была наиболее высокой в слое льда снежного генезиса. Поскольку этот лед образован пропитанным морской водой снегом, в нем «замерзли» планктонные центрические, относительно круп-

ные, диатомей. Из-за их размеров суммарная биомасса оказалась выше, чем в нижнем слое.

Как мы выяснили, биомасса водорослей в толще льда в разных точках у ББС может различаться более чем на порядок. Подобная пространственная изменчивость — характерная черта арктических льдов. Ее определяют многие факторы: освещенность, зависящая от толщины льда и снежного покрова; концентрация биогенных элементов; соленость и температура; пористость льда и морфология его нижней поверхности; генезис и физическая деформация ледового покрова. Из сравнения с опубликованными данными выясняется, что биомасса водорослей в конце ледового сезона в районе ББС меньше, чем в других участках Белого моря, таких как губа Чупа (151—748 мг С/м²) и Двинский залив (в среднем 185 мг) [2]. В целом биомасса у ББС представляет нижний предел ее варьирования в таких арктических районах, как северная часть Баренцева моря (69—620 мг С/м²), море Лаптевых (12,4—212,8 мг), центральные районы Северного Ледовитого океана (3—460 мг) и Гренландское море (15—230 мг С/м²).

Пространственно-временная изменчивость характерна не только для суммарного обилия водорослей, она отчетливо проявляется и в составе доминирующих видов, которые дают наибольший вклад в суммарную биомассу. Хотя в разных точках у ББС в любое время наблюдений наибольшее обилие достигали популяции разных видов*, все они были пенинтактными диатомеями.

Во льду обнаружены и гетеротрофные динофлагелляты, не имеющие хлоропластов**. Питаются они другими динофлагеллятами, водорослями разных групп, инфузориями, личинками полихет и многих ракообразных, т.е. науплиями. У некоторых гетеротрофных форм имеются клептопласты — хлоропласты съеденных водорослей, которые какое-то время продолжают фотосинтезировать. По положению в трофической цепи гетеротрофные водоросли относятся к консументам.

Консументы и редуценты. В январе—апреле в прибрежных льдах около ББС фауна была довольно разнообразной (22 таксономические единицы). Из простейших там нашлись раковинные инфузории тинтинниды (*Tintinnopsis beroidea*, *T.fimbriata*, *Parafavella denticulata*) и разнообразные жгутиконосцы, неопределенные до вида. Многоклеточные беспозвоночные животные представлены коловратками (*Keratella cochlearis*, *K.quadrata quadrata*, *Synchaeta hyperborea*, *Euchlanis dilatata*, *Trichocerca marina*), нематодами, личинками полихет, копеподами, их науплиями, были встречены

* Такими видами были *Nitzschbia frigida*, *Fragilariopsis oceanica*, *Pleurosigma stuxbergii*, *Entomoneis paludosa*, *Ekjellmanii*, *Pauliella taeniata*, *Navicula glacialis*, *N.pelagica*.

** Во льду находилась *Diplopsalis lenticula*, остальные виды принадлежали к роду *Proto-peridinium*: *P.pallidum*, *P.pellucidum*, *P.bipes*, *P.tboreanum*, *P.grenlandicum*, *P.pyriforme*, *P.minutum*.

также гастропода *Clione limacine*, личинки брюхоногих моллюсков и яйца животных*. По составу многоклеточные беспозвоночные в прибрежных льдах Белого моря и в других арктических и субарктических районах оказались сходными. Проанализировав опубликованные данные по арктической криофауне, мы поняли, что в Белом море некоторые виды** выявлены впервые. Их нашли и в нижнем, и верхнем слоях льда, причем внизу число видов всегда оказывалось больше.

Одна из характерных особенностей фауны прибрежных льдов — присутствие нематод. В беломорских льдах обитает четыре вида: *Cryoneta crassum*, *C.tenuis*, *Tberistus melnikovi* и *Hiemlneta obliquorum* [3]. В планктоне и бентосе эти нематоды не встречались, откуда они берутся и как попадают в лед до сих пор остается загадкой.

Средняя суммарная биомасса фауны в толще льда возрастала в течение ледового сезона от 0.09 мг С/м² в январе до 3.97 мг С/м² в апреле. Обусловлено это постоянной колонизацией льда животными из планктона и бентоса. Ряд ученых полагает, что некоторые животные с коротким жизненным циклом, например нематоды, даже размножаются во льду. Сравнение с опубликованными данными приводит к выводу, что в конце ледового сезона величины биомассы в районе ББС, в губе Чупа и Двинском заливе одинаковы [2]. Но в то же время они больше, чем в северной части Баренцева моря и моря Лаптевых, и меньше биомассы фауны в дрейфующих паковых льдах Гренландского моря.

Из литературных данных по питанию ледовых консументов известно, что они слабо влияют на обилие фотоавтотрофов. Так, в северной части моря Баффина максимальная величина суточного выедания многоклеточными беспозвоночными составляла только 0.9% от биомассы водорослей и 5.7% от первичной продукции, а выедание простейшими было еще меньше [4]. Это дает основание полагать, что для поддержания жизнедеятельности консументы во льду используют и другие

источники пищи. Рацион нематод, например, помимо диатомовых водорослей может включать бактерий, простейших, собственных ювенильных особей и, возможно, растворенное органическое вещество. Гарпактикоиды кроме водорослей потребляют агрегации бактериальных клеток, грибы, инфузорий и даже трупы организмов. А два вида — *Tisbe furcata* и *T.minor* — просто предпочитают питаться бактериями.

О редуцентах — бактериях, населяющих льды Белого моря, мы знаем еще очень мало. В районе ББС в молодом льду их численность достигает 44—145 млрд клеток в 1 м³, а биомасса варьирует от 0.88 до 4.87 мг С/м³ [2]. Судя по опубликованным данным, в прибрежных льдах колебания численности еще значительнее: 39—672 млрд клеток в 1 м³, причем зимой обилие микроорганизмов выше, чем весной. В зимний период бактериями богаче слой льда снежного генезиса, весной — водного. Полагают, что изменчивость обилия бактерий в толще льда и в пространстве, скорее всего, связана с количеством доступного органического вещества и концентрацией биогенных элементов.

Нет сомнений, что ледовая биота играет важную роль в потоках вещества и энергии в арктических экосистемах. Например, планктонные и бентосные животные используют первичную продукцию, созданную ледовыми водорослями, а их вертикальный поток и осаждение фекальных пеллет животных обогащает органическим веществом донные осадки. Но еще многое остается неизвестным. Мы очень мало знаем, как меняются ледовые сообщества, начиная с формирования льда и заканчивая его таянием. Так, данные о динамике ледовой фауны в районе ББС — пока единственные для всего Белого моря. Какова динамика в других районах моря, с другими гидрологическими условиями, мы не знаем ничего. Отсутствуют сведения о трофических взаимодействиях в ледовых сообществах. Все ли животные активны во льду, кто чем питается, каков масштаб выедания продуцентов? Крайне малочисленны данные о величине первичной продукции в беломорских льдах, а оценки вторичной продукции и вовсе отсутствуют. Нет информации о динамике бактерий, да и состав редуцентов практически неизвестен. И это только малая часть тех нерешенных проблем, которые ждут молодых инициативных исследователей! ■

* Веслоногих ракообразных (копепод) было семь видов: *Pseudocalanus minutus*, *Acartia longiremis*, *Oithona similis*, *Oncaea borealis*, *Tisbe furcata*, *T.minor*, *Microsetella norvegica*.

** Виды, впервые обнаруженные в беломорской криофауне: *Tintinnopsis beroidea*, *Keratella cochlearis*, *K.quadrata quadrata*, *Euchlanis dilatata*, *Trichocerca marina*, *Tisbe minor*.

Литература

1. Ильяхин Л.В., Житина Л.С., Кудрявцева В.А., Мельников И.А. Сезонная динамика видового состава и биомассы водорослей в прибрежных льдах Кандакшского залива Белого моря // Журн. общей биологии. 2012. Т.73. №6. С.461—472.
2. Сажин А.Ф., Ратькова Т.Н., Мошаров С.А. и др. Биологические компоненты сезонного льда // Биологические ресурсы Белого моря: изучение и использование. Исследования фауны морей. 2012. Т.69 (77). С.97—115.
3. Чесунов А.В. Биология морских нематод. М., 2006.
4. Nozais C., Gosselin M., Michel C., Tita G. Abundance, biomass, composition and grazing impact of the sea-ice meiofauna in the North Water, northern Baffin Bay // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2001. V.217. P.235—250.

Диатомовые водоросли–обрастатели

А.А.Георгиев,

кандидат биологических наук,

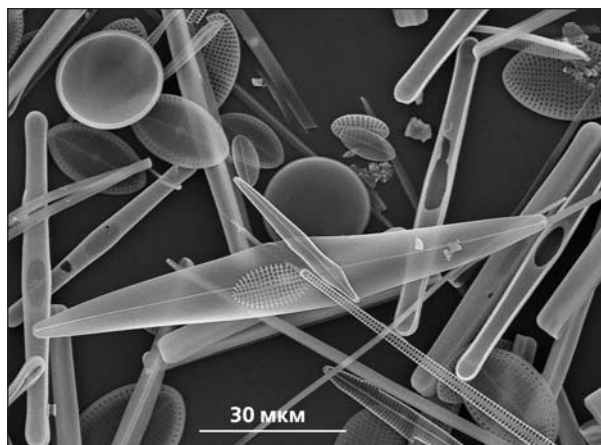
научный сотрудник кафедры микологии

и альгологии биологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

Впервые я оказался на ББС еще школьником; потом, будучи студентом, проходил там практику. В дальнейшем мне доводилось работать на Японском и Черном морях, но при первой же возможности приезжал на Белое море, на биостанцию. Теперь бываю здесь практически каждое лето, провожу летнюю практику и вместе со студентами изучаю диатомовые водоросли. Эта важная и многочисленная группа микроскопических организмов распространена от геотермальных источников до льдов и снегов Арктики и Антарктики.

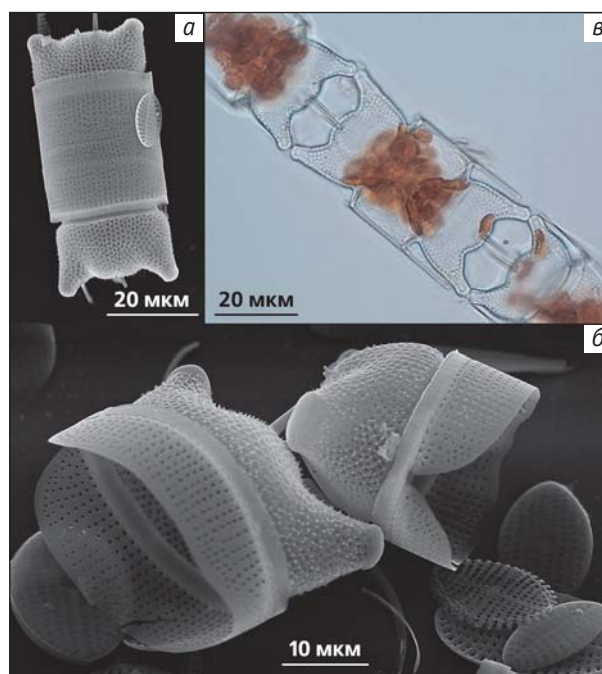
Диатомеи живут в планктоне и в бентосе, в пресных и соленых водоемах; в океане они образуют основную часть продукции и биомассы фитопланктона. Интересны эти одноклеточные и колониальные организмы тем, что каждая особь заключена в прозрачный панцирь, построенный из аморфного кремнезема ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Состоящий из двух половинок, панцирь похож на коробочку, где большая половинка надевается на меньшую. Пронизывающие его многочисленные поры обеспечивают связь протопласта с окружающей средой. У многих диатомей панцири имеют специальные структуры для выделения слизи, помогающей им прикрепляться к субстрату и формировать колонии. У некоторых диатомей панцирь пронизывают короткие трубочки, через которые выделяются длинные и прочные хитиновые фибриллы. Они объединяют клетки в колонии, защищающие их от выедания, а также повышают парусность клеток, что важно для планктонных видов. Несмотря на то что диатомеи заключены в прочный панцирь, многие из них способны двигаться — скользить по субстрату. В этом им помогает особая структура на панцире, называемая швом [1].

