На беломорских биостанциях

Февральский номер «Природы», если помнит читатель, был целиком посвящен 75-летию Беломорской биологической станции им.Н.А.Перцова Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова (ББС МГУ). Но в Белом море эта станция не единственная, рядом с ней есть еще две — Картеш (ББС Зоологического института РАН) и Морская биологическая станция Санкт-Петербургского университета (МБС) — где тоже успешно добываются знания о северной морской жизни. В этом номере мы публикуем приветственное слово старейшего сотрудника ЗИНа в адрес ББС МГУ, ихтиологическую работу, выполненную на МБС, и дополняем специальный выпуск еще одной, не вошедшей в него статьей.

К 75-летию ББС МГУ

Меня всегда радовало, что две Беломорские биологические станции, Московского университета и наша, ББС ЗИНа, располагаясь сравнительно недалеко друг от друга и выполняя сходные задачи, более чем за полвека существования тесно дружили, сочувствовали трудностям и радовались успехам друг друга. Не помню ни одного случая недоброго поступка или глухой ревности. Нас всегда объединяли любовь к Белому морю и молодой энтузиазм научного поиска. Одинаково волновали проблемы моря, его экологического облика, общей биопродуктивности, охраны животного и растительного мира, роли отдельных видов, судьба морского промысла.

Кроме того, мы остро чувствуем, что многие принципиальные вопросы общей биологии могут быть решены только на морских организмах. Именно в комфортной соленой среде в наиболее простом виде возникли важнейшие проявления жизнедеятельности — наружное оплодотворение, тотальное дробление, внекишечное (точнее, докишечное) пищеварение, поверхностные возбудимые и секреторные клетки, ставшие впоследствии нервными элементами. При выходе в пресные воды, а затем и на сушу эти функции сохранялись и развивались только благодаря соответствующей солености внутренней среды («моря внутри нас»). Поэтому многие проблемы современной биологии высших животных, включая медицинские, могут быть успешно решены при анализе первых шагов становления функций в морской среде. Последней яркой демонстрацией этого положения служат работы Ю.А.Лабаса, А.В.Гордеевой и Л.Г.Наглер. Эти исследователи показали, что борьба с микроорганизмами посредством их «сжигания» перекисями, известная прежде только для макрофагов позвоночных, возникла значительно раньше — на основе такой же способности слизистых эпителиальных клеток, покрывающих тело морских беспозвоночных*.

Понятно, что без работ на море нельзя подготовить не только специалиста-зоолога или ботаника, но и любого грамотного биолога. И нет ничего удивительного в том, что полигоном отечественной морской биологии стало именно Белое море — оно расположено ближе других к академическим институтам и университетам европейской части страны. Мне повезло в жизни повстречаться со многими отцами-основателями наших северных морских биостанций. Школьником я общался с К.К.Сент-Илером, который, будучи сначала профессором Дерптского, а потом Воронежского университета, ежегодно много лет возил своих студентов на летнюю базу в Ковденский залив. Аспирантом Зоологического института работал в одном кабинете с Г.А.Клюге, с 1908 по 1933 г. возглавлявшим Мурманскую биостанцию в Екатерининской гавани, что в г.Александровске. Станция была закрыта после посещения Сталиным, Кировым и Ворошиловым, а вместо нее создана база подводных лодок, сыгравшая большую роль в обороне Мурманска и проведении караванов союзников в Великую Отечественную войну. Воссозданием биостанции — уже в Дальних Зеленцах — руководил мой учитель П.В.Ушаков. Когда я после первого курса проходил там практику, директором был уже В.В.Кузнецов, впоследствии организовавший ББС ЗИН на Картеше. Он же первым рекомендовал меня на свое место, когда тяжело заболел. С Картешем связаны без малого 15 лет самых трудных и ярких лет моей жизни.

Все эти годы я дружил с директором ББС МГУ Николаем Андреевичем Перцовым, восхищался его хозяйственной хваткой, умением многое делать самому и организовывать других. Помню, во время каникул даже выпускники небиологических факультетов с огромным энтузиазмом приезжали поработать под руководством Николая Андреевича. Созданная им материальная база позволила ввести обязательную морскую практику не только для студентов биофака, но даже для биофизиков физфака. Последнее произвело на меня такое сильное впечатление, что я написал руководству родного факультета ЛГУ (сейчас СПбГУ) о необходимости обязательной морской практики и предложил обра-

* *Лабас Ю.А., Гордеева А.В., Наглер Л.Г.* Незримое одеяние голых тварей // Природа. 2006. №12. С.3—10.

тить внимание на освобождающиеся строения закрываемого лесозавода на о.Среднем. Сейчас там находится успешно работающая МБС СПбГУ. Замечательным моментом в жизни ББС МГУ я считал привлечение к ее научному руководству К.В.Беклемишева. Оказалось, что известные мне бульдозеристы, дизелисты на электростанции и пилорамщики — это научные работники биостанции. Сегодня, после стольких трудных лет, ББС МГУ предстает ярким растущим организмом, нужным образованию и науке. Горжусь дружбой с ее руководителем Александром Борисовичем Цетлиным, который четверокурсником работал на нашей ББС. Я был его оппонентом на защите кандидатской и докторской диссертаций и считаю его ярким научным руководителем и хорошим хозяйственником.

Мои поздравления с 75-летием ББС Московского университета!

© В.В.Хлебович,
доктор биологических наук
ЗИН РАН
Санкт-Петербург

«Волны жизни» беломорской колюшки

Д.Л.Лайус, Т.С.Иванова, Е.В.Шатских, М.В.Иванов

Волнообразные изменения численности популяций различных организмов обратили на себя внимание уже более века назад и с легкой руки С.С.Четверикова получили название «волны жизни» [1]. Однако даже обширная информация об этом явлении, накопленная к настоящему времени, не всегда позволяет оценить его масштабы. В широко известном популярном издании «Жизнь животных», вышедшем в 1970-х годах, о трехиглой колюшке в Белом море можно найти такие строки: «В Кандалакшском заливе вскоре после вскрытия моря, в конце мая, “колюшка” в огромных количествах подходит к берегам. Местами в период массового подхода колюшки вода буквально чернеет от сплошной массы рыбок, толпящихся у берега». Однако реальная картина, которую наблюдал один из авторов настоящей статьи (Д.Л.Лайус) на Белом море в 1980 г., кардинально отличалась от вышеприведенной — колюшки было почти не видно. Позднее мы выяснили, что ци-

© Лайус Д.Л., Иванова Т.С., Шатских Е.В., Иванов М.В., 2013

Дмитрий Людвигович Лайус, *кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского государственного университета. Область научных интересов — историческая экология, популяционная биология рыб.*

Елена Викторовна Шатских, *аспирант той же кафедры и младший научный сотрудник ББС ЗИН РАН. Изучает экологию и паразитологию рыб.*

Татьяна Сослановна Иванова, *научный сотрудник той же кафедры. Занимается экологией рыб.*

Михаил Валерьевич Иванов, *кандидат биологических наук, старший преподаватель той же кафедры. Научные интересы связаны с синэкологией, сообществами бентоса и марикультурой.*

Трехиглая колюшка в неводе в период нереста. У самцов голубые глаза и красное брюшко, а самки окрашены в серо-зеленые тона.

