

Российская Академия Наук

КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ФОРМИРОВАНИЕ ОСНОВ СОВРЕМЕННОЙ СТРАТЕГИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ЕВРО-АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Апатиты
2005

Печатается по постановлению
Президиума Кольского научного центра Российской академии наук

УДК 001.892(470.21)
ISBN 5-88414-056-8

**Формирование основ современной стратегии природопользования
в Евро-Арктическом регионе**

– Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2005. - 511 с.

Главный редактор серии: академик РАН Владимир Калинин

Ответственный редактор выпуска:

академик РАН А.Н.Виноградов

Редколлегия:

академик РАН Г.Г.Матишов,

академик РАН Н.Н.Мельников,

академик РАН Ф.П.Митрофанов,

д.т.н. Б.В.Ефимов,

д.б.н. Н.А.Константинова,

д.т.н. В.А.Маслобоев,

д.т.н. В.А.Путилов,

д.э.н. В.С.Селин

ИССЛЕДОВАНИЯ МИДИЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

Распространение. Название “мидии” включает в себя комплекс нескольких видов двустворчатых моллюсков сходных по внешнему облику и строению. Они имеют широчайшее распространение в водах как северного так и южного полушария. Всесветному распространению мидий способствовало развитие судоходства, т.к. эти моллюски - один из компонентов обрастания подводной части кораблей.

В Баренцевом и Белом морях встречается один вид мидий - мидия съедобная (*Mytilus edulis* L.), которая является одним из наиболее распространенных донных беспозвоночных прибрежной зоны этих морей. Встречаясь почти во всех морях северного полушария, за полярным кругом *M. edulis* доходит до берегов Канадской Арктике, Гренландии и Новой Земли. Причем в большинстве самых северных поселений мидии встречаются только в сублиторали. В Тихом океане мидия обитает в Охотском и Беринговом морях. В Северном Ледовитом океане массово встречается Баренцевом и Белом морях, редко - в Карском и Чукотском морях. В Атлантическом океане мидия распространяется на юг до Южной Королины (США), встречается у Западной Гренландии и у Исландии, в Европе - от Балтийского моря до Бискайского залива. Мидия съедобная не найдена только в высокоширотных районах сибирских морей, у Земли Франца Иосифа и у Шпицбергена.

Поселения мидий на литорали Восточного Мурмана представляют одну из границ ареала; далее на восток в Чешской губе и у Новой Земли мидии спускаются в сублитораль до глубины 30 м и в значительной степени меняют свою экологию (Гурьянова, 1929).

Внешний вид. Тело мидии заключено в выпуклую и вытянутую раковину, состоящую из двух практически равных створок треугольно-овальной формы. Раковина темно-оливковая, темно-коричневая, чаще черная (рис. 1). Строение тела мидии обусловлено условиями ее обитания. После оседания личинки большую часть жизни мидия проводит неподвижно, прикрепившись к субстрату. Обтекаемая форма и прочность раковины обеспечивают мидии хорошую приспособленность к обитанию в прибрежной зоне и в водах повышенной гидродинамики. Во многом этому способствует и уникальная способность мидий быстро и надежно прикрепляться к камням, водорослям, бревнам и другим предметам, а также друг к другу, при помощи очень прочных роговых биссусных нитей.



Рис. 1. Сублиторальное поселение мидий

Недавние наблюдения за мидиями (Гудимов, Гудимов, 2004) показали, что не только молодые, но и взрослые моллюски способны открепляться от грунта и мигрировать в поисках свободного субстрата и лучших условий обитания или под воздействием неблагоприятных факторов.

Экология и количественное распределение. Мидия является прибрежным видом. Обычно встречается на литорали и верхней сублиторали глубин 20-50 м.

Мидии ведут прикрепленный образ жизни и поэтому предпочитают каменистые и скальные грунты, но, как показали наши наблюдения, могут селиться и на песчаных участках дна при наличии небольших камней или гальки, а иногда используют в качестве субстрата частицы крупного песка и/или мелких камешков, скрепляя их биссусом в плотные, тяжелые комочки-якоря. В местах, благоприятных для их обитания мидии часто образуют сплошные поселения - банки.

На Мурмане литоральные поселения *M. edulis* занимают, главным образом, горизонт от 0,6 до 2 м над нулем глубин, обитая на участках с соленостью от 33,6 до 2,9 ‰ (Гурьева, 1948; Матвеева, 1948). Мидии предпочитают обитать в местах, где имеются постоянные токи воды. Одни их первых исследователей биологии и экологии баренцево-мурманских мидий, сотрудники Мурманской биологической станции (МБС), В.В. Кузнецов и Т.А. Матвеева (1948) считали их самым обильным видом среди всех морских беспозвоночных Восточного Мурмана. По их данным, мидия образует на скальном грунте литорали протяженные поселения с биомассой до 28820 г/м² при численности 70980 экз/м². Наиболее крупные моллюски имели длину раковины около 50 мм в среднем, максимальная продолжительность их жизни оценена авторами в 12-14 лет.