Диатомеи наряду с бактериями практически на любой опущенной в воду поверхности создают биопленку, на которую затем прикрепляются другие, более крупные организмы — водоросли и моллюски. Таких обрастателей иногда выделяют в отдельную группу — перифитон, ставя его в один ряд с бентосом и планктоном [2].

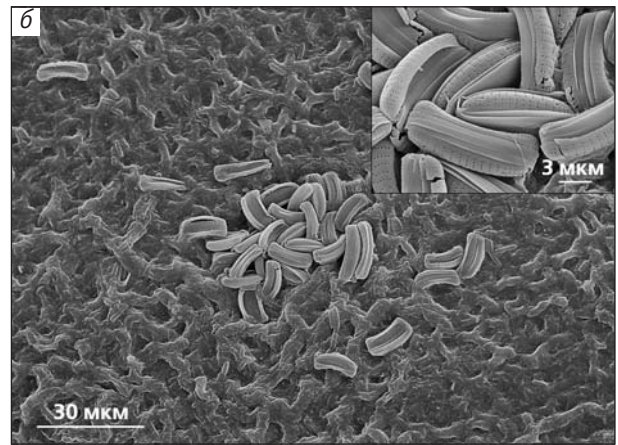
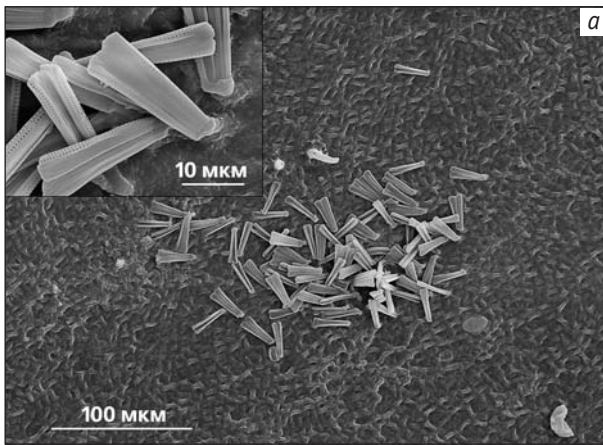


Фрагменты панцирей диатомовых водорослей, сканирующий электронный микроскоп (СЭМ).

Здесь и далее фото автора



Диатомея *Odontella aurita*. Клетка в панцире (а; СЭМ); половинки панцирей (б; СЭМ); колония (в; световой микроскоп).

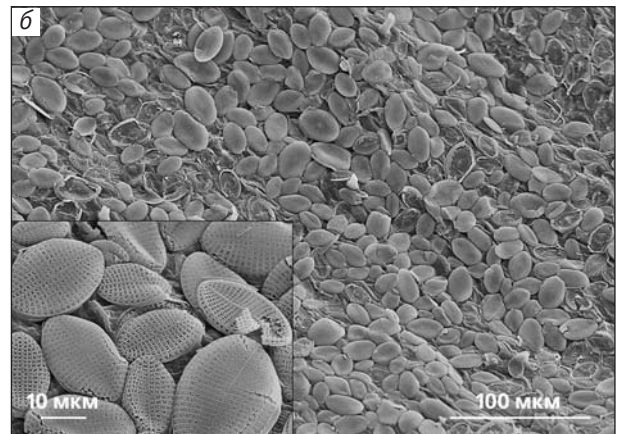
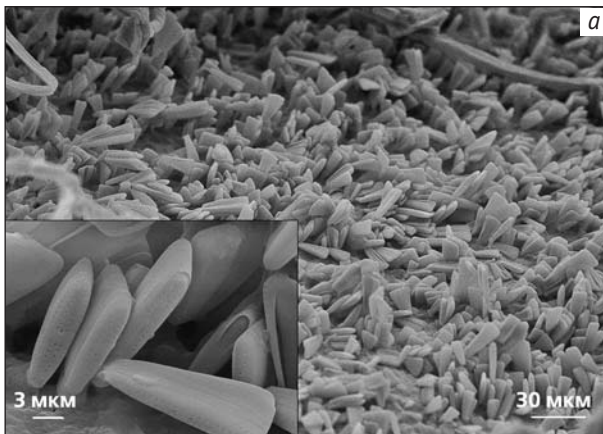


Локальные монотипные скопления диатомовых водорослей на молодых частях пластин ламинариевых водорослей (СЭМ): а — диатомеи *Gomphonemopsis pseudexigua* на *Saccharina latissima*; б — диатомеи *Rhoicosphenia pullus* на *Laminaria digitata*.

Диатомеи могут закрепляться и на живых организмах. Такое явление (эпибиоз) широко распространено в природе. Организмы, обрастающие растительный субстрат, называют эпифитными, обрастающие различных животных — эпизойными, а сам субстрат именуют базибионтом [3]. Для неподвижных организмов прикрепление особенно важно в проточной воде: особь остается в ее токе, который приносит питательные вещества и растворенные газы и уносит продукты жизнедеятельности. И чем интенсивней ток воды в ближайшем жизненном пространстве организма, тем эффективнее его метаболизм [4]. В местах с хорошей гидродинамикой и интенсивной освещенностью развиваются продуктивные сообщества водорослей макрофитов. Несмотря на крупные размеры, они тоже нуждаются в надежном прикреплении (чтобы остаться на месте). Как правило, они выбирают скальные выходы, камни, бетонные конструкции и т.п. И здесь конкуренция за место очень напряженная. При этом сами макрофиты

становятся субстратом для других эпифитов и чуть ли не лучшим субстратом для других водорослей. В связи с этим эпифитизм среди водорослей чрезвычайно широко распространен.

Прибрежные заросли макрофитов в Белом море формируются в основном ламинариевыми и фукусовыми водорослями. Эти наиболее крупные морские растения, будучи основными продуцентами биомассы, определяют особенности фитоценоза, давая приют многочисленным эпифитам. В Белом море ламинариевые водоросли образуют самостоятельный или смешанный пояс, простирающийся на каменистых грунтах от нижней границы приливо-отливной зоны до 10–18 м, с зоной массового развития на глубинах от трех до 7–8 м [5, 6]. Там растет несколько видов ламинариевых водорослей, среди которых преобладают *Saccharina latissima* и *Laminaria digitata*. Таллом их разделен на пластину, ствол и ризоиды. Расположенная между ними интеркалярная меристема обеспечивает их рост, при этом ствол



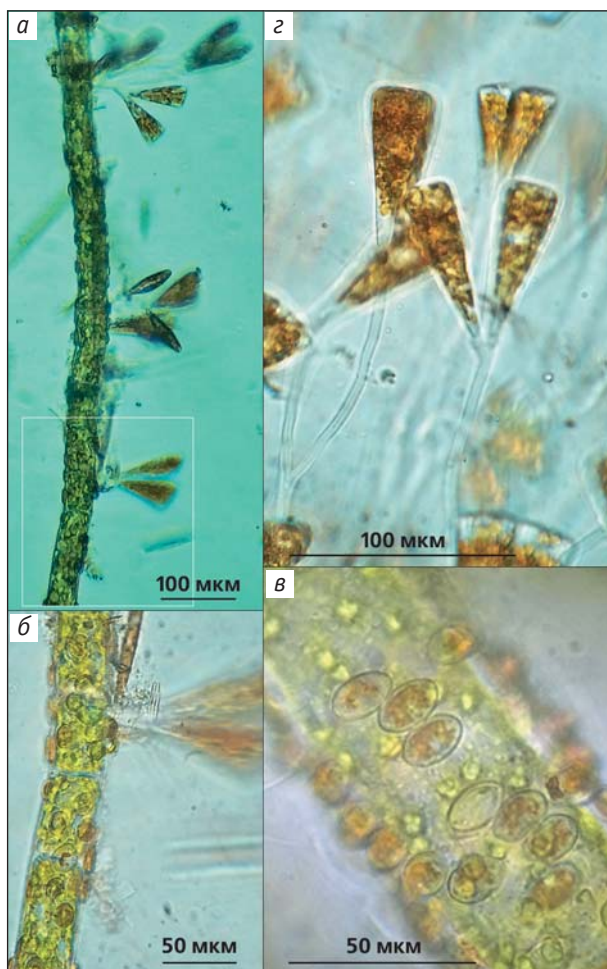
Массовое развитие диатомей на дистальных частях ламинариевых водорослей (СЭМ): а — диатомеи *Gomphoseptatum aestuarii* на *L. digitata*, б — диатомеи *Cocconeis stauroneiformis* на *S. latissima*.



Начало обрастания нитчатой зеленой водоросли *Achnanthes* овальными клетками диатомей *Cocconeis*.



Licmophora sp. и *Tabularia* sp., обросшие колонию *Berkeleya rutilans*.



Диатомовые обрастания *Cladophora fracta* (СМ): **а** — нить макрофита с плотно прилегающими клетками диатомей из рода *Cocconeis*, верхний ярус создают кустистые колонии диатомей из рода *Licmophora*; **б, в** — увеличенный фрагмент нити *C. fracta*; **г** — колония *Licmophora* sp.

растет на протяжении всей жизни, а пластина сменяется ежегодно. Ее рост начинается в декабре и наиболее активно продолжается с января по июль, а потом с конца июля до зимы пластины постепенно разрушаются [7].

В Белом море среди обрастателей ламинарий насчитывается два-три десятка видов макроводорослей. Они наиболее обильны и разнообразны на самой старой (дистальной) части ламинарии и на «стволке» [8]. Помимо хорошо заметных водорослей макрофитов на поверхности ламинариевых находят приют мириады других организмов, среди которых больше всего диатомовых. Их видовое разнообразие на талломах *L. digitata* и *S. latissima* представлено 80 таксонами. Распределены они на слоевищах ламинарий очень неравномерно: на 1 см² в молодой части пластины — несколько клеток, в самой старой — к концу лета 40–50 тыс., а зимой до 500 тыс. На многолетнем «стволке», однако, количество диатомей небольшое — примерно 500 клеток на 1 см². В молодых частях пластины клетки диатомовых образуют локальные, часто монотипные скопления, расположенные далеко друг от друга, поэтому среднее значение количества клеток на единицу поверхности базибионта невелико. Со временем такие локальные скопления, разрастаясь, покрывают пластину более равномерно, и на средней ее части можно отметить большое видовое разнообразие при достаточно выровненном сообществе. Постепенно, ближе к конечной части пластины, сообщество диатомовых эпифитов становится менее выровненным, поскольку диатомовый нарост уплотняется с резким доминированием одного или двух видов на большой площади поверхности (например, *Cocconeis stauroneiformis* и *Gomphonemopsis pseudexigua* на *S. latissima* и *L. digitata*, либо *Gomphoseptatum aestuarii* и *Pteroncola inane* на *L. digitata*).

Многочисленны и разнообразны в Белом море и фукусовые водоросли. В осушенной зоне литорали преобладают *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum*. Возраст отдельных талломов может достигать 10 и более лет [9]. Жизнь водорослей на литорали весьма сурова. Во время отлива талломы подсыхают на ветру либо мокнут под дождем (для многих морских организмов пресная вода губительна). Летом их испытывает на прочность солнечный свет, зимой — низкие температуры, особенно на участках, не покрытых толстым слоем льда. Тем не менее круглый год на литоральных фукоидах остаются эпифитные сообщества диатомей, насчитывающие более 100 таксонов. Внешние условия влияют на их структуру больше, чем конкретный вид фукусовых.