Здесь и далее фото авторов

тируемые строки взяты из работы А.Вебеля и относятся к началу 1930-х годов. Очевидно, за это время произошел «отлив» волны жизни беломорской трехиглой колюшки. А сегодня мы вновь стали свидетелями «прилива» — численность этого вида на глазах растет.

Столь значительные изменения численности массового вида не могут не отражать серьезные перестройки во всей экосистеме. Их масштабы и причины в прошлом надо знать, чтобы понимать, что будет в будущем. Наши знания о прошлом экосистем пока невелики, но интерес к этому сейчас огромен, и уже получены важные результаты. Например, и раньше было известно, что трески в заливе Мэн (северо-восток США) сейчас стало гораздо меньше, но, чтобы показать насколько именно, по-

Заросли морской травы зостеры во время малой воды в губе Сельдяная (юго-запад Кандалакшского залива) — нерестилища трехиглой колюшки.

требовались специальные историко-экологические исследования [2]. Оказалось, что пик численности трески в 1970-х годах, долгое время служивший ориентиром для управления ресурсом этого вида, на самом деле — жалкие остатки стад трески середины XIX в., когда рыбы было примерно в четыре раза больше.

Более близкий к нам пример — семга на Русском Севере. На протяжении XVII—XVIII вв. численность семги менялась в зависимости от температуры: в теплые периоды увеличивалась, в холодные — наоборот, уменьшалась [3]. Знания таких колебаний позволяют судить, как будет реагировать тот или иной вид на грядущее потепление. Эти и ряд других работ по исторической экологии промысловых видов выполнены в рамках крупной международной программы «История популяций морских животных» (2000—2010), призванной использовать исторические методы для получения информации о прошлом экосистем.

Приведенные примеры относятся к важным промысловым видам, поскольку только для них можно найти достаточную историческую информацию. Однако ее использование для реконструкции динамики экосистем имеет существенные недостатки. Во-первых, динамика численности промыслового вида зависит не только от интенсивности вылова, но и от естественных причин, разделить которые очень трудно, а подчас и невозможно. Во-вторых, промысловые виды (а чаще всего это хищники, занимающие верхние трофические уровни) далеко не всегда могут быть хорошим показателем состояния экосистемы.

Удобным объектом для возможной реконструкции динамики беломорской экосистемы служит предмет наших исследований — трехиглая колюшка, не имеющая серьезного промыслового значения. Из-за его отсутствия мы лишаемся важного источника информации, но зато получаем большое преимущество: в этом случае численность вида целиком определяется естественными причинами. Кроме того, биологические особенности колюшки (массовое скопление у берегов в период нереста летом) делает ее доступной для наблюдений даже без специальных орудий лова, и она часто упоминается в литературе по Белому морю.

В периоды высокой численности эта рыбка занимает в эко-

Крачки за рыбной ловлей (вверху). Эти птицы часто охотятся на колюшку, но, возможно, добывают ее не для птенцов — скорее всего, они не способны съесть рыбку из-за ее острых колючек.

Фото А.Е.Черенкова

системе ключевое положение: питаясь планктоном и будучи пищей для хищных рыб, она служит важнейшим звеном между разными трофическими уровнями. Когда целый трофический уровень состоит из небольшого числа видов, говорят об экосистемах с «осиной талией». В Белом море к таким видам кроме колюшки можно отнести сельдь (сейчас ее численность в Кандалакшском заливе невысока, и из-за более крупных размеров она менее доступна для большинства хищников), а также песчанку, которой обычно очень немного. Значит, в современной беломорской экосистеме «осиная талия» — это в основном трехиглая колюшка, достаточно удобный вид для изучения долговременных колебаний численности, а соответственно, и изменений во всей экосистеме Белого моря, динамика которого целиком зависит от естественных факторов, поскольку антропогенная нагрузка очень мала.

Наша задача — описать изменения численности трехиглой колюшки в Белом море начиная с конца XIX в. и проанализировать факторы, их вызывающие.

Как живет трехиглая колюшка в Белом море

Трехиглая колюшка (*Gasterosteus aculeatus*) размножается в Кандалакшском заливе в конце мая (рис.1). Она подходит к берегам, где самцы строят гнезда. Обычно в одно гнездо выметывают икру несколько самок (их максимальная доля достигает 65—80% от общего количества рыб). Наибольшая численность рыб на нерестилищах приходится на последние две недели июня, причем эти сроки несколько меняются в зависимости от погоды. В Кандалакшский залив приходят рыбы в основном 2-3-летние, а их плодовитость колеблется от 55 до 1000 икринок (в разные годы в среднем 150—300 икринок).

Икра колюшки развивается в течение семи-восьми дней, и вылупляются личинки длиной 4—6 мм. Спустя двое-трое суток они выплывают из гнезда, а еще через столько же переходят на активное питание. Все это время молодь охраняет самец. Через несколько дней личинки, достигнув длины 7—8 мм, покидают гнездо и примерно через неделю приобретают форму тела взрослых рыб. Колюшка предпочитает размножаться в зарослях морской травы зостеры (*Zostera marina*), где и проходят первые недели жизни молоди (и в эксперименте ее больше всего именно там). В море это, видимо, связано с хорошей защищенностью, более высокими температурами (зостера обычно растет на мелководьях) и благоприятными условиями питания. Часто в Белом море колюшку можно увидеть в заросших мелководных заливчиках, иногда опресненных, где обычно теплее и развитие происходит быстрее (здесь она соседствует с близким видом — девятииглой колюшкой). Осенью (вероятно, в сентябре) молодь трехиглой колюшки отходит от берегов и возвращается к месту рождения только через два-три года — на нерест. Мы почти не знаем, что происходит с ней в открытом море. Можно предположить, что в Белом море, как и в других частях ареала, она не живет возле берегов. В 2012 г. в июне в губе Чупа всего в 200—300 м от берега небольшим пелагическим тралом мы поймали самок колюшек, неготовых к нересту. У самого берега таких рыб мы не встречали.

Взрослые рыбки поедают любую доступную пищу — планктон, бентос, икру и молодь рыб (как других видов, так и собственные), а также воздушных насекомых, попавших в воду. В пище мальков преобладают личинки планктонных ракообразных, но встречаются и личинки комаров-звонцов (хирономид), разноногие (бокоплавы) и равноногие (изоподы) раки, круглые (нематоды) и многощетинковые (полихеты) черви. Поскольку бóльшую часть жизни колюшка проводит в открытом море, то основную роль в ее питании играет морской планктон. Сама же колюшка служит пищей треске, чаще в сезон своего размножения, когда особенно доступна. Позже в желудках трески начинает попадаться в значительных количествах икра колюшки, а потом еще и мальки. Молодью или взрослыми колюшками могут питаться и сельдь, керчак, навага, медузы, а также морские птицы — крачки, крохали, чайки и др. В тихую погоду, заметив у поверхности колюшку, можно увидеть, как крачка застывает на месте, бросается в воду и через секунду взмывает в воздух с трепыхающейся рыбкой в клюве. Правда, неясно, годится ли колюшка для птенцов крачки, поскольку рыбка вооружена не только пятью мощными колючками (лучами спинного и брюшных плавников), но и многочисленными костными щитками по бокам тела. Трехиглая колюшка играет важную роль в динамике популяций многих видов моллюсков, рыб, птиц, поскольку служит промежуточным и окончательным хозяином почти сотни видов экто- и эндопаразитов [4].