Т.А.Матвеева отмечает, что плотность населения мидий на отвесных скалах губы Дальней Зеленецкой была наибольшей из всех, какие встречались в районе их работ: “Мидии на отвесных скалах (о. Немецкий) плотно образуют густые щетки, шириной до 1,5 м”, “плотно прикрепляясь биссусом к скале и друг другу” и “покрывая сплошным черным покровом отдельные участки прибрежных скал” (Матвеева, 1948: с.219). По ее наблюдениям, мидии, обитающие на плотном песке в губе Ярншной, плотно прикрепляются друг к другу биссусом, образуя подобие сетки, свободно лежащей на грунте. Естественно, что при переходе на мягкий грунт плотность мидиевых поселений уменьшается, но при этом их количество в пересчете на 1 м береговой полосы во много раз больше, чем на скальном грунте из-за увеличения площади поселений на плоском илистом дне.

Обследование сублиторальных поселений мидий Восточного Мурмана было проведено М.В. Проппом (1971) в 1959-1968 вместе с другими водолазами, сотрудниками МБС. Помимо губы Дальней Зеленецкой были обследованы районы Гавриловских островов, в губах Подпахта, Порчниха, у о. Русского и о.Харлов и в соседних губах. Обилие мидий на глубинах от 0 до 40 м было невелико, их численность не превышала 700 экз/м², а биомасса 20 г/м².

Высокая встречаемость, доступность сбора, хорошая скорость роста, простота выращивания и вкусовые качества мяса сделали мидий объектом промысла, а, затем и культивирования во многих странах, в том числе, в прибрежье морей Северной Европы и Атлантики.

В целом на Мурманском побережье популяции мидий исследованы слабо, наиболее изученной в отношении экологии литоральных мидий является губа Зеленецкая Западная. Это обусловлено попытками марикультуры мидий в этой губе (Федоров, 1987). Губа Зеленецкая Западная может рассматриваться как типичная для Мурманского побережья. Обследование состояния мидиевых поселений, проведенные ММБИ (Костылев, 1987;1989) показали, что на литорали губы поселения мидии образуют полосу шириной 0,5-3м и располагаются преимущественно на камнях и валунах. Как правило, на валунах моллюски образуют щетки, на песке с гравием - друзы. Наибольшая плотность поселений мидий 24410 экз/м² зарегистрирована в открытых частях губы на крупном песке между валунами, где сеголетки нашли хороший субстрат для прикрепления - нитчатые водоросли. Минимальная численность моллюсков - 1000 экз/м² отмечена в бухте Соленое Озеро на крупной гальке. Наибольшая биомасса мидий (5440 г/м²) обнаружена на илистом песке у входа в бухту Соленое Озеро, а наименьшая (550 г/м²) - на фукусах открытой части губы. В местах с плотным покровом водорослей, мидии прикреплялись непосредственно к основанию их слоевищ.

Средняя плотность литоральных поселений составила 8187 экз/м², а средняя биомасса - 2468 г/м² (Костылев, 1989). Причем десятью годами раньше средняя биомасса мидий в скоплениях (на банках) достигала более 9 кг/м² (Федоров, 1987). Следует отметить, что 63,4 % по численности составляли сеголетки, моллюски с длиной раковины не превышающей 10 мм. Половозрелые мидии имели длину 17-33 мм.

Малые размеры мидий делают литоральные поселения малопривлекательными для промысла, в отличие от сублиторальных банок с крупными и быстрорастущими моллюсками.

Крупнейшее сублиторальное поселение мидий было обследовано и околтурено в 1987 году экспедицией ММБИ на НИС “Дальние Зеленцы”. Оно находится в краевой части Воронки Белого моря. Околтуренные поселения занимали глубины около 50 м, были вытянуты вдоль изобат и занимали площадь около 196 км² (Денисенко и др., 1988). Вследствие неоднородности уловов и расчлененности рельефа расчетная средняя биомасса в скоплениях изменялась значительно - от 20 до 500 г/м², достигая местами 2000 г/м². Возможно, что фактические биомассы в данном месте на порядок выше, т.к. расчет плотности поселений был произведен только по величине уловов легкой драги. На ракушечных грунтах с примесью крупного песка и гальки помимо мидий встречались в заметных количествах моллюски *Hiatella arctica* и *Modiolus modiolus*, “морские желуди” *Balanus crenatus*, гидроида.

Четвертую часть всех мидий данной популяции составляли крупные мидии с возрастом свыше 20 лет, причем на долю особей с длинной раковины свыше 60 мм приходилось около 73 % биомассы. Запас мидий в околтуренных поселениях был оценен предварительно в 60 тыс. т. Для трех наиболее крупных скоплений мидий данного района рекомендован промысловый промысел.

Расчет среднемноголетних ресурсов литоральных мидий, населяющих берега Западного и Восточного Мурмана показал, что величина их запаса составляет около 200 тыс. тонн, при средней биомассе моллюсков 2150 г/м² (Костылев, Денисенко, 1989).

Оценивая перспективы промысла, следует принять во внимание негативный тренд изменения биомассы прибрежных мидий, обусловленный климатическими изменениями. По одним данным, средняя биомасса мидий в губах Западного Мурмана уменьшилась за 20 лет в 20 раз, по другим, общая биомасса мидий в губах Мурмана уменьшилась за это время почти на два порядка (Романова и др., 1982).