Степень обрастания различных макрофитов неодинакова и зависит как от формы таллома, так и от конкретного местообитания. Наиболее интенсивно диатомеи оккупируют водоросли с нитчатым талломом [10]. Часто к середине августа под слоем диатомей нити базифита просто не видны.

Комплекс доминирующих видов диатомей на различных базибионтах оказывается очень сходен. Поселяясь на макрофите, диатомеи распределяются в определенной пространственной закономерности. Виды рода *Cocconeis* образуют нижний ярус, над ним располагаются веерообразные и щитковидные колонии *Tabularia* или невысокие колонии на слизистых ножках *Achnanthes*. Верхний ярус создают кустистые колонии видов рода *Licmophora*. Некоторые эпифитные диатомеи (например, *Berkeleya rutilans*, *Parlibellus* spp.) формируют сложные колонии в слизистых трубках. Диатомеи, образующие нитчатые колонии, часто располагаются среди нитей макрофита, но и они не



Обледенелые талломы *Fucus vesiculosus*.

избегают участи базибионта. Часто колониальные диатомеи (например, из родов *Berkeleya*, *Parlibellus*, *Melosira*, *Rhabdonema*) в свою очередь служат субстратом для других видов диатомовых водорослей.

Итак, в исследованном районе Беломорской биостанции мы обнаружили 150 таксонов эпифитных диатомовых водорослей. Это вполне сравнимо по богатству видов с планктонными диатомеями: в Белом море выявлено 164 таксона [11]. Проанализировав более 200 образцов распространенных в Белом море макроводорослей, принадлежащих к 21 виду, мы не встретили ни одного экземпляра, свободного от диатомового обрастания, более того, в некоторых случаях мы наблюдали его сложную, многоярусную структуру. ■

Литература

1. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. Cambridge, 1990.
2. Раилкин А.И. Процессы колонизации и защита от биообрастания. СПб., 1998.
3. Виноградова К.Л. Эпифитизм водорослей: уточнение терминологии // Ботанический журн. 1989. №9. Т.74. С.1291—1293.
4. Хайлов К.М., Празукин А.В., Ковардаков С.А., Рыгалов В.Е. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. Киев, 1992.
5. Блинова Е.И. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России. М., 2007.
6. Возжинская В.Б. Донные макрофиты Белого моря. М., 1986.
7. Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В. Фитоценозы Баренцева моря. Физиологические и структурные характеристики. Апатиты, 2003.
8. Михайлова Т.А. Структура и межгодовая динамика ламинариевых фитоценозов в Белом море // Ботанический журн. 2000. Т.85. №5. С.78—88.
9. Максимова О.В. Некоторые сезонные особенности развития и определения возраста беломорских фукоидов // Донная флора и продукция краевых морей СССР. М., 1980. С.73—78.
10. Бондарчук Л.Л. Количественная характеристика эпифитных диатомей Кандалакшского залива Белого моря // Экология морских организмов. М., 1971. С.9—11.
11. Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д. Фитопланктон Белого моря. М., 2003.

Метеорология на морозе

П.И. Константинов,

кандидат географических наук,
старший преподаватель кафедры метеорологии
и климатологии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
руководитель экспедиций на ББС

Вот уже в течение трех лет Северная экспедиция научного студенческого общества (НСО) нашей кафедры отправляется в январе на ББС (на п-ов Киндо). В состав экспедиции обычно входят двое руководителей (сотрудников факультета), несколько аспирантов и около 10 студентов разных курсов*.

Одной из первых задач, поставленных перед экспедицией, стало изучение теплового обмена полыньи, традиционно возникающей в проливе Великая Салма, с атмосферой. Необходимо было определить, влияет ли полынья на температурный режим прилегающих территорий, и если влияет, то как? В то время как на суше лютуют морозы, температура воды в проливе никогда не опускается ниже точки замерзания морской воды (-1.4°C). Весьма вероятно, что полынья подогревает окрестности, но насколько сильно? Как далеко от нее может распространяться тепловой эффект? Эти вопросы отнюдь не праздные: ведь количество зимних полыней в арктических морях неуклонно растет. А полынья в Великой Салме может служить чрезвычайно удачной моделью для изучения влияния арктических полыней на региональный микроклимат.

В 2010 г., приступив к выполнению этой задачи, метеорологи привезли на ББС три автоматические метеостанции со встроенными микрокомпьютерами и установили одну из них на вершине



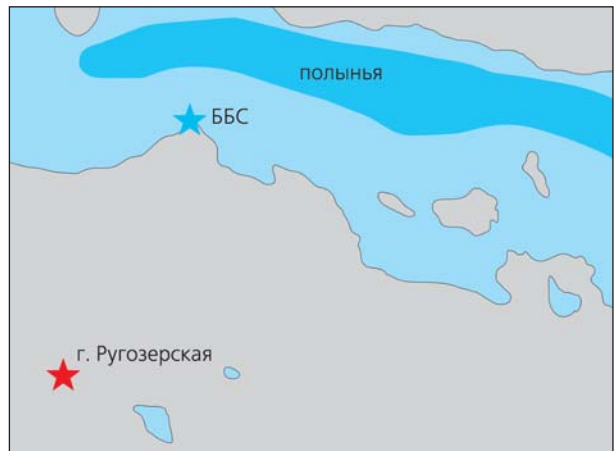
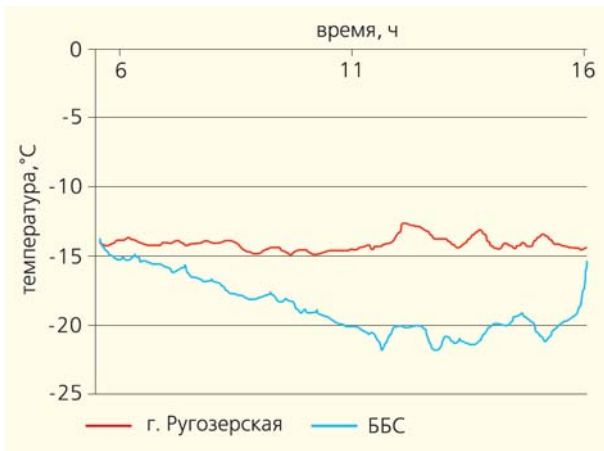
Полынья в проливе Великая Салма.

Фото М.И. Варенцова

Ругозерской горы, другую на берегу губы Кислая, а третью — у мыса Крестовый. Чтобы обеспечить бесперебойную работу микрокомпьютеров на морозе, участники экспедиции разработали и впервые испытали методику их круглосуточного обогрева. Кроме того, данные о метеорологической ситуации в непосредственной близости к полынье поступали со стационарной автоматической метеостанции ББС, установленной на причале. Так началось изучение теплового влияния полыньи на температурные градиенты и на потоки тепла в приземном слое, а также сделана попытка количественной оценки этих характеристик.

Конечно, как это часто бывает, в первых экспедициях категорично ответить на главный вопрос о влиянии полыньи на микроклимат прилегающих территорий не удалось. Однако попутно отметили очень любопытное явление — в отдельных синоптических ситуациях различия температуры воздуха между ББС и вершиной горы Ругозерская достигали $6-7^{\circ}\text{C}$. Генезис этого явления был изучен дополнительно. Выяснилось, что причина разницы температур заключается в редком сочетании гео-

* В экспедициях 2010—2012 гг. принимали участие студенты и сотрудники факультета: В.М. Степаненко, С.В. Шувалов, В.С. Платонов, Д.Е. Кузнецов, Е.С. Глебова, В.И. Бычкова, О.В. Барбанова, И.В. Железнова, К.О. Мельник, М.Е. Будаев, М.М. Капустина, А.В. Дебольский, Н.Г. Никитина, А.А. Архангельская, П.С. Вереземская, Е.А. Хруполова, Е.А. Куканова, Е.П. Малинина, М.И. Варенцов, Д.Е. Сергеев, М.Ю. Замятина, Л.А. Соколова, Г.А. Федоров, Д.И. Захарченко.

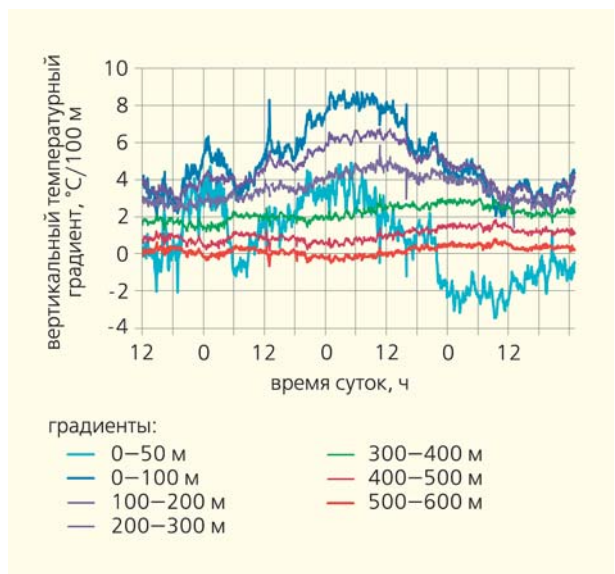


Различия в температуре воздуха, проявившиеся из-за сильной инверсии в антициклональных условиях между пирсом ББС и вершиной горы Ругозерская 30 января 2011 г.

графических факторов. Во-первых, склон, на котором расположена ББС, имеет северную ориентацию, что практически полностью препятствует дневному прогреву приземного воздуха. А вершина горы, напротив, в ясный солнечный день прогревается хорошо (это заметно в дневном ходе температуры). И во-вторых, устойчивая ночная вертикальная инверсия температуры в районе ББС не разрушается в дневные часы, тем самым способствуя сохранению холодов.

В 2012 г. в сотрудничестве с Институтом физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН и благодаря содействию доктора физико-математических наук Ирины Анатольевны Репиной было начато углубленное изучение инверсий, образующихся в приземном слое атмосферы в полярных широтах. Для этой цели выполнено непрерывное зондирование термического состояния атмосферы с помощью профилемера МТП-5 [1], основанного на принципе пассивной локации и способного измерять температуру воздуха на высотах от 0 до 600 м каждые 5 мин с шагом по вертикали 50 м.

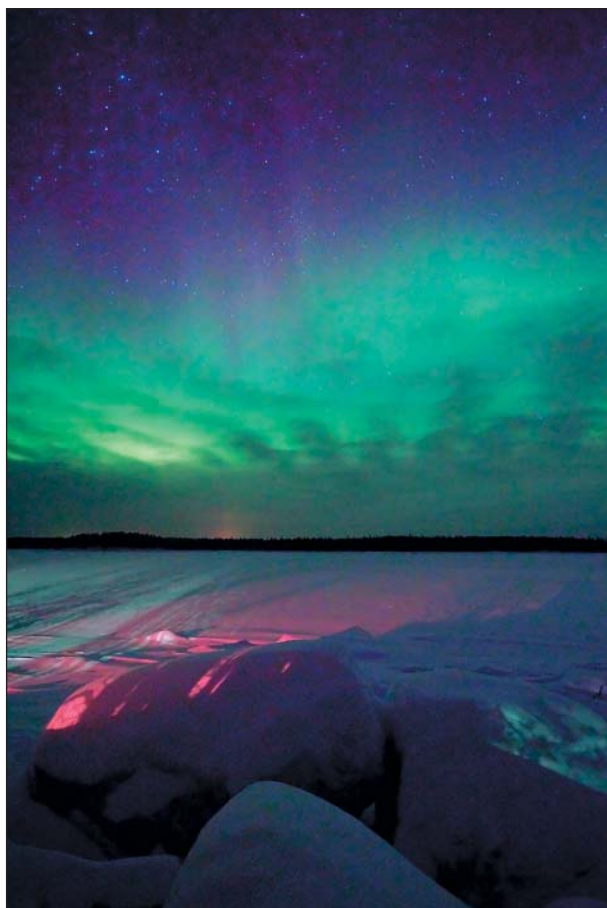
Погодная ситуация для определения инверсий была очень благоприятна — в конце января 2012 г. расположившийся над всей европейской территорией России мощный антициклон принес с собой памятные холода. В течение всего периода наблюдений измерения, сделанные профилемером, показали постоянную стабильную и мощную атмосферную инверсию. Мы получили временной ход одной из ее самых важных характеристик — вертикального температурного градиента, рассчитанного для разных уровней. Как видно, его значения положительны в течение всего времени вплоть до высоты в 600 м, где они становятся близкими к нулю. Таким образом, до 600 м можно выделить слой с устойчивой стратификацией, а выше она сменяется на слабоустойчивую (верхнюю границу этого слоя по данным измерений оценить невозможно). При этом наи-



Динамика вертикальных температурных градиентов на разных высотах за период между 30 января и 2 февраля 2012 г.