Сколько колюшки в море: читаем литературу, изучаем архивы

Хотя специально численность колюшки в Белом море никто не изучал, сведений, позволяющих судить о ней, довольно много. Еще в 1891 г. И.К.Тарнани, описывая рыболовство при Соловецком монастыре, отмечал: «Колюшка попадает в очень большом количестве, в один раз пудов десять». В 1908 г. К.К.Сент-Илер отмечал «значительные скопления» колюшки в районе села Ковда (южное побережье Кандалакшского залива), а в 1911 г. — в Двинском заливе [5]. В 1932 г. известный ихтиолог В.В.Чернавин, будучи политза-

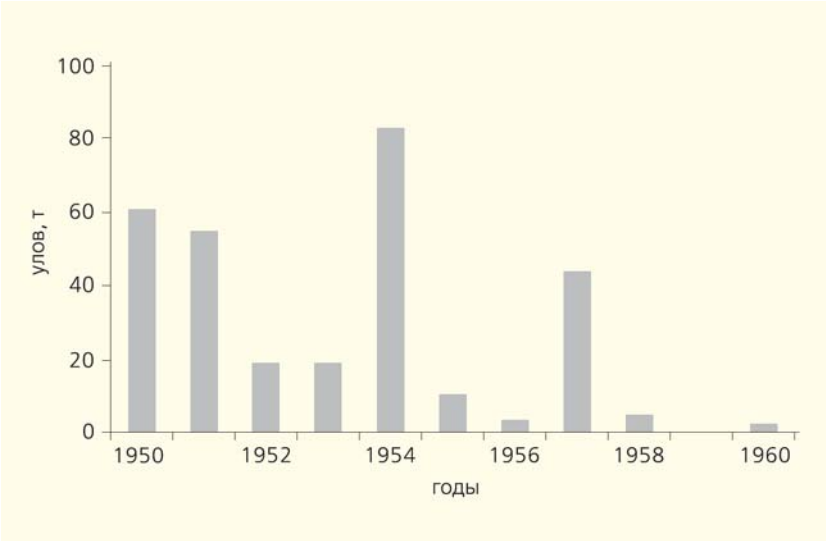
ключенным ГУЛАГа, для получения рыбной муки занимался добычей колюшки на юго-западе Кандалакшского залива. Организация этого промысла помогла ему совершить побег из ГУЛАГа (описан в книге мемуаров, впервые опубликованной в Париже в 1939 г.), а нам — узнать, сколько было колюшки в Белом море в те времена. Чернавин писал: «Колюшка шла бесконечной лентой из моря и стояла сплошной массой у всех берегов... Наш пятидесятиметровый неводок в 15—20 минут давал улов больше тонны» [6]. В это же время о тех же районах очень похоже писал А.Вебель: «Вдоль всей этой береговой линии немедленно вслед за уходом льда наблюдается массовый подход колюшки к берегам. В некоторых местах вода буквально чернеет от сплошной массы рыбок, толпящихся у берега. В течение 10—12 дней небольшим тягловым неводком (с ячеей в 6—7 мм и обметом в 40 м) можно выловить почти без труда по тонне рыбы в течение не более получаса» [7]. По опросам местных рыбаков Вебель установил, что «неудачных» (в смысле подхода колюшки) годов за последние 18 лет не наблюдалось. Подобные описания говорят об экстраординарном обилии трехиглой колюшки вдоль южного берега Кандалакшского залива в 1932—1936 гг., причем много ее уже было в течение предыдущих двух десятилетий.

Во время Великой Отечественной войны колюшку ловили в основном сельдяными неводами, крупный размер ячеи которых позволял уходить многим рыбам. Колюшка шла в пищу местному населению, на корм скоту и птице, а жир использовали для заживления ран. Очевидно, эти данные говорят о высокой численности колюшки в первую половину 1940-х годов, хотя не исключено, что тогда интенсивный промысел был обусловлен высокой потребностью в рыбе из-за недостатка ресурсов. Наверное, беломорская колюшка не меньше питерской заслуживает памятника, который установлен в Кронштадте со стихами М.Г.Аминовой:

Обстрелы смолкли и бомбежки.
Но до сих пор звучит хвала —
Блокадной маленькой рыбешке,
Что людям выжить помогла...

После войны вылов колюшки постепенно снижался. В 1948 г. в Онежском заливе местные рыбаки говорили, что рыбка ловится плохо, а сотрудники Гридинской станции во время одного из рейсов смогли поймать только 2 кг колюшки. Все же в первой половине 1950-х годов ее промысел был довольно стабильным, тогда общие уловы нескольких рыбозаводов доходили до 82.7 т. Затем добыча снизилась, и последние крупные уловы пришлись на 1957 г. Не вполне ясно, объясняется ли спад промысла колюшки к концу 1950-х

Памятник блокадной колюшке на внутренней облицовке Обводного канала в Кронштадте.



Суммарные годовые уловы трехиглой колюшки рыбаками беломорских рыбозаводов (данные из архивов Гридинской биологической станции Карельского филиала АН СССР).

годов только снижением ее запаса. Документы свидетельствуют, что прекращение промысла связано с ограничением ее добычи и затем с прекращением переработки, но местное население вылавливало ее на корм скоту и птице до 1960-х годов.

Много внимания этой рыбке уделяется в «Летописях природы» Кандалакшского государственного заповедника, существующих с начала 1950-х годов. В 1952 г. его сотрудники отметили сокращение численности колюшки (считают, что это повлияло на численность крачек), затем она практически исчезла. Небольшое повышение наблюдали в середине 1970-х годов, но затем упоминания ее подходов снова исчезли почти на 20 лет. По данным ихтиологической съемки в Кандалакшском заливе в 1986—1987 гг., трехиглая колюшка встречалась лишь единично в небольших поселениях зостеры.

С начала 1980-х годов и по настоящее время мы ежегодно участвуем в экспедициях ББС ЗИНа и Морской биологической станции (МБС) СПбГУ. При ловах неводами и сачком в губе Чупа единичные экземпляры попадались регулярно. Чаще всего, и в большем количестве колюшка встречалась в небольших относительно закрытых и хорошо прогреваемых губах. Такая картина наблюдалась до конца 1990-х годов.

В «Летописях природы» первые признаки роста численности колюшки отмечены в 1997 г. С 2002 по 2007 г. там описываются «тысячные стаи» рыбы у островов и берегов во время подхода на нерест. В 2007 г. вдоль береговой линии Кандалакшского морского торгового порта видели километровую «полосу» трехиглой колюшки. Тогда же стали находить взрослую рыбу и ее икру в желудках трески. Все эти описания дают общее представление о масштабных изменениях численности колюшки и во всем Белом море. Однако в науке просто представление мало значит, совершенно очевидно, что необходимо определить саму численность.

Сколько колюшки в море: выясняем на месте

В 2006 г. мы начали изучать динамику численности трехиглой колюшки в период нереста в различных районах Белого моря. Больше всего данных получено для двух участков в районе МБС. Рыбу ловили тягловым неводом в 30-метровой прибрежной зоне. В 2010—2011 гг. мы оценивали пространственную гетерогенность распределения колюшки. Чтобы определить уловистость орудий лова, метили рыб и выпускали их в район облова неводом. Работа во многом облегчались тем, что колюшка очень устойчива к механическим воздействиям — легко переносит как поимку неводом, так и мечение.