Относительная среднесуточная деградация мидиевых поселений значительна и в целом ситуация мало изменилась за последнее время, несмотря на то, что на некоторых литоральных банках биомасса мидий несколько увеличилась.

В результате, вывод о невозможности/нерациональности промысла “дикой” мидии в настоящее время в прибрежной зоне Мурмана (Антипова и др., 1984) остается вполне обоснованным, соответствующим современной ситуации. В этих условиях возрастает актуальность развития марикультуры мидий на Мурмане, тем более, что в соседней Норвегии, по географическому положению близкой к Мурманской области, она уже прошла испытания и давно стала обычным делом.

Аквакультура. В морях Европейского Севера России до последнего времени достаточно успешно осуществлялось выращивание мидий только на Белом море. Экспериментально-промышленная плантация Зоологического института позволяла получать до 300 т мидий (с весом раковин) или 30 т сырого мяса/га при 4-летнем цикле выращивания моллюсков (Кулаковский, Кунин, 1983). Мобильная технология культивирования мидий на Белом море давала возможность значительно ослаблять воздействие на организмы отрицательных факторов внешней среды при максимальном использовании факторов, благоприятствующих развитию мидий.

Первый опыт марикультуры мидий на Западном Мурмане (Федоров, 1987) показал рентабельность мидиевых ферм даже в условиях Заполярья, когда товарного размера моллюски достигали за трехлетний период. За 10 месяцев подращивания собирали по 10-12 кг мяса с 1 м² площади, что при пересчете составляло 120 т с одного гектара плантации в год. Опыт экспериментального выращивания мидий на Восточном Мурмане был также успешен (Костылев, 1989).

Однако, несмотря на полученные данные о запасах мидии и предпринятые успешные попытки ее культивирования, промысел и марикультура мидий на Мурмане не получили до настоящего времени заметного развития. Несомненно, одной из причин этого положения является недостаточная исследованность биологии и экологии мидий Баренцева моря и отсутствие полноценного научного обоснования их промысла и аквакультуры в Заполярье. Результаты исследований мидий Мурмана представлены в крайне немногочисленных работах (см., например, обзор в: Гудимов, 1998).

В отношении мидиевой марикультуры на Баренцевом море в современных условиях сложилось мнение о ее рискованности. Одной из основных причин такой достаточно объективной оценки является то обстоятельство, что в силу экстремальности природных условий Севера естественные популяции баренцевоморских мидий находятся в сильной зависимости от основных факторов среды (температуры, солености, концентрации пищи), влияющих как на скорость роста и выживаемость моллюсков, так и на величину пополнения их поселений.

Факторы роста и риска. Исследованиями ММБИ установлено, что пополнение молодью литоральных популяций мидии крайне нестабильно при сильной зависимости от абиотических факторов среды (Агарова, 1979). Одним из факторов, влияющих на выживание молоди является суммарная продолжительность осушения в период осадения личинок.

В условиях подвешной марикультуры данный фактор отсутствует, осаждение молоди на вывешенные в толще воды коллекторы создает максимально благоприятные условия для ее роста.

Рост осевшей молоди интенсивен, но в прибрежных водах он имеет ярко выраженный сезонный характер, что отражается на структуре раковины - зимой, когда рост мидий практически останавливается, на ее поверхности возникает утолщенная складка (кольцо роста) (Агарова, 1979). Подсчет таких колец используется для определения возраста моллюска.

Изучение роста мидий на Мурмане сотрудниками ММБИ позволили получить достоверные уравнения зависимости их длины от возраста. Уравнения роста (уравнения Бергаланфи или Гомперца) позволяют установить когда (в каком возрасте) мидии достигнут определенного размера.

Для сублиторальных мидий Воронки Белого моря это уравнение (Денисенко и др., 1988) имело вид:

$$L = 76,4 (1 - e^{-0,171 \cdot T}),$$

Кривая роста мидий среднего горизонта литорали губы Зеленец-кая Западная (Костылев, 1989) также описана уравнением Бергаланфи:

$$L = 69 (1 - e^{-0,175 \cdot T})$$

где, e - основание натурального логарифма,

T - возраст, годы, L - длина раковины в возрасте T , мм

Известно, что скорость роста животного в первые годы жизни во многом определяет темп его дальнейшего роста (Садыхова, 1983). Следовательно, сопоставление интенсивности роста мидий в течение первых 1-2 лет жизни, находящихся в сходных условиях (подвешной марикультуры) в разных частях ареала может наглядно свидетельствовать о потенциальных ростовых возможностях вида в конкретном месте.

Сравнение средних приростов баренцевоморских мидий и мидий других морей России, находящихся в аквакультуре, показало (Гудимов, 1998), что у мурманских мидий скорость линейного роста соответствует минимальным приростам мидий Черного и Японского морей и средним приростам мидий Охотского и Белого морей.

Относительно высокая скорость роста мидий высоких широт свидетельствует о том, что рост моллюсков зависит не только от совокупного влияния физических факторов.

Сравнительное исследование (Гудимов, Костылев, 1988; Гудимов, 1998) роста мидий, обитающих в придонном слое верхней сублиторали и помещенных в подвесные садки на акватории губы Дальняя Зеленецкая выявило значимость трофического фактора для роста баренцевоморских мидий. В садках молодые моллюски росли в 2-3 раза быстрее, чем одноразмерные мидии на дне, так как условия питания у поверхности были лучше.