Сравнение температурной инверсии в приземном слое атмосферы на ББС в январе 2012 г. с наиболее известными аналогами [2, 3].



Полярное сияние над ББС.

Фото Д.Е. Кузнецова

более резкий температурный градиент, достигающий $8^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$, наблюдается в слое между 50 и 100 м. Особая ситуация наблюдается в нижнем слое — между 0 и 50 м, где под влиянием подстилающей поверхности инверсия разрушается в ночное время.

Мощность наблюдаемой инверсии и ее непрерывное существование в течение суток позволяют сделать вывод, что она имеет адвективно-радиационный генезис. А по мощности эта температурная инверсия уступает только антарктической. Полученный результат тем более примечателен, что такие показатели довольно редко удается изучить с помощью термического зондирования.

Литература

1. *Kadygrov E.N., Pick D.R.* The potential for temperature retrieval from an angularscanning single-channel microwave radiometer and some comparison with in situ observation // *Meteorological application*. 1998. V.5. №4. P.393—404.
2. *Воскресенский А.И., Цигельницкий И.И.* Итоги и перспективы исследований пограничного слоя атмосферы над Антарктидой // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 1985. Вып.60. С.46—59.
3. *Хргиан А.Х.* Физика атмосферы. М., 1969.

Еще одна важная задача экспедиции — изучение характеристик снежного покрова на разном удалении от полыньи и на разных склонах Ругозерской горы — обращенном к полынье (северном) и противоположном (южном). С помощью снегомерной съемки предполагается узнать, где зимой накапливается больше снега, где он плотнее, а также определить статистику его распределения в разных ландшафтах. Такие исследования проведены на ББС впервые, и им предстоит стать основой долговременных наблюдений, которые позволят выявить региональные климатические тренды, определить проявления глобального потепления и сделать прогноз на ближайшее будущее. Данные снегомерной съемки также будут использованы для расчета масштабов весеннего половодья, что позволит скорректировать план работ самой биостанции.

Помимо чисто научных результатов экспедиций 2010—2012 гг., нельзя не упомянуть об их педагогическом эффекте, ведь по замыслу основателей НСО в далеких 70-х годах прошлого века именно в подобных экспедициях молодежь должна получать первый опыт полевых исследований под руководством опытных сотрудников. Это тем более важно, что не так-то просто студентам младших курсов попасть в «настоящую» метеорологическую арктическую экспедицию. А север, как и во времена его великих исследователей, продолжает манить своей загадочностью, суровостью и неповторимыми пейзажами с нежно-розовыми отблесками заходящего солнца.

И научный, и педагогический опыт таких экспедиций уже более 30 лет представляется нашим факультетом на ежегодных конференциях «Ломоносов» (ранее — «Ломоносовские чтения»). В специальной конкурсной подсекции «Экспедиционные исследования» обычно участвуют от 17 до 24 экспедиций различных кафедр факультета. Жюри в составе заместителей заведующих кафедрами по науке оценивает результаты полевых и камеральных работ (учитываются применение современных методов в полевых исследованиях, их научная новизна, качество представления итогов экспедиции — устного доклада и оформления научного отчета) и выбирает лучшую экспедицию НСО. И дважды — в 2010 и 2012 гг. — именно зимняя метеорологическая экспедиция на ББС признавалась лучшей. ■

Живые камни

Т.Ю.Репкина, Н.В.Шевченко,

кандидаты географических наук, старшие научные сотрудники кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

Н.И.Косевич,

аспирантка той же кафедры

Характерная черта берегов западного Беломорья — крупные валуны и глыбы, хаотично разбросанные на литорали, а на ее мористой границе — сгруппированные в валунный пояс. Попав на берег из разных источников и в разное время, камни не лежат на месте. Валунная мозаика ежегодно перестраивается. Сила, способная сдвигать такие крупные (весом до нескольких тонн) глыбы, — припайный лед.

Находящиеся на литорали обломки частично или полностью вмержают в припай, толщина которого над ними часто увеличена за счет ледяных шатров*. Включенные в лед валуны перемещаются при «дыхании» припая под действием приливов и отливов. Однако особенно значительная перестройка облика литорали связана с разрушением льда весной или в глубокие оттепели, которые случаются в Кандалакшском заливе 4—6 раз в теплые и 2—4 раза в холодные зимы [1].

Об особенностях переноса льдом крупных обломков известно немного. В.Г.Чувардинский установил, что в кутовой части Кандалакшского залива интенсивность выноса валунов с берега пропорциональна скорости приливных течений [2]. Мощность льда позволяет двигать обломки диаметром до 1.5—2 м, а основной механизм захвата валунов и их переноса на лед — выдавливание по трещинам при подвижках припайных льдин [2].

На литорали п-ова Киндо начиная с 1960-х годов стали фотографировать положения камней (наблюдения Н.Н.Морфенина, а с 1999 г. — Ф.А.Романенко), что позволило обнаружить высокую подвижность валунов, возрастающую на участках сильных течений, — за один зимний сезон камни смещались иногда более чем на 20 м. В теплые зимы 2007/2008 и 2008/2009 гг., когда припай часто перестраивался, существенно изменили свое положение валуны на литорали северного побережья полуострова [3].

Суммарный объем, направление и дальность разноса каменных глыб льдом практически не изучены. До конца не понятны механизмы захвата и транспортировки валунов по поперечному про-

филю литорали. Для решения этих задач в 2009 г. на ББС МГУ мы организовали три площадки стационарных наблюдений. Первая расположена в черте поселка ББС у мыса Крестовый. Там сильные течения, ширина литорали меняется от 8 до 40 м, а глубины у берега быстро нарастают. Две другие площадки находятся в районе урочища Черные Щели, на участках с меньшими скоростями течений: в небольшой открытой бухте, где на осушке шириной 20—26 м за счет выступа коренных пород образовался выдающийся в море гребень, и на прямолинейном участке берега с шириной литорали 15—20 м.

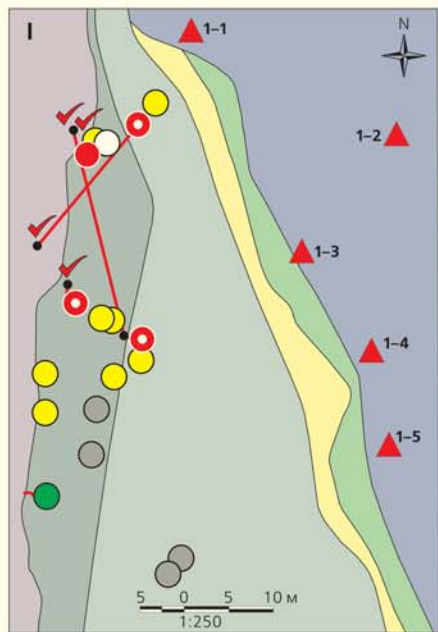
Каждое лето определялось положение маркированных валунов относительно неподвижных реперов. Замеры делали металлической мерной лентой (среднеквадратическая ошибка — 5 см) в начале июня, после полного разрушения припая. Точность измерений была проверена при съемке площадок электронным тахеометром с погрешностью не более 3 мм на 100 м. Так можно определить траекторию движения каждого валуна за зимний сезон. Важный элемент исследований — осмотр и фотографирование наших подопечных, поиск косвенных, в том числе фитоиндикационных признаков (изменений в проективном покрытии водорослей, характере обрастания прикрепленными организмами), позволяющих восстановить механизм перемещения камней. Зимой проводились наблюдения за строением ледового покрова площадок и за особенностями вмержания валунов в припай.

За 2009—2012 гг. мы получили данные о «жизни» 180 камней объемом от 0.01 до 11.6 м³. Их масса, рассчитанная исходя из линейных размеров и плотности пород, изменяется от 20 кг до 31.3 т, а диаметр (условный, так как обломки обычно имеют неправильную форму) — от 0.2 до 3.0 м.

Как оказалось, наиболее активно двигались обломки массой 50—500 кг и диаметром от 0.2 до 0.8 м. Чуть менее подвижны камни массой 1—5 т с диаметром 0.8—1.6 м. Обломки в 500 кг — 1 т смещались редко, а крупные глыбы массой более 5 т оставались на месте.

Траектории движения валунов индивидуальны, но ориентированы они в основном вниз по литорали и в направлении отливного течения. В течение трех зим 46% учтенных нами камней не поме-

* Подробнее о ледяных шатрах и строении припая см. статью Ф.А.Романенко с соавторами в этом номере журнала



Форма рельефа

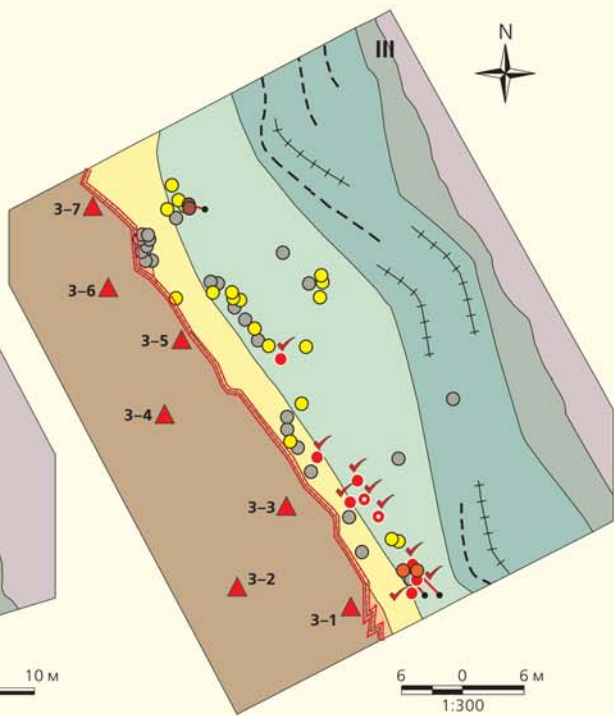
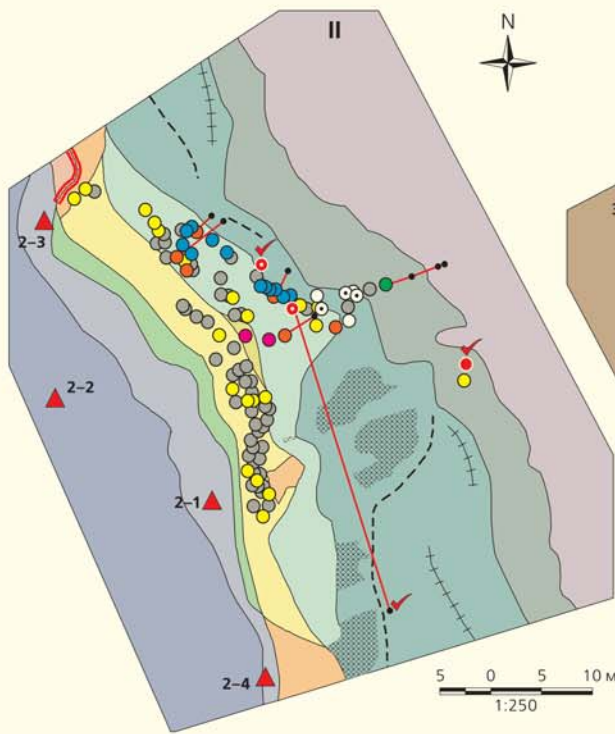
- Подводный береговой склон
- Валунный пояс
- Литораль:
 - нерасчлененная
 - нижняя
 - верхняя
- Марш
- Пляж
- Выходы скальных пород на пляже
- Морские террасы:
 - современная до 0.5 м
 - современная до 1.5 м: абразионно-аккумулятивная
 - абразионная
 - голоценовые 2–3.5 м
- Склон в скальных породах