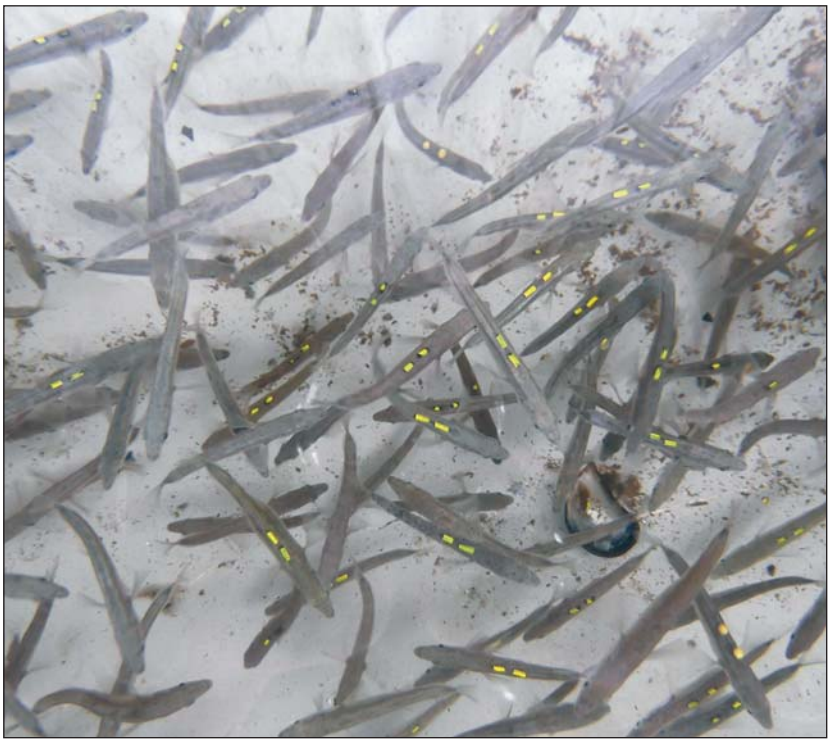
По нашим данным, за последние семь лет в окрестностях биостанции численность колюшки возросла в несколько раз. Самой высокой была ее плотность в закрытых губах с мощными и обширными зарослями зостеры, а у более открытых берегов — в несколько раз ниже. Минимум пришелся на прибрежье небольших островов: там колюшки оказалось примерно на порядок меньше, чем около материка или крупных островов, хотя условия везде одинаковы. Возможно, это связано с более высокой прибойностью прибрежной зоны небольших островов.

Если говорить обо всем Белом море, то больше всего колюшки вдоль юго-западного побережья Кандалакшского залива, где хорошие условия для размножения благодаря множеству островов и богатой растительности. В кутовой части залива, несмотря на почти такие же условия, численность колюшки была в несколько раз ниже, а на северном берегу залива, явно неблагоприятном в связи с сильным прибоем, рыбы в нерестовый период оказалось неожиданно много. Правда, в августе молоди мы здесь не обнаружили — может, нереста не было вовсе или он не дал результатов.

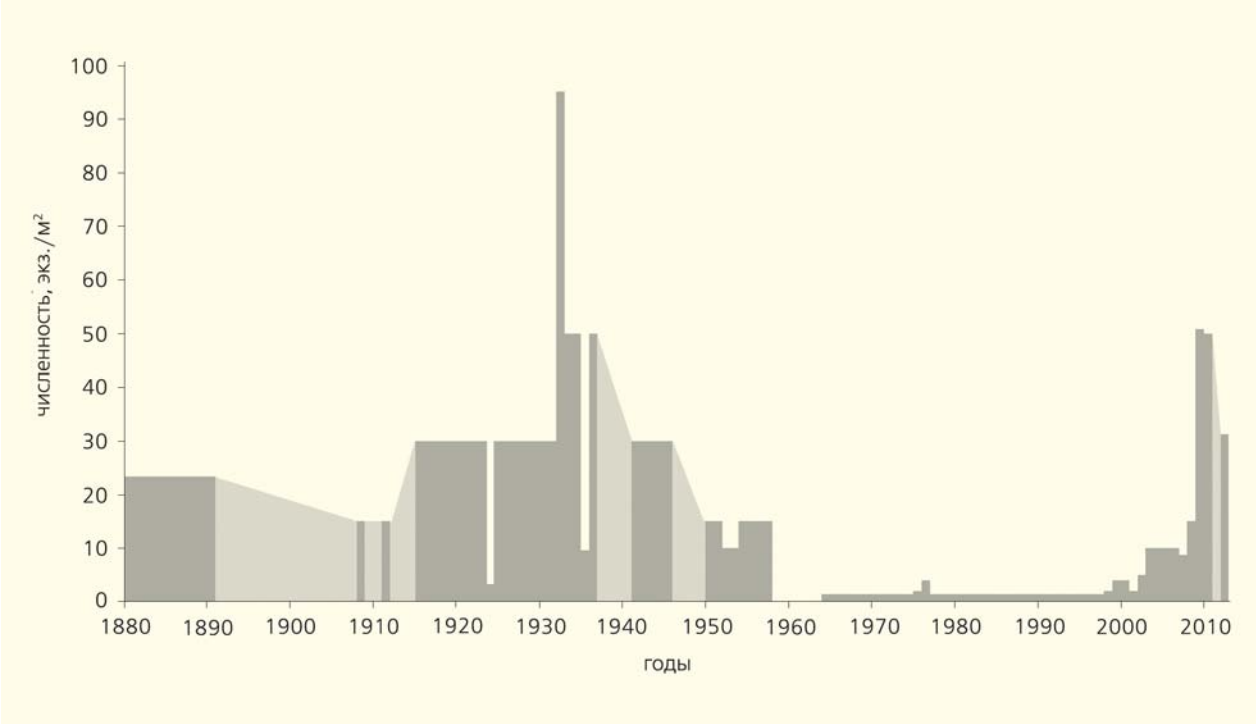
Вдоль западного берега Онежского залива биотопы, где условия также не очень благоприятны для нереста (нет вод-

ной растительности, а берега прибойные), численность производителей была ожидаемо низкой. Больше всего колюшки отмечено в районе Соловецких о-вов с зарослями зостеры и закрытыми губами. В кутовой части Онежского залива и в Двинском заливе колюшки гораздо меньше. При ее минимальном количестве в морских пробах мы наблюдали значительное число особей в литоральных лужах или солоноватых водоемах с высоким содержанием органических веществ непосредственно около моря. В Унской губе Двинского залива, очень мелководном заливе с обширными зарослями зостеры и пониженной соленостью, плотность колюшки была, как ни странно, низкой.

По нашим оценкам, 76% всей беломорской колюшки сосредоточено в Кандалакшском заливе, 17% — в Онежском, 7% — в Двинском, а общая биомасса превышает 1000 т.



Меченные колюшки. На их спинные колючки надеты кусочки изоляционного покрова электропровода.