В благоприятных трофических условиях скорость роста баренцевоморских мидий может быть достаточно высока даже в условиях низких температур (1.5 - 3 °C). В условиях подвесной культуры скорость роста молодых мидий (20-30 мм длиной) в прибрежных водах Кольского залива в апреле-мае 1996 г. составляла около 0.5 мм/мес (Гудимов, 1998). Данный период приходился на время интенсивного цветения фитопланктона в Кольском заливе. Однако, линейные промеры моллюсков в течение месяца с интервалом в 14 дней, показали, что мидии росли только первые 2 недели. В последующие 2 недели из-за сильного опреснения (до 9 ‰) поверхностного слоя воды, в котором находились садки с моллюсками, произошла остановка роста. Мидии держали створки почти полностью закрытыми и, фактически, не питались.

Таким образом, в благоприятных трофических условиях скорость роста баренцевоморских мидий может быть достаточно высока, она слабо зависит (или не зависит) от температуры воды в весенне-летний сезон. В период интенсивной вегетации фитопланктона на Мурмане рост мидий определяется соленостью воды, значительное снижение которой способно вызвать прекращение питания и остановку роста. Внутрисезонно, в условиях вегетации и относительно стабильной солености, скорость роста определяется, прежде всего, температурой воды и доступностью пищи.

Соответственно, использование полученных знаний в аквакультуре позволит правильно решать важные практические задачи: выбор места и технологии (тактики) культивирования мидий для получения наибольшего урожая на Мурмане.

Пища - главный фактор роста. Мидии - моллюски-сестонофаги. Это значит, что они в огромном количестве потребляют взвешенные в воде органические частицы, среди которых наиболее значимым для их питания являются микроводоросли, т.е. фитопланктон.

Период благоприятный для роста мидий Восточного Мурмана непродолжителен и обычно длится около полугода, с марта-апреля по сентябрь. В это время наблюдается цветение фитопланктона, концентрация которого, однако, редко превосходит 300 млн. кл/м³ (Возная, Рыжов, 1979; Ларионов, 1997).

Очевидно, что только в течение этого продуктивного сезона поступление энергии с пищей может быть достаточно для интенсивного роста и размножения мидий. Следовательно, годовой рост моллюсков обусловлен исключительно обилием фитопланктона в весенне-летний период (апрель-июль), в то время как в более теплый летне-осенний период (август-сентябрь) скорость роста неуклонно уменьшается вслед за уменьшением концентрации фитопланктона в воде.

Анализ состояния фитопланктона в губе Дальняя Зеленецкая показал, что, начиная с конца сентября концентрация фитопланктона уменьшается значительно - до нескольких сотен клеток на литр. В течение 6-7 месяцев, приходящихся на период длительной и холодной зимы, большую часть рациона мидий составляет детрит, фитопланктон представлен единичными клетками. В это время утилизируются запасенные энергетические резервы организма, наблюдается резорбция гонад, происходит сильное замедление и остановка роста.

До настоящего времени основным фактором, лимитирующим рост моллюсков в осенне-зимний период, считалась температура воды. Поэтому доказательство главенствующей роли трофического фактора для роста баренцевоморских мидий потребовало дополнительных, более детальных исследований.

Сезонное падение температуры и концентрации фитопланктона во многом совпадают. Поэтому, для того, чтоб достоверно вычленил роль трофического фактора в росте мидий на Мурмане, необходимо было отделить влияние фактора "температура" от влияния фактора "концентрация пищи" (сестон, фитопланктон). Это позволило бы выяснить, в какой мере рост мидий определяется температурой, а в какой - условиями питания.

Выполнить эту задачу удалось на основании проведенных физиологических исследований и других экспериментов, проведенных на биостанции ММБИ КНЦ РАН в п. Дальние Зеленцы.

Экофизиология. Изучение физиологии организма позволяет получить представление об основных функциональных процессах его жизнедеятельности: питании, дыхании, секреции, экскреции и др. Эколого - физиологические исследования (экофизиология) соотносят функции организма с условиями среды; они позволяют установить степень зависимости основных жизненных процессов организма от изменений факторов среды, получить данные о диапазоне пищевых потребностей животного, определить оптимальные условия жизни и роста организма и оценить его толерантность к антропогенным воздействиям.

Интенсивность обмена. Известно, что скорость роста и продолжительность жизни животных определяются скоростью их обменных процессов (Hopkins, 1930; Садыхова, 1983).

Интенсивности обмена (метаболизма) у мидий исследовали по скорости потребления ими кислорода (СПК). Питаясь в природных условиях при какой-либо концентрации пищи мидии имеют обычный (рутинный) уровень обменных процессов. При голодании этот уровень понижается и называется стандартным.

Поскольку скорость метаболизма зависит как от температуры, так и от концентрации пищи, то в условиях низких температур и нехватки пищи интенсивность обмена веществ и, соответственно, активность организма минимальны.