Площадки

- I
- II
- III

Динамика крупных обломков

- Стабильные
- Перенос над осушкой:
 - на > 0.5 м
 - на < 0.5 м
 - с «разборной скалы»
- перекачивание с грани на грань
- волочение на перегибах рельефа
- волочение на наклонных поверхностях
- Принесенные льдом:
 - затем стабильные
 - ⊙ затем перемещенные
- Вынесенные льдом с площадок:
 - затем стабильные
 - затем смещенные



- ▨ Выходы скальных пород на литорали
- ▬ Крутые и отвесные скалистые уступы
- +++ Гребни гряд
- Тальвеги ложбин

- Промежуточное положение обломков (на июнь 2010, 2011 и 2012 гг.)
- ✓ Положение обломков перед выносом с площадки
- Траектории движения обломков
- 1-2 ▲ Реперы и их номера

Схема динамики крупнообломочного материала в 2009—2012 гг. у мыса Крестовый (I), вблизи урочища Черные Щели (II) и в самом урочище (III).

няли своего положения, 38% — смещались за сезон на 0.2—0.5 м, и лишь 16% — на 1.5—30 м.

По траектории перемещения валунов, их положению в рельефе литорали и косвенным признакам можно восстановить механизм транспортировки обломков льдом. Чаще всего валуны (как небольшие, так и весом до 5 т), полностью или частично вмороженные в лед, передвигаются, не касаясь поверхности осушки, «перескакивая» через расположенные рядом обломки. Как правило, при этом камни не переворачиваются. На месте, где они раньше лежали, остаются следы — площадки, свободные от водорослей. Выпавшие из берегового уступа обломки («разборная скала») под действием процессов выветривания постепенно расчленяются на более мелкие отдельные, которые захватывает и переносит лед.

У мористого края валунного пояса на припае всегда образуются параллельные берегу приливные трещины. Там мы наблюдали еще один способ перемещения. Глыбы (объемом 1.28 и 1.38 м³ и массой 3.5 и 3.7 т соответственно) переместились к морю на 2.5 и 6 м, перекативаясь с грани на грань. Эти высокие камни вмораживают в припай только своими вершинами. Весной льдины, отрываясь по приливным трещинам, тянут за собой вмороженные верхушки глыб, поворачивая их. При этом камни недостаточно прочно вморажены в лед, и их не вынесло за пределы литорали.

Вблизи перегибов в рельефе верхней части литорали небольшие валуны (от 30 до 300 кг) нередко группируются в полосы, повторяющие очертания рельефа и положение приливных трещин. Такие камни смещаются на 0.2—0.5 м в разные стороны, что, скорее всего, связано с колебательными движениями края льдин, опускающихся во время отлива на поверхность осушки.

Таким образом, характер перемещения валунов зависит от рельефа берега, который опре-

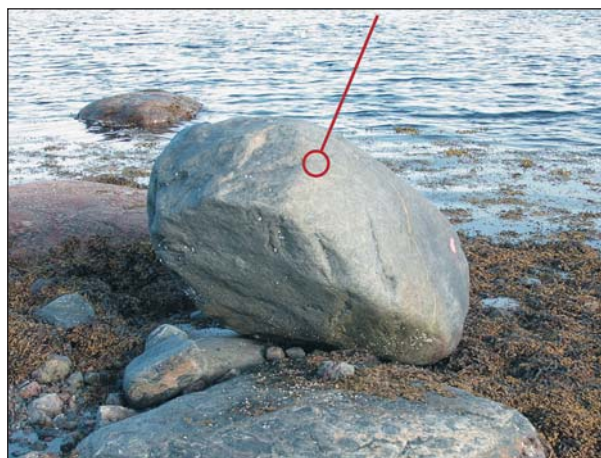
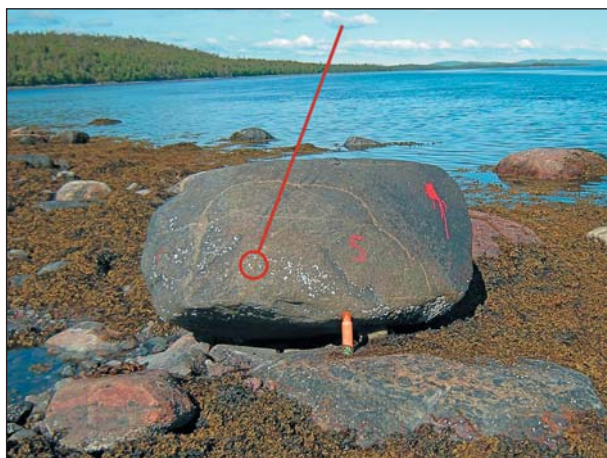


Площадка у мыса Крестовый. Вверху — обновление разметки. Июнь 2011 г. Внизу — след от вынесенного валуна (показан стрелкой), оставшийся на литорали. Июнь 2012 г.

Здесь и далее фото Н.В.Шевченко



Полоса валунов на площадке вблизи урочища Черные Щели. На дальнем плане — глыба весом 3.7 т (показана стрелкой), перекатившаяся на 6 м к морю.



Площадка у мыса Крестовый. Перемещение глыбы массой 3.5 т путем перекаtywания с грани на грань в июне 2009 г. и 2010 г.
Фото Т.Ю. Репкиной и Н.В. Шевченко

деляет также детали строения припайного льда. Обломки на пляже и у подножия скалистых уступов наиболее стабильны. Зимой их полностью облекает лед неподвижного припая, примерзшего к грунту и не испытывающего приливных колебаний [2]. Такой лед, как правило, тает «на месте». Движение льдин происходит, лишь когда разрушение припая сопровождается нагонами или совпадает с высокими (сизигийными) приливами.

Наиболее динамичны валуны на литорали, где зимой формируется подвижный припай. А отливом лед ложится на поверхность осушки, а во время прилива приподнимается водой и находится на плаву [2]. Припай раздроблен на льдины, форма и размеры (и тем самым несущая способность) которых также зависят от особенностей рельефа. Над перегибами рельефа льдины разделяются многочисленными приливными трещинами. Вдоль них группируются обломки. Однако наблюдавшегося Чувардинским выдавливания валунов на лед по трещинам мы здесь не видели. В верхней части литорали льдины, смещаясь во время приливов, волочат замороженные обломки. При разрушении припая валуны вместе с вмещающим их льдом выносятся отливным течением от берега и на востоко-северо-восток.

Наши наблюдения показали, что самые активные валуны — у мыса Крестовый, где скорость отливного течения максимальна. Здесь же отмечалась и наибольшая доля камней, вынесенных за пределы площадки. Около урочища Черные Щели,

в условиях расчлененного рельефа, движение валунов более разнообразно. Активность камней год от года практически не менялась. На мористый край гребня лед ежегодно приносил новые валуны, наращивая тем самым гребень. Вероятно, так формируются и другие поперечные берегу валунные гряды, обычные в западном Беломорье.

В самом урочище Черные Щели зимами 2009/2010 и 2010/2011 гг. камни оставались неподвижными. Однако зимой 2011/2012 гг. под действием штормового нагона с литорали и пляжа было единовременно вынесено 15% от помеченных обломков, в основном глыбы весом 1—2.2 т. Столь яркая реакция берега, возможно, связана с совпадением направлений отливного течения и обратного прибойного потока, отразившегося от практически отвесного скалистого уступа.

В целом на площадках наблюдения суммарная масса принесенных за 2009—2012 гг. валунов составила около 1.5 т, а вынесенных — 15.5 т. При этом около 11 т камней было вынесено зимой 2011/2012 гг., вероятно, во время весеннего нагона. Лед приносит относительно небольшие (от 20 до 500 кг), а выносит более крупные (от 100 кг до 5 т) обломки.

Уникальную активность огромных глыб (объемом более 1 м³), вес которых находится на верхнем пределе несущей способности льдин, мы пока объяснить не можем. Эту загадку, как и многие другие, которые каждый год ставят перед нами берега Беломорья, еще предстоит разгадать. ■

Литература

1. Романенко Ф.А., Репкина Т.Ю., Ефимова Л.Е., Булочникова А.С. Динамика ледового покрова и особенности ледового переноса осадочного материала на приливных осушках Кандалакшского залива Белого моря // Океанология. 2012. Т 52. №5. С.1—12.
2. Чувардинский В.Г. Геолого-геоморфологическая деятельность припайных льдов (по исследованиям в Белом море) // Геоморфология. 1985. №3. С.70—77.
3. Бек Т.А. Литораль. Литораль... (<http://wsbs-msu.ru/dict/view.php?ID=171>, 2010).

Фундаментальный итог

Е.Д.Краснова,

кандидат биологических наук
научный сотрудник ББС им. Н.А.Перцова

Кажется естественным, что на биологической станции, куда регулярно приезжает много биологов, ее живое окружение хорошо изучено. Так оно и есть. Но если понадобится список растений — придется обратиться к ботанику, об обитающих в этом месте грибах нужно спрашивать миколога, о птицах — орнитолога, а о некоторых группах и узнать-то не у кого, поскольку единого списка никто не составлял. Как правило, биологи приезжают на биостанцию со своей темой и собирают материал, чтобы подтвердить или опровергнуть какую-то гипотезу, или разобратся в анатомическом строении животного, или понять, какие функции выполняют разные части колонии, или определить степень родства между видами.

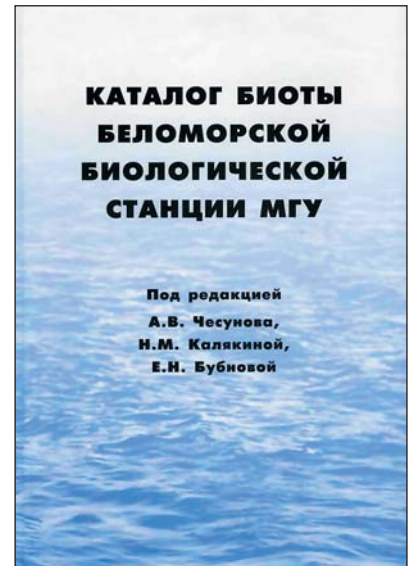
Однако не менее важно просто попутно регистрировать встречи живых организмов и вести их списки. На первый взгляд это может показаться скучной задачей. Но вспомним, к примеру, такое увлечение, как бердвочинг (наблюдение за птицами), охватившее миллионы людей во всем мире. Многие из них ведут так называемые «жизненные списки» и соревнуются, у кого они длиннее. В некоторых разделах биологии составление перечня видов, обитающих на какой-нибудь территории (в заповеднике, в целой области, республике или стране), — важнейшее направление исследований. Так, у ботаников львиная доля диссертаций посвящена региональным флорам. Однако «простое составление списков» не так-то и просто, ведь, чтобы определить видовую принадлежность живого существ-

ва, порой приходится привлекать и электронную микроскопию, и сравнение наборов хромосом, и анализ ДНК.