Долговременные изменения численности трехиглой колюшки в Белом море. График построен на основе количественной интерпретации архивных и литературных данных (1880—2007), а также на результатах собственных сборов начиная с 2006 г. Светлым обозначены интервалы, для которых данные отсутствуют. Волны жизни колюшки видны отчетливо: после максимума численности в первой половине 1930-х годов наступил резкий спад обилия, и только в начале 2000-х количество рыбки стало расти, но оно не достигло величины, которая была в первой волне.

Литораль северного берега Кандалакшского залива во время малой воды, где в полную воду ловится нерестовая колюшка. Из-за сильного прибоя потомство, видимо, здесь не выживает.

В целом распределение колюшки в Белом море только отчасти объясняется условиями нереста. В районах, где они вроде бы так же благоприятны, как в и местах максимальной плотности рыбки по южному берегу Кандалакшского залива, численность ее в несколько раз ниже. Однако по северному берегу Кандалакшского залива при явно неподходящих условиях нереста (там отсутствует молодь) колюшки довольно много. Это говорит о том, что существуют другие факторы, определяющие ее численность на нерестилищах: например, распределение в период нагула и зимовки. Возможно, многочисленная молодь, родившаяся вдоль южного побережья Кандалакшского залива, уходит в центральную часть залива, а в начале лета подходит не только к южному, но и к северному берегу, безуспешно пытаясь нереститься.

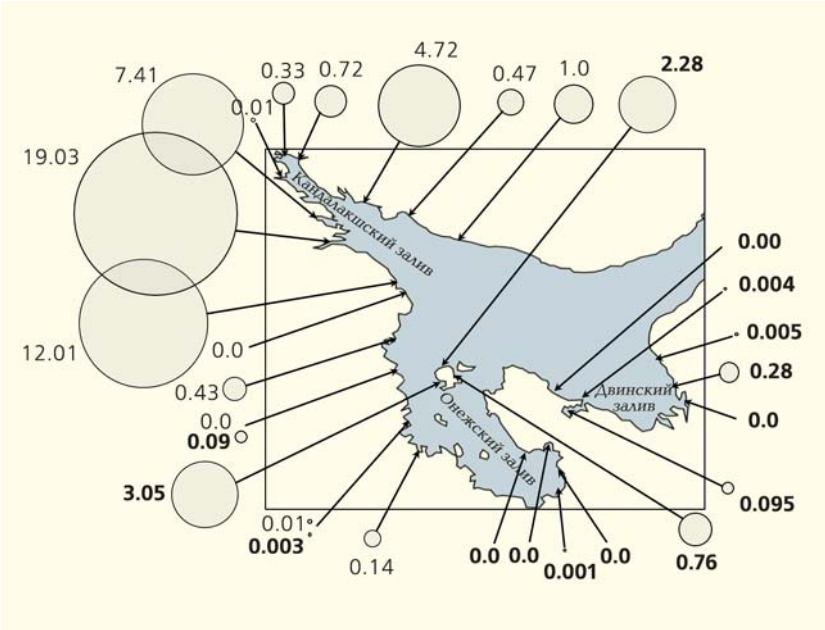
Как перевести описания в цифры

При переводе словесных описаний в цифры нужно учитывать особенности интерпретации исторических данных, в частности «синдром сдвига начала отсчета». Так, Д.Поли говорит, что численность промысловых рыб обычно определяется не по отношению к исходному состоянию популяций, а к уже измененному чрезмерным промыслом, и в результате масштаб реальных сдвигов недооценивается [8]. Наблюдая какое-то явление достаточно долго, человек склонен воспринимать его как норму и соотносить с ней все изменения. В итоге, одно и то же явление представляется, в зависимости от обстоятельств, разным субъектам неодинаковым. Например, нулевая температура воздуха весной, после зимнего холода, воспринимается как «тепло», а осенью, на фоне летнего тепла, — как «холодно». В связи с этим метеорологи даже ввели специальные поня-

тия «–0» и «+0». Сходным образом одно и то же количество рыбы в период снижения численности можно оценить как «мало», а после фазы низкой численности — как «много». Это, естественно, усиливает субъективность. То же может относиться и к разным точкам в пространстве: «много» колюшки в богатом на эту рыбку Кандалакшском заливе — куда больше, чем «много» в бедном Двинском.

В тех случаях, когда авторы приводят результаты промысла колюшки, следует иметь в виду, что его задача — не количественная оценка ее численности, а максимальная добыча. Очевидно, рыбаки искали не типичные, а максимальные концентрации колюшки и ловили в узких губах, где невод тянется вдоль берега, охватывая таким образом максимальную акваторию за один замет. Значит, для пересчета промысловых данных в стандартные необходима специальная поправка — коэффициент. Чтобы определить его, мы имитировали промысел колюшки с помощью контрольного лова, а также изучали морфологию губ Белого моря, где могли ее ловить промысловики. Коэффициент вычисляли путем сопоставления плотностей колюшки, известных нам из полевых исследований в разных регионах моря. Например, для Двинского залива и района Соловецких о-вов такие поправки были равны 5 и 3 соответственно.

Существование промысла колюшки говорит, что ее численность находится не ниже определенного уровня. Мы считали, что этот уровень соответствует описанию В.И.Доброхотова и М.А.Правдиной (1936): «Здесь без всякого труда небольшим береговым неводом (с одной лодки и 3 рабочими) можно ежедневно в летнее время вылавливать по тонне этой рыбы», т.е. примерно 10 экз. под квадратным метром водной поверхности (10 экз./м^2). Поэтому характеристика «уловы снижаются», должна относиться к более высокой численности, чем 10 экз./м^2, которую мы оценили в 15 экз./м^2, а «нормальную» промысловую — в 30 экз./м^2.



Распределение трехиглой колюшки в Белом море в период нереста. Съемки проведены 15—22 июня 2010 г. и 13—24 июня 2011 г. неводом в прибрежной зоне шириной 30 м. Приведены средние значения из двух-трех съемок, числами обозначено количество экземпляров под квадратным метром водной поверхности. Площадь кругов пропорциональна численности. Полужирным шрифтом выделены данные 2011 г.

Полученные оценки, естественно, довольно приблизительны. Это объясняется рядом обстоятельств. Во-первых, без специального научного лова определение численности остается субъективным; во-вторых, мы не всегда знаем точное место и время наблюдений (обычно их не сообщают), а в тех случаях, когда проводится лов, он описан недостаточно полно; в-третьих, очень высока изменчивость распределения колюшки в пространстве и во времени, причем не только между разными заливами, но и внутри Кандалакшского залива. Используя собственные данные, а также количественную интерпретацию архивных и литературных, мы получили общую картину долговременных изменений обилия колюшки в Белом море.

Чем вызваны волны жизни

За последние 130 лет волны жизни трехиглой колюшки в Белом море выражены чрезвычайно сильно. Особого внимания заслуживает ситуация первой половины 1930-х годов, когда численность вида была, видимо, максимальной. Важно как можно надежнее оценить эту величину, поскольку она указывает на экологическую емкость популяции. Надо отметить, что расчеты по независимым данным разных авторов (В.Чернавина и А.Вебеля) хорошо совпадают между собой (95 и 86 экз./м^2 соответственно). Это говорит о близости этих показателей к реальности. После пика в середине 1930-х годов наблюдался мощный «отлив», длившийся более трех десятилетий, когда численность вида понизилась на два-три порядка. Затем, на протяжении примерно 35 лет колюшка обитала в Белом море, но была практически незаметна. Однако

в середине 1970-х произошел небольшой всплеск в количестве этой рыбы. Сегодня мы наблюдаем «прилив», который, однако, скорее всего, еще не достиг уровня 1930-х годов. Очевидно, «прилив» имел место и перед максимумом 1930-х — уровень численности в предыдущие годы был явно более низким (иначе не появился бы и сам пик). Но столь длительной и глубокой депрессии, как та, которая пришлась на 1960—1990-е годы, в начале века явно не наблюдалось.