По результатам измерений СПК, выполненных в условиях максимально приближенных к природным, были получены уравнения зависимости скорости обычного (рутинного) обмена (R) от сухого веса тела (W) мидий для разных сезонов года (Гудимов, 1989), и приведены к единому степенному коэффициенту:

$$R = 0.186 W^{0.702} \text{ - в июле, температура } 7^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$R = 0.081 W^{0.702} \text{ - в ноябре, температура } 4^\circ\text{C} \quad (2)$$

Важно было установить, определяется ли разница между этими уравнениями температурой или концентрацией пищи?

Для вычленения эффекта влияния температуры на скорость обменных процессов и сопоставления полученных уравнений с уравнениями, в условиях других морей, были произведены необходимые преобразования уравнений (1) и (2). В сопоставлении были использованы результаты по СПК мидий Северного моря (Bayne et al., 1976). Уравнения зависимости СПК от веса моллюсков были приведены к единой температуре 15°C :

$$R = 0.339 W^{0.702} \text{ - лето, рутинный, Северное море} \quad (3)$$

$$R = 0.341 W^{0.702} \text{ - лето, рутинный, Баренцево море} \quad (4)$$

$$R = 0.263 W^{0.72} \text{ - зима, стандартный, Северное море} \quad (5)$$

$$R = 0.207 W^{0.72} \text{ - зима, рутинный, Баренцево море} \quad (6)$$

Из приведенного сравнения уравнений видно, что при равных температурах метаболизм мидий Восточного Мурмана и Северного моря практически одинаков, в то время как обмен при питании (рутинный) у баренцевоморских мидий сопоставим только с обменом голодных мидий Северного моря. Это является явным доказательством того, что в осенне-зимнее время, начиная с октября-ноября, метаболизм, а значит, активность и рост мидий Мурмана в наибольшей мере определяются трофическими, а не температурными условиями. Определяющая роль условий питания в аквакультуре мидий стала, таким образом, очевидной.

Как же определить являются ли условия питания на данной акватории подходящими для успешного роста мидий?

Прямые измерения количества фитопланктона в воде не всегда являются достаточно надежным показателем, ведь мидии питаются и другими компонентами взвеси (детрит и бактерии, мелкий зоопланктон). Кроме того, помехой нормальному питанию мидий может быть повышенная концентрация взвешенных в воде веществ, особенно, неорганических; пониженная соленость, загрязнение и другие факторы. Как узнать получают ли мидии достаточно пищи в данное время?

Оценка условий питания мидий по динамике СПК. Степень накормленности мидий, определяемая условиями их питания, может быть оценена непосредственно по динамике потребления ими кислорода, регистрируемой после прекращения кормления моллюсков. Дело в том, что в определенных условиях динамика СПК накормленных (“сытых”) и относительно более голодных мидий различна и зависит от количества пищи, поступившей на переваривание (Гудимов, 1990; 1994; 1998). СПК “голодных” моллюсков, потребивших небольшое количество сестона стремительно убывает во времени, в то время как СПК более “сытых” изменяется нелинейно.

Результаты исследования динамики СПК, в частности, показали, что мидии крупнее 30 мм, обитающие в литоральной и верхнесублиторальной зоне губы Дальняя Зеленецкая могли оставаться полуголодными даже в наиболее продуктивный период года. Осень и зимой, все моллюски независимо от возраста и продолжительности их питания, демонстрировали динамику ПК свойственную “голодным” мидиям.

Экотехнология и аквакультура. Принципиально новым подходом к аквакультуре мидий может стать ее применение в экологической инженерии (экотехнологии). Важно подчеркнуть, что центральной проблемой экотехнологии является рециркуляция (повторное использование) вещества и энергии, как стратегия гармонизации общества и природы. Применение экологической инженерии означает освоение и развитие технологий очистки и обработки отходов человеческой деятельности на основе использования естественных природных процессов с целью извлечения и использования тепла, энергии и питательных веществ (биогенов), содержащихся отходах.

При использовании традиционных технологий, например, обработки стоков лишь небольшое количество биогенов удастся извлечь и использовать повторно, большая же часть их безвозвратно теряется, поступает в водоемы, загрязняя их и вызывая эвтрофикацию. (Так происходит, например, сейчас с Кольским заливом). Если создать условия для полной рециркуляции этих биогенов, тогда будет возможно не только значительно уменьшить загрязнение, но и получать одновременно определенные выгоды от их использования.

Экологическая инженерия широко использует аквакультуру разных видов растений и животных, ведь обе эти технологии основаны на одинаковом принципе использования природных процессов циркуляции вещества и энергии для извлечения пользы в виде получаемой биопродукции и/или чистой воды. Как и в экологической инженерии, технология культивирования водных организмов включает

определенные операции по использованию и изменению природных жизненных циклов рыб, моллюсков, ракообразных и водных растений.

Однако, в отличие от аквакультуры, основой экологической инженерии является экология, в то время как аквакультура руководствуется в первую очередь производственными возможностями отдельных видов для извлечения непосредственной коммерческой выгоды.

Целью экологической инженерии в отношении использования и обработки стоков является “не только одна часть экосистемы, но, также целое, и не только непосредственные потребности, но долговременная польза” (Mitsch, 1998).