В то же время составление списков может быть очень полезным. Так, сравнение видов из разных регионов помогает разобратся в истории, реконструировать события, понять, как и откуда приходили одни или другие виды. Найдя среди северной тайги несколько южных видов растений, можно догадаться, что когда-то в этом месте было поселение, имевшее транспортное сообщение с теми южными районами, где растут эти виды. Размер перечня может рассказать и о сохранности экосистем, поскольку девственные экосистемы, как правило, богаче нарушенных. Отслеживая изменения в списках, составленных с большим временным интервалом, можно регистрировать климатические изменения. Для таких знаний нужны годы полевых исследований и кропотливого труда разных специалистов.

На Беломорской биостанции МГУ такая работа была проделана. В 2008 г. появился полный список живых организмов, зарегистрированных в ее окрестностях — «Каталог биоты Беломорской биостанции МГУ». Это итог работы, в которой участвовало более 70 специалистов, авторы таксономических разделов и рецензенты. Книга увидела свет благодаря трем редакторам — профессору кафедры зоологии беспозвоночных биологического факультета МГУ А.В.Чесунову и научным сотрудникам биостанции Н.М.Калякиной (инициатору проекта) и Е.Н.Бубновой.

«Каталог биоты» — не просто список. Во-первых, он охватыва-



КАТАЛОГ БИОТЫ БЕЛОМОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ.

Под ред. А.В.Чесунова, Н.М.Калякиной, Е.Н.Бубновой.

М.: Т-во научных изданий КМК, 2008. 384 с.



Живописные скалы, на которых формируется особый тип растительности с вереском и толокнянкой.

Фото автора

ет все таксоны живых организмов от прокариот до сосудистых растений и позвоночных животных. Его наименьшая таксономическая единица — вид. Вторых, в «Каталог» включены организмы из всех сред обитания: морские, пресноводные, сухопутные и даже паразитические. В-третьих, в список заносили только те виды, которые в действительности зарегистрированы в окрестностях биостанции, без экстраполяции. Даже если какой-то вид встречается неподалеку, в похожем месте обитания, и, по идее, на ББС он тоже должен быть, его не вносили в список, пока не подтвердится определение. «Каталог» охватывает область 40 км², включающую наземную территорию и акваторию, где обычно собирают материал для студенческой практики и научных исследований. Исключение сделано только для стационара, расположенного за пределами очерченной области, в деревне Черная Река. Благодаря основателю стационара И.В.Бурковскому и его ученикам там очень подробно изучена фауна простейших и орнитофауна, а также работает станция кольцевания — самый на-

дежный источник информации о птицах. Но если вид внесен только по данным этого стационара, в списке это обязательно указано. И, в-четвертых, список аннотированный — с указанием среды обитания, типичного биотопа, частоты встречаемости и специалиста, определившего вид и предоставившего данные для «Каталога» или литературного источника.

Благодаря «Каталогу» Беломорская биостанция МГУ стала единственным в мире участком планеты, для которого составлен столь полный список биоты. Даже в международной программе инвентаризации биоты (All Taxa Biodiversity Inventory, ATBI), призванной получить полное описание биоразнообразия нашей планеты на основе списков биоты биогеографических зон всех континентов*, ни для одного участка такого перечня пока нет. А ведь эта программа действует уже более 15 лет, и силы в ней задействованы немалые.

В печатную версию «Каталога» вошло 6008 видов, среди которых 46 видов бактерий, 104

вида цианобактерий, 462 вида нефотосинтезирующих простейших, 816 видов грибов и грибоподобных (в том числе несколько отделов организмов, в просторечии называемых слизевиками), 168 видов лишайников, 1413 видов водорослей, 650 видов высших растений, 2349 видов многоклеточных животных (включая 823 вида насекомых и 230 видов позвоночных).

Много это или мало? Мы могли бы сравнить полученный список с перечнем видов, составленным в Кандалакшском заповеднике, в нашем добром соседе по Заполярью: там он перевалил за 9 тыс. наименований [1], и есть мнение, что это около 40% от действительного числа видов. При этом нужно иметь в виду, что площадь заповедника в 15 раз больше, и в нем есть участки не только на Белом море, но и в Баренцевом, т.е. представлено несколько географических зон.

Можно сравнить список видов окрестностей ББС с биотой планеты. Во всемирном атласе биоразнообразия «Живые ресурсы планеты Земля в XXI веке» авторитетные специалисты определили число известных видов в 1.75 млн [2]. Биота ББС составляет от этой величины 0.34% (ее площадь 40 км², а поверхность планеты 510.2 млн км²). Если учесть, что по направлению к полюсам разнообразие биоты должно уменьшаться, а биостанция расположена на полярном круге, то наш участок представляется весьма богатым, но до полной изученности даже ему далеко.

Разные группы организмов исследованы неодинаково, что и выявляется при сравнении со структурой глобальной биоты планеты. В ней прокариоты составляют 0.20% всех видов живых организмов Земли, а в районе ББС — 2.5%; протисты, включая водоросли и зооспоровые грибы, — 4.6% (на ББС 34.85%); грибы вместе с лишайниками — 4.1% (на ББС 12.73%); высшие растения, от печеночников до цветковых, — 15.4% (на ББС

* <http://www.atb alliance.org>

10.82%); многоклеточные животные — 75.7% (на ББС всего 39.1%). По мнению Чесунова, сравнительно малая доля животных указывает не на реальную квоту в видовом богатстве биостанции, а на их меньшую изученность [3].

Недостаточно данных по простейшим (кроме морских свободноживущих инфузорий), насекомым, почвенной фауне, а также по прокариотам (кроме цианобактерий). Будучи в первую очередь морской, Беломорская станция больше внимания всегда уделяла изучению морских организмов — их из всей биоты — 41%, 17% составляют пресноводные, 37% — сухопутные (остальные 5% присутствуют сразу в двух-трех основных биотопах). В глобальной биоте соотношение иное: на долю наземных форм, включая сухопутные и пресноводные, приходится более 85% видового разнообразия [3]. Основная причина — недостаточная изученность насекомых и почвенной фауны.

Но в целом «Каталог» вполне представительный. Из 34 известных науке типов многоклеточных животных на нашем небольшом участке зоологи зарегистрировали 22. Сравнивая перечень свободноживущих морских беспозвоночных биостанции со списком, составленным Зоологическим институтом РАН для всего моря, мы видим, что из 1817 всех беломорских видов на участке 40 км² в Кандалакшском заливе найдено 1010, т.е. более половины, при том что он очень мал по сравнению с целым морем [4].

Материалы «Каталога» позволили оценить значение этого участка для глобального биологического разнообразия и для науки. Великое множество видов в сочетании с исключительной изученностью делают окрестности биостанции эталонным научным и природоохранным полигоном. За все годы ее существования обнаружено и описано более 100 новых видов организмов. Большинство из них — микроскопические многоклеточные животные, относящиеся к слабоизученной категории морской мейофауны: это свободноживущие нематоды (25 видов), ракообразные (23 вида), инфузории (17 видов), солнечники (6 видов), грибы (в широком смысле, с грибоподобными организмами, 5 видов), грегарины (5 видов), фораминиферы (4 вида), полихеты (4 вида), бактерии (4 вида), морские моллюски (3 вида), энтопрокты (2 вида), зеленые водоросли (2 вида), высшие растения (2 вида), киноринхи (1 вид), коловратки (1 вид, паразит супралиторальных олигохет). Среди новых видов есть представители новых родов и семейств, а также необычные жизненные формы. Таким образом, район ББС заслуживает всемерного внимания и бережного отношения еще и потому, что служит типовым местом обитания для множества видов из разных царств. Некоторые из таких видов — просто уникальные биологические феномены.

Заканчивая описание «Каталога», отмечу, что наука не стоит на месте, и за четыре с полови-

ной года со времени издания книги накопились новые сведения: добавилось 10 видов водорослей, один вид гидромедуз, 13 видов птиц и 3 вида млекопитающих. Ревизия водорослей сократила список на 14 пунктов, а после исправления ошибок в определении его покинул один вид ракообразных. Таким образом, к концу 2012 г. общее число видов составило 6019.

Для оперативного пополнения информации специалисты по компьютерным технологиям Н.Соколова и А.Майоров перевели «Каталог» в электронную форму. Теперь каждый, у кого есть доступ к Сети, может познакомиться с ним на сайте биостанции [5]. В 2011 г. заработала и его английская версия [6]. Электронный каталог организован в стиле всем хорошо известной «Википедии». Кроме названия вида указано, в какой среде он обитает (морской, пресноводной, на суше), отмечено, паразитический он или нет, даны также очень краткие сведения об экологии и распространении. Пока этими краткими сведениями все ограничивается. Но электронные издания тем и замечательны, что их можно расширять и совершенствовать, дополняя страницы подробными описаниями видов, сведениями о том, где они встречены, картой распространения, фотографиями, ссылками на научные статьи о результатах исследований, выполненных на ББС. «Каталог», как живой организм, развивается и совершенствуется. ■

Литература

1. *Корякин А.С.* Биоразнообразие Кандалакшского заповедника: текущая информация, 2009 г. // Материалы Международной научно-практической конференции. Мурманск, 13—15 апреля 2009 г. Мурманск, 2009. С.126—129.
2. *Groombridge B., Martin D.J.* World Atlas of Biodiversity. Earth's Living Resources in the 21st Century. California, 2000.
3. *Чесунов А.В.* Биота Беломорской биостанции МГУ // Материалы научной конференции, посвященной 70-летию Беломорской биологической станции МГУ. М., 2008. С.42—46.
4. *Sirenko B.I.* List of species of free-living invertebrates of Eurasian Arctic seas and adjacent deep waters // Explorations of the Fauna of the Seas. 2001. V.51. P.1—129.
5. Каталог биоты Беломорской биологической станции МГУ // <http://www.atb alliance.org/>
6. Catalogue of biota of the MSU White sea biological station // <http://biota.wsbs-msu.ru/wiki/index.php>

Фотосъемка — наука и искусство

А.А.Семенов,

старшина водолазной группы ББС им.Н.А.Перцова,
призер конкурса «Дикая природа России», организованного «National Geographic»,
один из лучших фотографов 2012 года, по версии журнала «Nature»

Погружаясь с аквалангом под воду, мы попадаем в естественную среду обитания тысяч различных организмов. На их жизнь влияет множество факторов: типы дна, меняющиеся по силе и направлению течения, соленость и температура воды, наличие или отсутствие пищи, взаимоотношения между разными видами и многое другое. Все это формирует уникальную экосистему, воссоздать которую в аквариуме невозможно.



Как выглядит «планктонный коктейль» из крылоногих моллюсков, гребневиков и гидромедуз, когда число этих организмов достигает совершенно фантастических масштабов.

Как медузы из одного семейства безжалостно охотятся друг на друга.

Как полихеты-филодоциды подо льдом охраняют свою кладку изумрудного цвета.

В искусственных условиях никогда не увидеть сцену, как десятки или сотни бокоплавов, которых не найдешь в светлое время, ночами поедают погибшую рыбу.