Чем объясняются столь значительные колебания численности?

Во-первых, у трехиглой колюшки относительно короткий жизненный цикл и раннее половое созревание (обычно на нерестилищах в Кандалакшском заливе возраст ее — два-три года). Любой удачный или неудачный для размножения год может сильно сказаться на всей популяции. Забота о потомстве отчасти компенсирует высокую смертность на ранних стадиях развития в связи с изменяющимися условиями. Значительные изменения численности известны для проходной трехиглой колюшки и из других регионов, в частности из р.Камчатки. Там в 1976—1984 гг. ее было так много, что за 20 минут один рыбак сачком мог заполнить лодку, грузоподъемностью 1.0—1.5 т, рыбой, а ее косяки мешали движению моторных лодок [9]. Во-вторых, в Белом море колюшка обитает близко к границе своего ареала, где условия среды далеки от оптимальных. В первую очередь на численности популяции могут отражаться любые изменения климата. Трудно предложить какие-либо иные причины волн жизни, поскольку заметного антропогенного влияния на экосистему Белого моря (за исключением очень локальных воздействий около крупных городов) нет, а промысел колюшки, если и велся, то был столь незначителен, что его нельзя рассматривать как серьезный фактор.

Влияние климатических факторов может быть не только прямым, но и опосредованным — через связи разных компонентов беломорской экосистемы. В случае беломорской колюшки особое внимание необходимо уделить зостере. О том, что уменьшение количества колюшки с исчезновением этой морской травы, исследователи говорили еще в 1970—1990-х годах. Действительно, мы видим явные связи между состоянием зостеры и количеством колюшки, хотя прямая связь наблюдается не всегда. Так, обилие колюшки стало заметно снижаться раньше резкого сокращения зарослей зостеры, но популяция этой морской травы восстановилась в целом быстрее.

Существенное значение для изменений количества колюшки может иметь и конкуренция с сельдью. Оба вида питаются планктоном, оба относительно теплолюбивы. Интересно, что если в 1930-х годах при высокой численности колюшки сельди было много, то сейчас ее в Кандалакшском заливе довольно мало. Такие противофазные изменения в популяциях конкурирующих видов — вполне обычное явление, как, например, для сельди и мойвы в Баренцевом море.

Таким образом, есть все основания считать, что фактор, определяющий волны жизни беломорской колюшки, — климатические изменения. Известно, что в 1930-х годах в Арктике и Субарктике был теплый период, а 1960—1970-е годы были холодными. Соответственно менялась и численность колюшки. В настоящее время температура повышается, вновь приближаясь к уровню 1930-х годов. Значит, вероятен дальнейший рост популяции трехиглой колюшки в Белом море. Это повлечет за собой рост популяций некоторых хищных рыб и птиц. Волны жизни ключевого вида запускают преобразование всей экосистемы моря.■

Литература

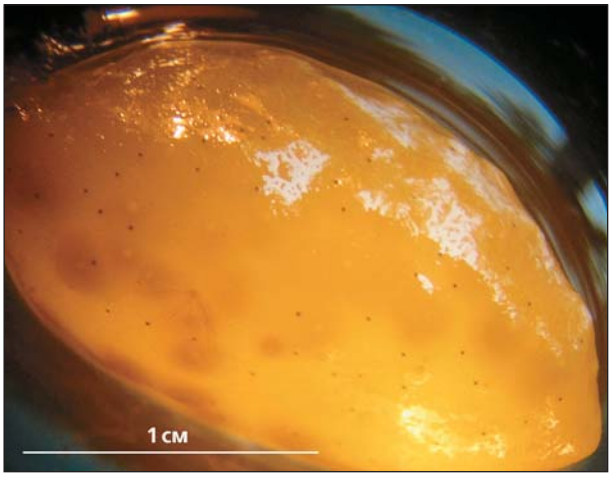
1. *Четвериков С.С.* Волны жизни: Из лепидоптерологических наблюдений за лето 1903 г. // Дневник Зоол. отд-ния Импер. об-ва любителей естествознания, антропологии и этнографии. 1905. Т.3. №6. С.106—111.
2. *Rosenberg A.A., Bolster M.J., Alexander K.E. et al.* The history of ocean resources: modeling cod biomass using historical records // Front Ecol. Environ. 2005. V.3. №2. P.84—90.
3. *Lajus D.L., Dmitrieva Z.V., Kraikovski A.V. et al.* The use of historical catch data to trace the influence of climate on fish populations: examples from the White and Barents Sea fisheries in 17th — 18th centuries // ICES Journal of Marine Sciences. 2005. V.62. №7. P.1426—1435.
4. *Зюганов В.В.* Семейство колюшковых (Gasterosteidae) мировой фауны. Л., 1991.
5. Море — наше поле. Количественные данные о рыбных промыслах Белого и Баренцева морей XVII — начала XX вв. / Ред. Ю.А.Лайус, Д.Л.Лайус. СПб, 2010.
6. *Чернавин В.В.* Записки «вредителя» // Чернавин В., Чернавин Т. Записки «вредителя». Побег из ГУЛАГа. СПб., 1999.
7. *Вебель А.* Беломорская колюшка как объект промысла // За рыбную индустрию Севера. 1934. №10.
8. *Pauly D.* Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries // Trends Ecol. Evol. 1995. V.10. P.430.
9. *Бугаев В.Ф.* Рыбы бассейна реки Камчатка (численность, промысел, проблемы). Петропавловск-Камчатский, 2007.

Симбиоз водорослей и грибов

О.П.Коновалова, Е.Н.Бубнова,
кандидаты биологических наук
Беломорская биостанция им.Н.А.Перцова
Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова

На литорали арктических морей фукусовые водоросли формируют особенную экосистему, включающую множество разных организмов. В ней, как и в наземных сообществах, важную роль играют грибы: они питаются органикой отмерших тканей и клеточных выделений, паразитируют на скопищах водорослей, а также вступают с ними в симбиоз. Так, некоторые водоросли семейства Fucus могут быть хозяевами для 12 видов морских грибов, паразитов и сапротрофов, а для видов *Ascophyllum nodosum* и *Pelvetia canaliculata* известно три паразита и один симбионт [1, 2]. Грибы, живущие в водорослях-макрофитах, образуют многоступенчатое сообщество, в котором одни виды растут только на поверхности, а другие, не вызывая повреждений и питаясь

© Коновалова О.П., Бубнова Е.Н., 2013



Типичная форма аскофиллума на нижней литорали (слева) и плодовые тела морского гриба на рецептакулах водоросли. На кустистом талломе водоросли видны гроздья органов размножения — рецептакулов.

Неприкрепленная спутанная форма аскофиллума (слева) и маршевая моховидная форма на верхней литорали.