Успехи аквакультуры на сточных водах связаны, главным образом, с продуцированием водных растений, таких как, водный гиацинт (*Eichhornia crassipes*) или ряска (*Lemna sp.*), и разведением таких широко распространенных видов рыб как, обычный карп *Cyprinus carpio* и другие виды карпов, тилапия *Tilapia nilotica*, а также некоторых местных видов рыб, креветок и моллюсков в условиях теплого климата при почти круглогодичной вегетации.

Использование сточных вод для аквакультуры имеет давние традиции в Азии, особенно в Китае, и связано, главным образом, с пресными водами. В то же время половина мирового урожая традиционной аквакультуры производится в прибрежье, зоне наибольшей продуктивности моря и, одновременно, зоне наибольшего антропогенного воздействия.

Развитие прибрежной аквакультуры в странах с холодным климатом имеет особое значение, поскольку прудовая аквакультура, как и агрикультура, в условиях продолжительной зимы выглядит проблематичной и ограничена коротким периодом летней вегетации. Как показал опыт мидиевых марихозайств на Белом море (Кунин, Кулаковский, 1979; Кулаковский, Кунин, 1983), даже замерзающие акватории не являются для их функционирования непреодолимым препятствием, хоть и требуют дополнительных затрат.

Таким образом, возможности, которые предоставляет незамерзающая акватория Мурманского побережья для мариккультуры, поистине уникальны.

Проблема в том, что экотехнология использования морских открытых экосистемах находится на начальном этапе своего развития, что объясняется ее большей сложностью по сравнению с использованием пресных замкнутых и полужамкнутых водоемов.

В отношении применения экологической инженерии на Мурмане важно ответить на следующие вопросы:

Можно ли распространить опыт экотехнологии на северные регионы, превратив отходы в доходы? Каковы возможности и ограничения использования мидий в экотехнологических проектах?

Для того, чтоб ответить на эти вопросы и оценить возможность применения аквакультуры мидий прибрежной зоны Баренцева или Белого морей в экологической инженерии необходимо провести соответствующий комплекс фундаментальных исследований функционального потенциала данного вида.

Мидии как природный биофильтр и биоиндикатор загрязнения

Технологически привлекательность мидий для аквакультуры и экотехнологии определяется не столько темпами их роста, сколько их способностью самостоятельно и полностью обеспечивать себя пищей “не сходя с места”. Фактически, любые органические частицы становятся пищей для мидий, хотя излюбленным кормом является фитопланктон. Важно, чтобы эти частицы были достаточно малы, тогда они могут быть проглочены мидиями: крупные частицы взвеси не поступают на пищеварение.

Мидии отличаются высоко-производительной и эффективной фильтрацией окружающей воды, один взрослый моллюск профильтровывает от 2 до 5 литров воды в час. За сутки мидии профильтровывают с эффективностью 95-98 % десятки тонн воды на каждый квадратный метр своих естественных поселений, аккумулируя огромное количество sestona, содержащего как неорганические так и органические частицы вместе с адсорбированными или растворенными в воде загрязняющими веществами.

Моллюски отфильтровывают все взвешенные частицы, самые мелкие (не крупнее 2-4 микрон) проглатываются, остальные - осаждаются на дно. Поэтому вокруг мидиевых поселений вода особенно чистая. Создается впечатление, что мидии получают пищу буквально из ничего (ведь потребляемые частицы визуально не заметны).

Мощность биофильтрации столь высока, что за год поселения моллюсков способны профильтровать (и очистить !) несколько раз объем воды целых заливов (Reeders, De Vaate, Slim, 1989). Они образуют, таким образом, естественный мощный *биофильтр*, не имеющий себе равных по производительности, качеству очистки и экономичности, оставляющий, по этим и другим показателям, далеко позади любые очистные сооружения.

Прижизненные выделения моллюсков (фекалии, псевдофекалии, метаболиты) не только включаются в детритную пищевую цепь, но и оказывают существенное влияние на формирование первичной продукции. Экскретируемые моллюсками метаболиты - растворенные органические вещества (POB), - обладают ясно выраженной биологической активностью по отношению к продуцентам органического вещества. Установлено, что в районах культивирования мидий и над их естественными поселениями численность клеток бактериопланктона была в 4-6 раз выше, а фитопланктона - в 10-30 раз выше, чем в контрольных точках (Галкина, 1985). Рост ламинарии, при ее совместном культивировании с мидией, был в 2 раза выше контрольного (Макаров, 1987), что, очевидно, также обусловлено влиянием метаболитов мидий.

Мидии обладают высокой устойчивостью к различным видам загрязнения, несмотря на их низкую способность к поддержанию постоянства внутренней концентрации веществ и, как следствие, накоплению загрязнения в организме (Maugé, 1985). Благодаря значительной аккумуляции загрязняющих веществ в организме при относительно низкой их концентрации в морской воде, двустворчатые моллюски часто используются в качестве биоиндикаторов загрязненности морской воды тяжелыми металлами, нефтяными углеводородами, пестицидами (Goldberg, 1986; Lakshmanan, Nambisan, 1989).