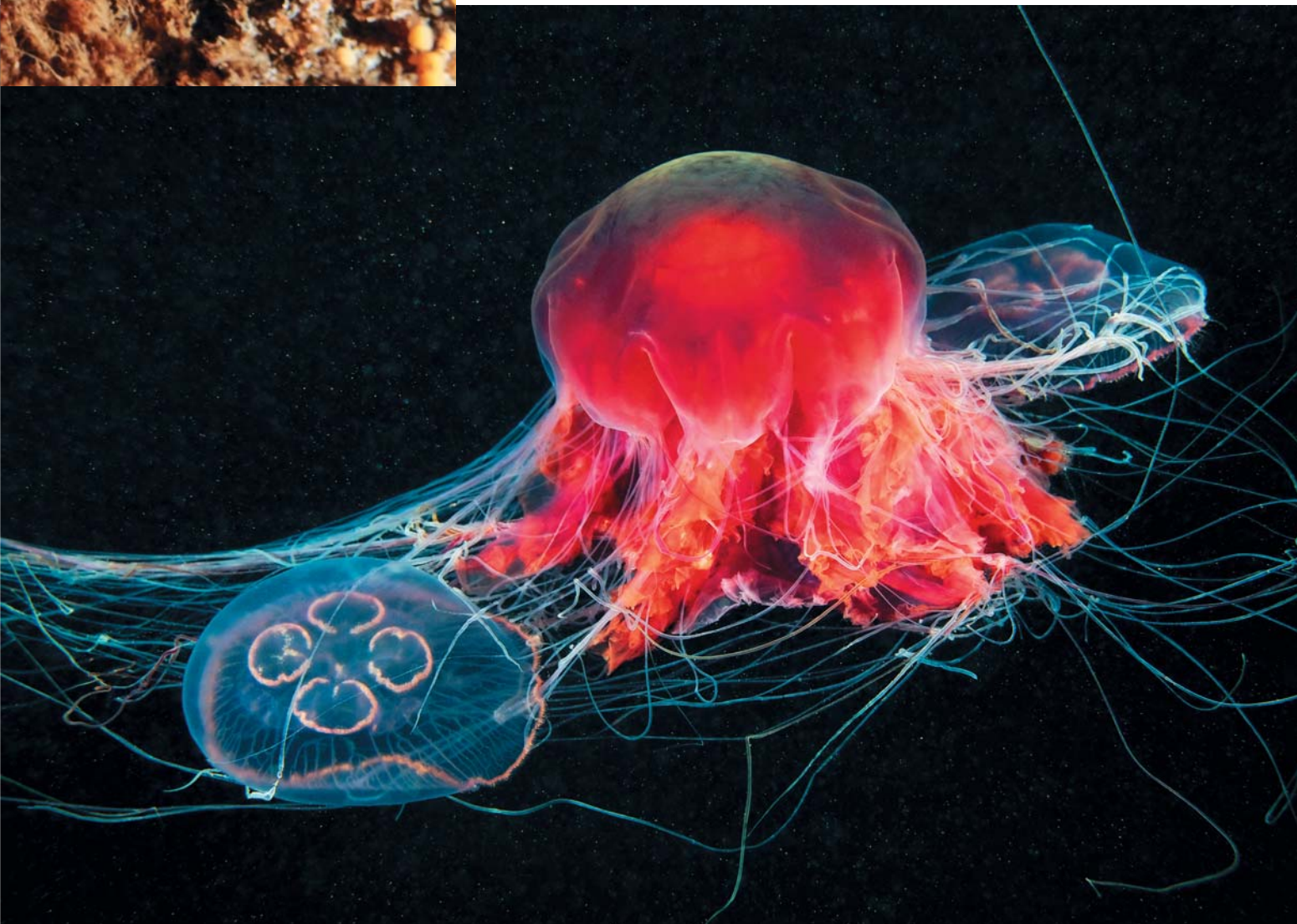
Вооружившись фото- или видеокамерой, можно задокументировать события, происходящие под водой в реальной жизни, а не интерпретировать результаты лабораторных наблюдений. Более того, многих животных невозможно изучать в лаборатории, так как достать их из воды, не повредив, нельзя. В первую очередь это относится к желетелым организмам вроде медуз или гребневиков — от одного прикосновения они превращаются в бесформенные сгустки слизи.

Жизнь таких животных можно наблюдать только непосредственно в их естественной среде. Для изучения некоторых прикрепленных организмов необходимо оставлять камеру под водой на несколько часов или даже дней, чтобы в деталях заснять все происходящие события. Ведь

многие животные прячутся в своих норках и не показываются, если остается опасность. Для длительной, наиболее информативной съемки аквалангист-исследователь порой проводит под водой около двух часов, а его фото- и видеосъемка становится научным методом изучения подводного мира.

Макросъемка позволяет фиксировать процессы и животных, которых вообще не видно невооруженным глазом. Если сфотографировать кусочек дна, а потом разглядывать его многократно увеличенным на мониторе в лаборатории, можно увидеть то, чего не заметит даже воюдолаз-наблюдатель.

Например, как крохотные рачки-дулихии строят длинные палочки, на которых живут целыми семьями (см статью Н.Ю.Неретина в этом номере).



Рачок бокоплав
Hyperia galba



Морская козочка
Caprella septentrionalis



Многочетинковый червь nereис
*Nereis pelagica**

В морских исследованиях зачастую нужна съемка по специальной технологии, когда фотографируют дно в рамке определенного размера, после чего по снимку оценивают примерный количественный и качественный состав фауны в данном биотопе (см. статью А.И. Исаченко).

Только подводной съемкой работа фотографа-биолога не ограничивается, многое снимается и в лаборатории. Под водой получить чистую и красивую фотографию объекта исследования во всех ракурсах очень сложно, а иногда и невозможно. Например, многочетинковых червей, живущих в трубках, прежде чем снимать, нужно отодрать от камней и вытащить из домика, зарывающихся животных — выкопать и очистить от грязи. Специальные объективы позволяют фиксировать не только общий вид, но и детали строения крошечной «фото модели» с большим (до пяти крат) увеличением и с очень хорошим качеством — лучше, чем это позволяют сделать бинокли. Качество современной фототехники, цифровой техники и оптики постоянно растет, и с помощью этих методов, ценность и точность которых будет только повышаться, можно решать новые задачи.

Однако научная фотография и видео-съемка дает в руки ученым не только качественные иллюстрации для исследований. В лаборатории, например, можно увидеть некоторых беспозвоночных животных, которые светятся в УФ-спектре, и заснять их на камеру.

В 2010 г. на ББС был подготовлен замечательный иллюстрированный атлас «Флора и фауна Белого моря», содержащий около 1.5 тыс. фотографий более 300 массовых видов водорослей и высших растений, беспозвоночных и позвоночных животных — млекопитающих, птиц и рыб (см. рецензию Н.Е. Будаевой). Составив список видов, которые было необходимо заснять, и оговорив, какие кон-



кретно детали строения и определенные признаки должны быть видны на фотографии, мы два года снимали животных и под водой, и в лаборатории только для этой книги. К работе подключилась вся водолазная команда, участники которой искали, добывали, вскрывали трубки и выковыривали оттуда несчастных мучеников науки. В итоге

получился совершенно уникальный атлас, в который вошли не только наши фотографии, сделанные на ББС, но и множество кадров, которые снимали другие фотографы в Белом море в течение многих лет! ■

* Это фото признано журналом «Nature» одной из 11 самых значительных фотографий 2012 г. — Примеч. ред.

Кто живет в Белом море?

Н.Е.Будаева,

кандидат биологических наук,
научный сотрудник Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН
Москва

В последнее десятилетие благодаря развитию и общедоступности любительского дайвинга стало популярным издание иллюстрированных морских атласов. В мире существует невероятное множество изданий, посвященных тропическим рыбам, рептилиям и крупным беспозвоночным животным, которых активно фотографируют дайверы-любители и морские натуралисты. Чрезвычайно яркая и разнообразная тропическая морская фауна привлекательна и доступна для многих подводных фотографов, а подводные съемки в суровых условиях холодного северного моря — задача непростая. «Атлас флоры и фауны Белого моря» — одно из немногих изданий, которое открывает для читателя разнообразие, красоту и очарование подводной жизни Арктики.

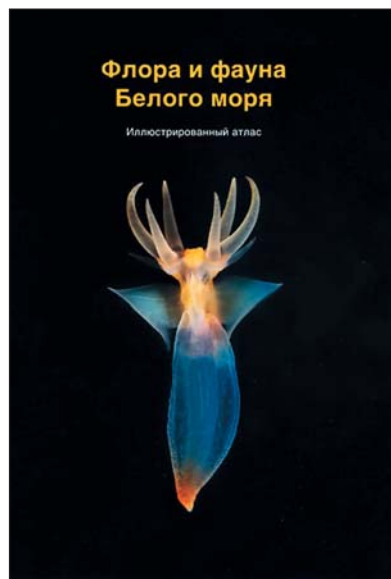
Беломорский атлас уникален, поскольку содержит не только мастерски выполненные фотографии морских обитателей, но и подробные данные об их строении, отличиях от сходных видов, особенностях образа жизни, питания и размножении. Полнота и достоверность изложенных в очерках сведений не вызывают никаких сомнений. В огромный коллектив авторов и редакторов издания вошли высокого уровня специалисты, занимающиеся изучением морских организмов.

Вводные главы знакомят читателя с географией Белого моря, а также с гидрологическим и ледовым режимами его основных заливов. Приведено подробное описание двух основных

биотопов Белого моря: литорали, или приливно-отливной зоны, расположенной на границе воды и суши, и так называемой сублиторали — собственно подводной части моря. Эти главы дают общее представление об экосистеме Белого моря и знакомят с фотографиями наиболее распространенных прибрежных и подводных ландшафтов.

Особенно интересна глава, посвященная трем биологическим станциям, расположенным в Кандалакшском заливе Белого моря: ББС МГУ им.М.В.Ломоносова, станции Зоологического института РАН «Картеш», и биологической станции Санкт-Петербургского государственного университета на о.Средний. Во всем мире морские биологические станции — не только центры исследования местного биоразнообразия, но и базы для обучения многих поколений студентов-биологов. На Белом море именно ученые и студенты, работавшие на трех биостанциях в течение последних 75 лет, смогли провести инвентаризацию флоры и фауны, описать новые виды, получить данные об их экологии и распространении. Атлас — один из ярких промежуточных итогов на пути к пониманию богатства жизни этого уникального водоема.

Центральную часть атласа занимает обзор массовых видов морских организмов — обитателей Белого моря. Каждая из глав описывает группу морских животных или растений и включает в себя очерки по отдельным наиболее часто встречающимся представителям. В начале каждой главы — изображение общего плана строения той или иной



ФЛОРА И ФАУНА БЕЛОГО МОРЯ: Иллюстрированный атлас / Под ред. А.Б.Цетлина и др.

М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. 472 с. 1580 илл.