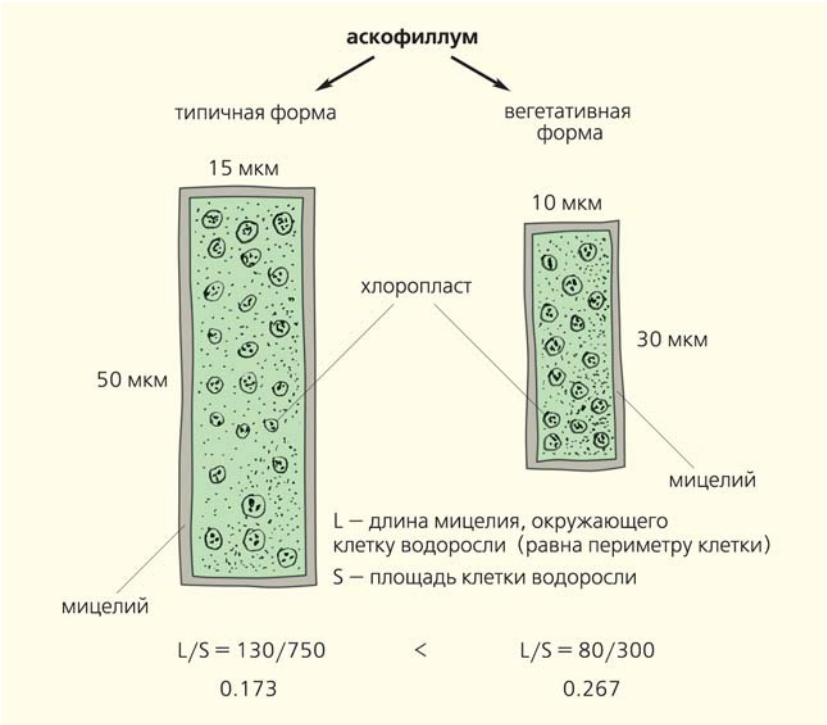
Извитой мицелий гриба на клеточной стенке типичной формы аскофиллума.

только клеточными выделениями, могут развиваться внутри талломов [3]. Интересно, что сапрофиты и симбионты сосуществуют в одной и той же водоросли. Этот факт и стал основным предметом наших исследований на Беломорской биостанции.

На самых разных участках беломорской литорали встречаются заросли бурой водоросли *A.nodosum*, получившей в народе название «свиной виноград» за грозди рецептакулов (органов полового размножения), похожих на виноградины. Давно известно, что аскофиллум живет в симбиозе с грибом *Stigmidium ascophylli* [4]. Его мицелий пронизывает весь таллом водоросли, и размножаются сожители синхронно: в рецептакулах развиваются половые продукты водоросли и плодовые тела гриба. Считается, что гриб помогает водоросли выдерживать осушение на литорали, а сам питается выделениями клеток [5]. Механизм защиты водоросли от обезвоживания пока не известен, но факт этот экспериментально доказан [6].

Интересно, что бурые водоросли из семейства фукусовых образуют специализированные экологические формы (экады), и аскофиллум не исключение. На камнях и скалах открытых участков сублиторали и в опресненных местах литорали Белого моря сформировались две такие формы: неприкрепленная **спутанная** (*A.nodosum scorpioides*) и маршевая, заякоренная илом или мидиями, **моховидная** (*A.n.muscoides*) [7], которые размножаются только вегетативно. Есть ли у них гриб-симбионт, а если есть, то как размножается? Если гриб помогает выдерживать осушение обычной форме аскофиллума, казалось бы, в вегетативных формах этого микромицета должно быть гораздо больше.

Мы постарались ответить на эти вопросы, изучая микроскопические срезы основной формы *A.nodosum* и двух экологических. Оказалось, что во всех исследованных тканях водоросли всегда присутствует мицелий [8]. Гифы гриба, идущие вдоль всех клеток водоросли с двух сторон, создают непрерывную сеть. У специализированных, экологических, форм аскофиллума клетки внутренних тканей приблизительно в два раза мельче, чем у типичной водоросли, а толщина мицелия гриба постоянна. Следовательно, на одну клетку экологических форм приходится в два раза больше мицелия, чем у типичного аскофиллума. Если учесть, что в талломах мелкие клетки



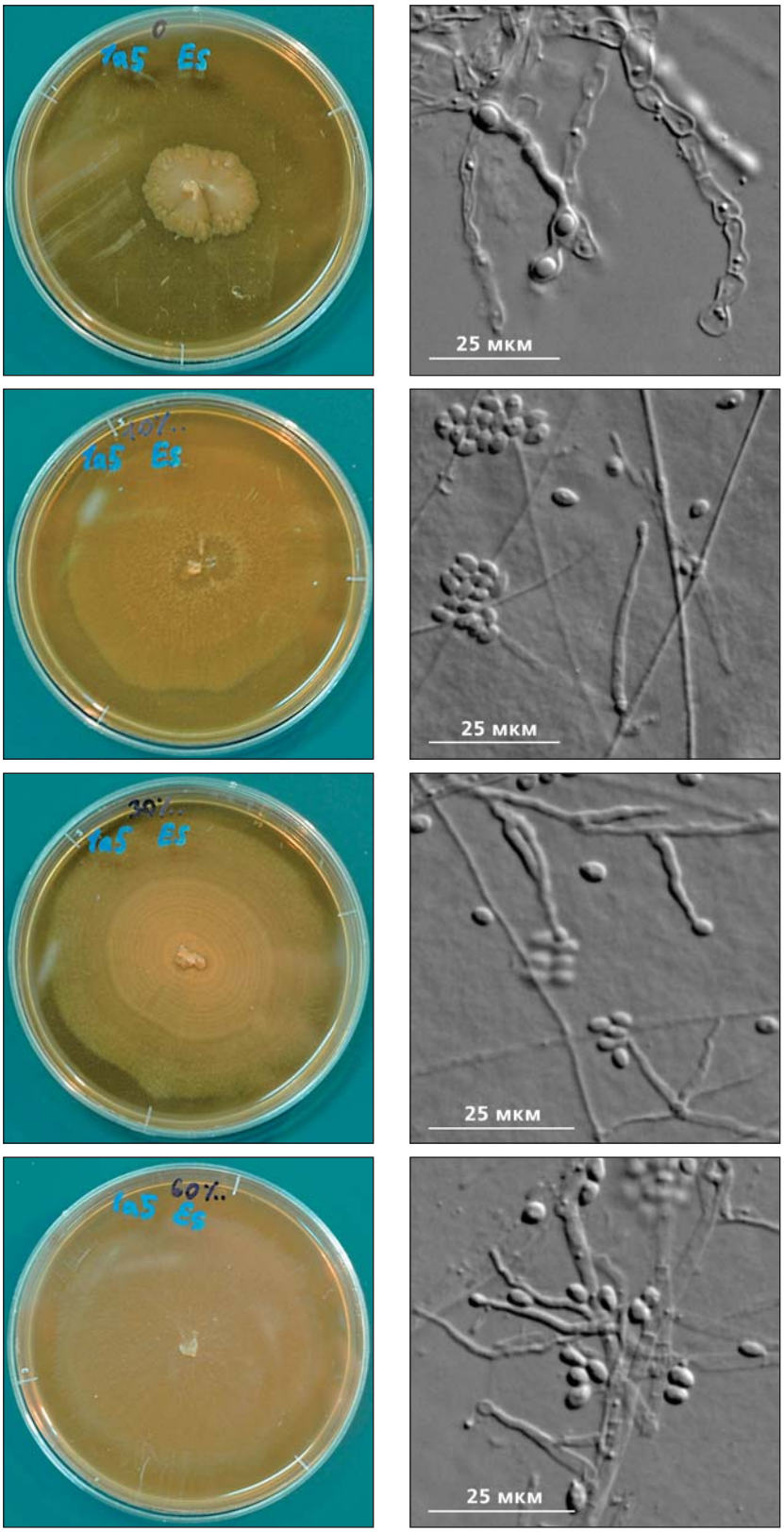
Соотношение количеств мицелия в тканях основной и вегетативных форм аскофиллума. Так как мицелий обычно окружает клетки водорослей с двух сторон, в расчетах можно учитывать площадь, а не объем клеток.