Таким образом, с одной стороны, мидии способны профильтровать огромные массы воды, извлекая из нее вместе с пищей и частицами взвеси вредные вещества и аккумулируя их в своих выделениях (фекалиях, псевдофекалиях и растворенных метаболитах), а также, отчасти, в своих тканях, очищая и кондиционируя среду обитания. С другой стороны, трансформируя органическое вещество и переводя загрязнение в малотоксичные связанные формы, мидии препятствуют эвтрофикации и распространению загрязнения, контролируют численность фитопланктона, поглощающего биогены и загрязняющие вещества. Они - основа самоочищения прибрежных сообществ.

Выносимость мидий по отношению к различного рода загрязнению и их высокие фильтрационные способности позволяют ставить вопрос об экотехнологии их использовании в комплексной очистке прибрежных вод (Gudimov, 1996).

На Мурмане мидии голодают более полугодом из-за нехватки пищи. В данных условиях дополнительное поступление в прибрежные воды биогенов и органических веществ способно улучшить условия питания мидий, изменить интенсивность их роста. Известно, что бытовые сточные воды, как нестойкие загрязнители, несущие энергию (органическое вещество) и/или питательные вещества (фосфаты, карбонаты, нитраты), повышают продуктивность экосистемы, если поступают в умеренном количестве (Одум, 1975).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности введения на Мурмане мидиевой аквакультуры на сточных водах. Незамерзающее море предоставляет для этого практически уникальные возможности. Конечно, и научно и инженерно-технически задача не проста, - экотехнология мидиевых плантаций, защищающих акваторию от загрязнения при одновременной рециркуляции биогенов сточных вод и получении биопродукции потребует специальной проработки многих вопросов (например, утилизации загрязненных моллюсков и водорослей).

Объективная оценка потенциала марикультуры мидий на Мурмане и ее возможностей в утилизации органического вещества стоков и биоочистки акваторий возможна только на основе фундаментальных исследованиях жизнедеятельности моллюсков, особенностей их роста и физиологии в конкретных условиях.

Литература

1. Агарова И.Я. Результаты многолетних наблюдений за популяцией *Mytilus edulis* L. на одной из литоральных отмелей Восточного Мурмана // Промысловые двустворчатые моллюски-мидии и их роль в экосистемах. Л., 1979а. С. 8-10.
2. Агарова И.Я. К вопросу о культивировании мидии *Mytilus edulis* L. в Баренцевом море // Промысловые двустворчатые моллюски-мидии и их роль в экосистемах. Л., 1979б. С. 10-11.
3. Алёмов С.В. О создании искусственных поселений мидий в целях гидробиологической очистки морских нефтесодержащих вод // Искусств. рифы для рыб. хоз-ва. Тез. докл. Всес. конф., Москва, 2-4 дек., 1987. М., 1987. С. 69-71.
4. Антипова Т.В., Герасимова О.В., Панасенко Л.Д., Сенников А.М. Количественное распределение хозяйственно-ценных беспозвоночных у побережья Мурмана // Бентос Баренцева моря. Распределение, экология и структура популяций. Апатиты, 1984. С. 113-123.
5. Возная Г.И., Рыжов В.М. Оценка продукционных возможностей губы Западной Зеленецкая (Баренцево море) в плане размещения мидиевого хозяйства // Промысловые двустворчатые моллюски-мидии и их роль в экосистемах. Л., 1979. С. 36-37.
6. Галкина В.Н. Роль массовых видов животных в круговороте органических веществ в прибрежных водах Северных морей. Автореф. канд. дисс. Л., 1985, 28 с.
7. Гудимов А.В. Измерение скорости потребления кислорода мидиями в аквариальных условиях // Трофические взаимоотношения организмов бентоса и донных рыб Баренцева моря. Апатиты. 1989. С. 96-103.
8. Гудимов А.В. Динамика потребления кислорода мидиями в ходе экспозиции // Проблемы совр. биол.: Тр. 20 конф. молод. уч. МГУ, 1989. Ч. 1. С. 118-124. М., Деп. ВИНТИ. 05.02.1990. N 641-B90.
9. Гудимов А.В. Влияние условий питания на скорость потребления кислорода мидиями. Препринт. Апатиты. 1994. 36 с.
10. Гудимов А.В. Мидия *Mytilus edulis* L. // Промысловые и перспективные для использования водоросли и беспозвоночные Баренцева и Белого морей. Апатиты. 1998. С. 529-576.
11. Гудимов А.В., Костылев В.Э. Темпы роста баренцевоморских мидий в садках и лабораторных условиях // Симпозиум по онтогенезу морских беспозвоночных: Тез. докл. III Всес. конф. мор. биол. Владивосток. 1988. С. 22-23.