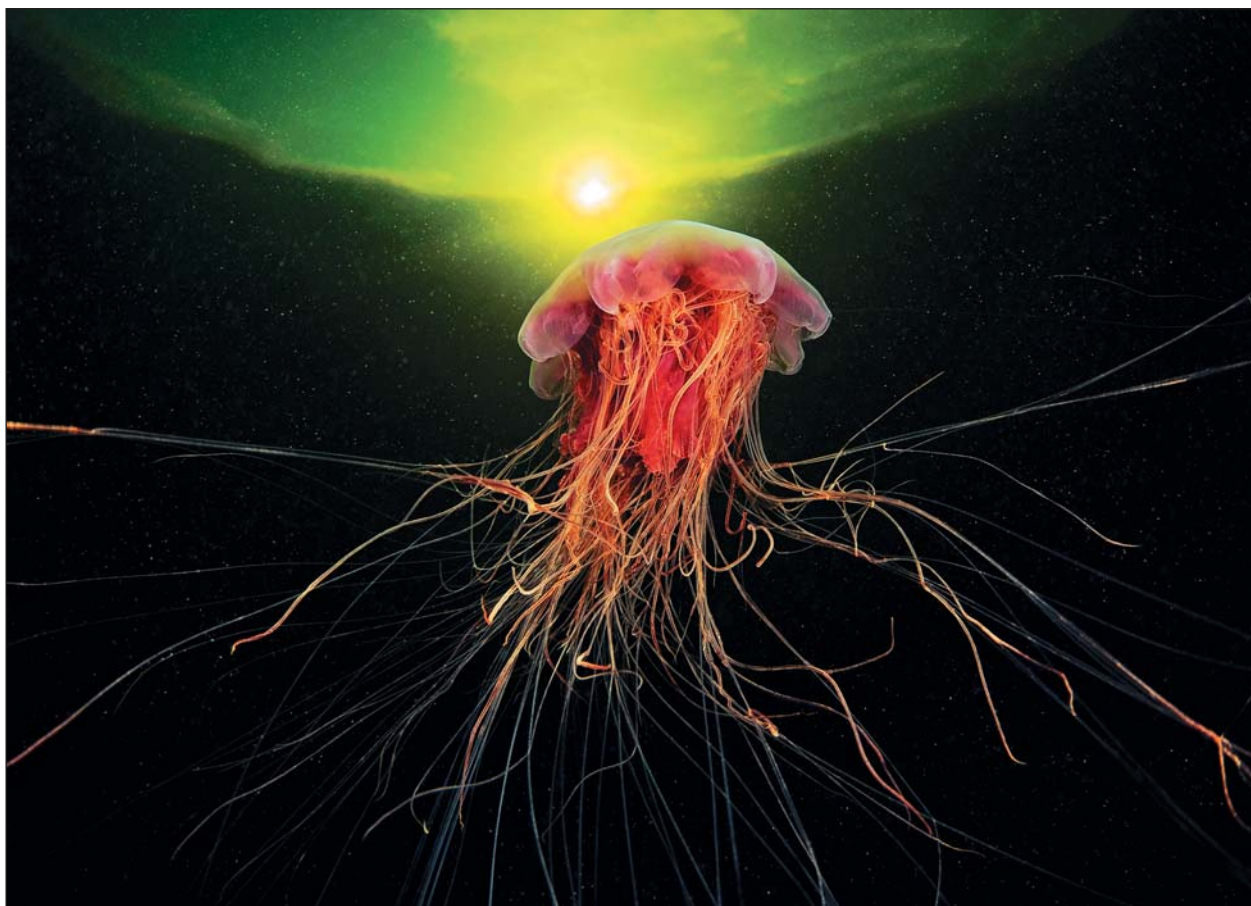
Сцифомедуза *Cyanea capillata*.

Фото А.А.Семенова

группы морских обитателей, снабженное пояснительными подписями. Такая вводная информация значительно облегчает знакомство читателя с книгой, упрощает восприятие морфологических описаний, содержащих большое количество специальных терминов. Наличие подобных схем с одной стороны приближает Атлас к учебному пособию по сравнительной морфологии и анатомии организмов, а с другой — позволяет неподготовленному читателю проникнуть в детали строения того или иного морского организма.

Всего в книге описано 285 видов беломорских животных и растений, что, конечно же, составляет лишь небольшую часть всей флоры и фауны этого водоема. Несмотря на это, авторам удалось максимально охватить

Зубатка *Anarhichas lupus*.

Фото Н.А.Червяковой



Голожаберные моллюски *Coryphella polaris*.

Фото А.А.Семенова



Заросли ламинарии.

Фото А.Э.Жадан

разнообразии беломорской биоты — от водорослей до крупных млекопитающих и птиц. Наиболее подробно представлены различные группы беспозвоночных животных. Важно, что при составлении атласа авторы не ограничились традиционным набором наиболее узнаваемых организмов, таких как губки, моллюски, многощетинковые черви и ракообразные. Включены и животные, малоизвестные за пределами узкого круга специалистов-зоологов: немертины, морские стрелки, мшанки, камптозои, кишечнодышащие, брахиоподы, асцидии и аппендикулярии. Каждый из очерков снабжен прекрасными фотографиями, выполненными как в лабораторных условиях, так и в естественной среде обитания описанных видов. Для многих из них даны изображения мелких деталей строения, стадий развития или особенностей образа жизни, выполненные в виде поясняющих рисунков и микрофотографий, полученных на световом или сканирующем электронном микроскопе. Большое число фотоматериалов атласа стали новыми и уникальными источниками сведений об экологии и поведении беломорских беспозвоночных животных. На фотографиях можно увидеть спарива-

ние морского ангела — плавающего брюхоногого моллюска, и вынашивание им потомства в огромной слизистой кладке; палочковидные постройки микроскопических рачков-дулихий, густым ковром покрывающие некоторые участки беломорского дна; нерест морских змеехвосток-офиофолисов и питание морских звезд, поедающих морских огурцов, двустворок и даже мертвую рыбу.

Хотя книга рассчитана на широкую аудиторию (не только

на специалистов-зоологов и студентов биологических вузов, но и на натуралистов-любителей и дайверов), она выполнена по всем стандартам научной публикации. В тексте присутствуют латинские названия и списки синонимов, указания на авторство видов, а также современные представления о системе животных и растений. Приведенный в конце книги алфавитный указатель латинских названий видов беломорской фауны и флоры, а также список использованной литературы делают атлас полноценным справочным изданием, имеющим не только художественную, но и научную ценность.

Хочется отметить современный и оригинальный дизайн книги, исключительное качество подавляющего большинства фотографий и высокий уровень полиграфии. Атлас вряд ли можно с легкостью использовать в поле, он слишком тяжел и объем, однако полнота сведений, обилие интереснейших фотографий и широкий охват морского биоразнообразия полностью искупают этот недостаток. Остается только пожелать, чтобы авторы и редакторы атласа перевели его на английский язык; тогда о красоте и богатстве беломорской флоры и фауны узнают и за пределами России. ■



Морская козочка.

Фото А.А.Семенова

Секрет процветания

М.В.Калякин,

доктор биологических наук

директор Зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова

«Море Белое, словно чаша вина, на ладони моей качается...» Эта переделанная строка Окуджавы, написанная про Черное море, прочно вошла в мое сознание, как входят обычно яркие детские впечатления (и я до сих пор испытываю от этого полное удовольствие). Тогда, в конце 1960-х и в 1970-х, Николай Андреевич Перцов с энтузиазмом руководил станцией, которая еще не носила его имени. Моя мама, Наталья Михайловна Калякина, была одним из научных сотрудников биостанции, точнее — сотрудниц, составлявших основу ее научного коллектива — поэтому детей на станции было много. Мы досаждали директору своими детскими выходками и, получая от него разносы, естественно, очень его боялись. Но я не стану здесь углубляться в детские воспоминания* и попробую перейти на тон, более соответствующий директору Зоологического музея МГУ. Повод для моих воспоминаний — не только 75-летие биостанции, но и первая годовщина образовавшегося здесь филиала Зоомузея, который успешно растет и развивается. Свои размышления хочется посвятить секрету процветания станции.

Территория ББС — кусочек побережья Белого моря, на редкость богатого жизнью. Здесь море и суша причудливо проникают друг в друга, создавая разные комбинации соленых и пресных вод. Море то насыщает на сушу приливы, то слегка отступает, но суша постепенно одерживает верх, незаметно, но монотонно поднимаясь и отрезая от моря заливчик за заливчиком. Своя жизнь, все более доступная глазу исследователя, бурлит в морском подводном царстве, что-то на грани химии и жизни варится в полусоленых озерах, и что-то уже совсем таинственное происходит в молчаливых и, казалось бы, совсем лишенных движения верховых болотах. И все это доступно пытливым исследователям. Для случайного посетителя визит сюда будет ассоциироваться с грибами и морошкой, комарами и свежим морским ветерком, рыбалкой и нетронутой (или почти нетронутой) неброской, но очаровательной природой севера. А тем, кому интересна жизнь окружающего великолепия, ББС предоставляет уникальное и почти безграничное поле деятельности.

* Подробнее см.: *Калякин М.В.* Вспоминая увиденное детскими глазами (www.wsbs-msu.ru).

Станция всегда была местом притяжения для самых разных исследователей — вплоть до геоморфологов, климатологов и прочих небиологов. Притягательность именно этой точки на карте обеспечили люди, 75 лет неустанно занимавшиеся здесь созидательным трудом. В них главный секрет уникальности ББС и ее главный капитал. Среди виновников торжества сразу отмечу коллектив сотрудников станции. Точно не ошибусь, если начну с тех, кому все приезжающие на станцию гости благодарны уже многие десятилетия. Это местные жители, которые сделали и делают эту территорию бесценной для исследователей, преподавателей и студентов, и те сотрудники, которых я застал в детстве, и те, кто фактически возродил станцию после развала страны в 1990-х годах. Руководил возрождением Леонид Давидович Папунашвили, отвечавший за все хозяйство станции. Заложенная им система жизнеобеспечения продолжает работать и после его безвременной кончины.

Отмечающийся некруглый юбилей станции был бы невозможен без Александра Борисовича Цетлина, буквально вдохнувшего вторую жизнь в эту сложную систему, действующую в неблагоприятных климатических и финансовых условиях. Благодаря его ежеминутному рвению станция сегодня выглядит такой, какой мы ее знаем и любим. И — что не менее важно — он не дал пропасть и распасться всему, что сделал в свое время Николай Андреевич Перцов.

Низкий поклон и Николаю Андреевичу, и Александру Борисовичу, и всем людям, руководившим станцией и внесшим свой труд в то, что она живет и развивается. Благодарность всем — а их сотни, скорее — тысячи, кто так или иначе помогал станции, работая на ее благо и в первых стройотрядах в конце 1950-х, и в последующие десятилетия, и тем, кто внес свой вклад в ее благополучие во время общественных работ. Сколько поколений студентов ворчали по поводу этой трудовой деятельности по 17–19 часов на летней практике? Сколько часов тратили на нее преподаватели? В юбилей ворчание должно стихнуть и смениться гордостью за то, что и мы внесли свои «пять копеек» в общее дело.

Роль участвовавших в развитии ББС невозможно переоценить. Станция превратилась в то, что мы видим сегодня, трудом нескольких поколений. Наверняка не ошибусь, если предположу, что один из секретов ее прогресса состоит в том, что все

жители «Страны ББС» вкладывали в нее больше, чем получали, — проценты выросли впечатляющие! Очевидно, все так или иначе понимали или чувствовали, что такое служение науке и образованию — дело, безусловно, хорошее. Что, перефразируя поднадоевшего нам в студенческое время классика, построение отличной биостанции в одном отдельно взятом месте возможно.

Вроде бы все понятно — и все-таки чего-то не хватает, есть какая-то невысказанность. Может быть, неплохо на этом остановиться — пусть остается, пусть тревожит, пусть подтолкнет кого-то из читателей к самостоятельному ответу на вопрос, что же на станции есть такого, что делает ее не похожей ни на какую другую? Попробую сформулировать свой вариант ответа. Видимо, когда еще в начале истории станции ее судьба зависела всего от нескольких человек, получилось

так, что люди эти подобались творческие, самоотверженные, понимающие, что и зачем они делают. А дальше началась положительная обратная реакция — с первых стройотрядов и первых студенческих практик на них равнялись, за ними тянулись, при них не могли снижать планку. Так что на прекрасном в любую погоду фоне накопилась и достигла нужного градуса концентрация положительных человеческих качеств, не официально-формальный, а реальный дух коллективизма (не будем бояться избитых фраз — тут как раз все так и есть), готовность сделать что-то сверх плана и сверх зарплатной ведомости. Мне так кажется. Возможно, я неправ. Тогда объясните мне, почему все, кто так или иначе прикоснулся к жизни станции, благодарны судьбе за это прикосновение? И счастливы поздравить станцию с юбилеем! ■

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь

Е.А. КУДРЯШОВА

Научные редакторы

О.О. АСТАХОВА

Л.П. БЕЛЯНОВА

Т.С. КЛЮВИТКИНА

Н.В. УЛЬЯНОВА

О.И. ШУТОВА

С.В. ЧУДОВ

Литературный редактор

Е.Е. ЖУКОВА

Художественный редактор

Т.К. ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией

И.Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Перевод:

С.В. ЧУДОВ

Набор:

Е.Е. ЖУКОВА

Корректоры:

М.В. КУТКИНА

Л.М. ФЕДОРОВА

Графика, верстка:

А.В. АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№ 1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 16.01.2013
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 955
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6