упакованы плотнее, чем обычные, количество мицелия на объем водоросли возрастает в несколько раз!

Во всех тканях изученных форм *A.nodosum* мы обнаружили извитые гифы, образующие регулярную сеть, которые, видимо, принадлежат грибу-симбионту *S.ascophylli.* Встречались также и другие типы мицелия. Это грибы-сапротрофы, они живут внутри талломов аскофиллума независимо от симбионта.

Чтобы узнать, какие виды микромицетов обитают внутри водорослей разных форм, мы провели культуральные исследования, т.е. выявляли грибы с помощью культивирования («посева» и выращивания) на естественном субстрате или на питательных средах. Только из внутренней части талломов *A.nodosum* выделили 51 вид грибов, не считая множества стерильных мицелиев, которые определить не удалось [9]. Некоторые из них не развиваются в клетках водоросли, а сохраняются в виде спор, которые попадают в талломы из окружающей среды. К таким видам относятся плесневые грибы рода *Penicillium*: они не растут при культивировании на талломах аскофиллума и под слоем воды. В отличие от них, наиболее часто выделяющиеся микромицеты из порядка гипокрейных (например, слизистые плесени *Acremonium* и *Plectosporium* и сумчатый гриб *Emericellopsis*) хорошо развиваются внутри талломов аскофиллума.

Получить культуру симбионта нам не удалось из-за его высокой приспособленности к биотрофному питанию внутри водоросли. Чтобы выяснить, одинаковый ли мицелий гриба *S.ascophylli* содержат типичный аскофиллум и его вегетативные экады (спутанная и моховидная), мы провели молекулярные исследования. Оказалось, что внутри типичной формы водоросли этот симбионт действительно обитает, причем других микромицетов очень мало. Од-



Внешний вид колоний гриба из рода *Emericellopsis*, выращенных на среде с разной соленостью (от 0 до 6% NaCl), и конидиального спороношения. Без добавления соли гриб угнетен, а с повышением солености конидиальные структуры из простых становятся ветвистыми.

нако у разных форм водоросли и даже экземпляров, произрастающих в разных географических точках, симбионтами могут быть и другие виды микромицетов. Так, внутри талломов моховидного *A.nodosum,* взятых из разных точек, мы обнаружили *Neonectria fuckeliana* и *Plectosphaerella cucumerina*. Эти же грибы мы выделили в культуру из тех же водорослей. Оба вида известны как обычные паразиты наземных растений, существующие в сумчатой стадии, а в конидиальной стадии — как почвенные сапрофиты. Видимо, типично морской гриб *S.ascophylli* — симбионт основной формы водоросли — может существовать в строго определенных условиях, на сублиторали. На супралиторали и при опреснении его замещают более приспособленные к условиям этих мест виды. Получается, что сожительство с грибом необходимо для аскофиллума, оно помогает выживать водоросли даже при гибели исходного симбионта — *S.ascophylli.*

Наземные грибы, способные вступать в ассоциации с морскими водорослями, — явление необыкновенное. Мы обнаружили его впервые. Большая экологическая пластичность, а также разнообразие связей с другими организмами позволяют многим видам гипокрейных грибов успешно расти в талломах морских водорослей. Помимо конидиальных стадий *P.cucumerina* и *N.fuckeliana* и других наземных видов близких к ним родов мы выделили из водорослей разные морские грибы. Многие из них остались неидентифицированными, так как информация об их генетических данных очень скудна, а морфология бедна признаками. Вид *Acremonium fuci*, впервые описанный из талломов *Fucus serratus*, был одним из самых часто встречающихся в талломах аскофиллума [2]. Еще мы обнаружили удивительный сумчатый гриб из рода *Emericellopsis.* Это, по всей видимости, новый для науки вид, способный расти на средах с содержанием 10% NaCl, в то время как общая соленость беломорской воды — 2%. Оба эти вида могут существовать при температуре, близкой к 0°С, что позволяет им жить в Белом море. Кроме того, мы обнаружили, что в обоих видах морфология аппарата, продуцирующего конидии (споры бесполого размножения), при повышении солености среды усложняется. Механизмы таких адаптаций нам еще предстоит выяснить, так же как и истинное разнообразие обитающих на водорослях грибов и образуемых ими ассоциаций. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 11-04-02121-а и 12-04-31719 мол_а.

Литература

1. *Kohlmeyer J., Kohlmeyer E.* Marine mycology — the higher fungi. L., 1979.
2. *Zuccaro A., Summerbell R.C., Gams W. et al.* A new *Acremonium* species associated with Fucus spp., and its affinity with a phylogenetically distinct marine *Emericellopsis* clade // Studies in Mycology. 2004. V.50. №2. P.283—297.
3. *Suryanarayanan T.S.* Fungal Endosymbionts of Seaweeds // Biology of Marine Fungi / Ed. Ch.Raghukumar. Berlin; Heidelberg, 2012. P.53—69.
4. *Webber F.C.* Observations on the structure, life history and biology of *Mycosphaerella ascophylli* // Transactions of British Mycological Society. 1967. V.50. №4. P.583—601.
5. *Garbary D.J., Gautam A.* The *Ascophyllum/Polysiphonia/Mycosphaerella* symbiosis. I. Population ecology of Mycosphaerella from Nova Scotia // Botanica Marina. 1989. V.32. P.181—186.
6. *Garbary D.J., London J.F. Ascophyllum/Polysiphonia/Mycosphaerella* symbiosis. V. Fungal infection protects *A.nodosum* from dessication // Botanica Marina. 1995. V.38. P.529—533.
7. *Максимова О.В., Мюге Н.С.* Новые для Белого моря формы фукоидов (Fucales, Phaeophyceae). Ч.1 // Бот. журн. 2007. Т.92. №7.С.965—985.
8. *Коновалова О.П., Бубнова Е.Н., Сидорова И.И.* Биология *Stigmidium ascophylli* — гриба-симбионта фукусовых водорослей в Кандалакшском заливе Белого моря // Микология и фитопатология. 2012. Т.46. Вып.5. С.316—322.
9. *Коновалова О.П., Бубнова Е.Н.* Микобиота бурых водорослей *Ascophyllum nodosum* и *Pelvetia canaliculata* (Phaeophyceae, Fucales) в Кандалакшском заливе Белого моря // Микология и Фитопатология. 2011. Т.45. Вып.3. С.240—248.