12. Гудимов В.А., Гудимов А.В. Миграция взрослых мидий *Mytilus edulis* на литорали Дальнего Пляжа, (губа Дальняя Зеленецкая, Восточный Мурман) // Естественнонаучные проблемы арктического региона: Тез. докл. 5й регион. науч. студ. конф. (г. Мурманск, 20-21 апреля 2004 г.). Мурманск, 2004. С. 24-25.
13. Гурьева Т.П. Характеристика литорального населения каменистой фации в губе Дальне-Зеленецкой (Вост. Мурман) // Тр. Мурман. биол. ст., 1948. Т.1. С. 102-122.
14. Гурьянова Е.Ф. К вопросу о составе и распределении бентоса в Чешской губе // Тр. Комиссии по изуч. Севера. 1929. Вып. 43. 104 с.
15. Денисенко С.Г., Александров С.В., Костылев В.Э., Малахов
16. О.П., Опалев М.Л. Сублиторальные поселения *Mytilus edulis* в Воронке Белого моря // Сырьевые ресурсы и основы рационального использования промысловых беспозвоночных : Тез. докл. Всес. совещ. Владивосток, 1988. С. 66-67.
17. Костылев В.Э. О результатах пространственной съемки поселений *Mytilus edulis* в июле 1985 г. в губе Зеленецкая Западная Баренцева моря // Пробл. четверт. палеоэкол. и палеогр. сев. морей: Тез. докл. II Всес. конф. Мурманск, 1987. с. 61.
18. Костылев В.Э. О результатах садкового подращивания мидий в губе Дальнезеленецкой // Экология, биологическая продуктивность и проблемы марикультуры Баренцева моря : Тез. докл. II Всес. конф. Мурманск. 1988. С. 291-293
19. Костылев В.Э. Состояние мидиевых поселений в губе Зеленецкая Западная (1985) // Трофические взаимоотношения организмов бентоса
20. и донных рыб Баренцева моря. Апатиты. 1989. С. 92-95
21. Костылев В.Э., Денисенко С.Г. К оценке ресурсов мидий (*Mytilus edulis*) на литорали Мурмана // Тезю докл. IV Всес. конф. по проблемам промыслового прогнозирования (долгосрочные аспекты). Мурманск, 1989. С.109-111.
22. Кузнецов В.В., Матвеева Т.А. Материалы к биологической характеристике морских беспозвоночных Восточного Мурмана // Тр. Мурман. биол. станции. 1948. Т. 1, с.242-260.
23. Кулаковский Э.Е., Кунин Б.Л. Теоретические основы культивирования мидий в Белом море. Л., Наука. 1983. 36 с.
24. Кунин Б.Л., Кулаковский Э.Е. Особенности роста *Mytilus edulis* L. на искусственных субстратах плотов-коллекторов в Белом море // Промысловые двустворчатые моллюски-мидии и их роль в экосистемах. Л., 1979. С. 75-76.
25. Ларионов В.В. Общие закономерности пространственно-временной изменчивости фитопланктона Баренцева моря // Планктон морей Западной Арктики. Апатиты, 1997. С. 65-127
26. Макаров В.Н. Рост беломорской ламинарии сахаристой в условиях бикультуры ламинария -мидия // Промысл. Водоросли и их использ. М. 1987. С. 10-20, 159-160.
27. Матвеева Т.А. Биология *Mytilus edulis* L. Восточного Мурмана // Тр. Мурман. биол. станции. 1948. Т. 1. С. 215-241.
28. Одум Ю. Основы экологии. М., Мир. 1975. 740 с.
29. Пропп М.В. Экология прибрежных донных сообществ Мурманского побережья Баренцева моря по материалам водолазных гидробиологических работ. Л, Наука: Лен. отд., 1971. 128 с.
30. Романова Н.Н. О промысловых моллюсках Баренцева моря // Тр. ВНИРО. 1969. Т. 65. С. 436-448.
31. Романова Н.Н., Садыхова И.А., Подражанская С.Г. О количественном распределении мидий у западного побережья Мурмана // Тез. докл. II Всес. съезда океанол., Ч. 1, 1982. Севастополь. С. 148-149.
32. Садыхова Т И.А. Рост мидии Грея в заливе Петра Великого (Японское море) // Биология мидии Грея. М., 1983. С. 62-69.
33. Федоров А.Ф. Продукционные возможности мидии (*Mytilus edulis* L.) в марикультуре Мурмана. Апатиты. 1987, 104 с.
34. Bayne B.L., Thompson R.J., Widdows J. Physiology 1. // Marine mussels : their ecology and physiology. Ed. by B.L. Bayne. - Cambr. Univ. Press. - 1976. - p.121-206.
35. Goldberg E. D. The mussel watch concept // Environ. Monit. Asses. 1986. Vol. 7, N. 1. P. 91-103.
36. Gudimov A.V. Mussel aquaculture for nutrient recycling and wastewater treatment: physiological abilities and limits in cold environment // Environ. Res. Forum. 1996. Vol. 5-6. P. 123-130.
37. Hopkins H.S. Age differences and the respiration of muscle tissues of molluscs // J. Expl. Zool. 1930. Vol. 56.P. 209-238.
38. Lakshmanan P.T., Nambisan P.N.K. Bioaccumulation and depuration of some trace metals in the mussel, *Perna viridis* (Linnaeus) // Bull. Environ. Contam. and Toxicol. 1989. Vol. 43, N. 1. P. 131-138.
39. Mauri M. Les mollusques bivalves marins comme bioindicateurs pour les metaux //Symbioses. 1985. Vol. 17, N.2. P. 89-98.
40. Mitsch W.J. Ecological engineering - the 7- year itch // Ecol. Eng. 1998. Vol. 10, N. 2. P. 119-130.
41. Reeders H.H., De Vaate A. Bij., Slim F.J. The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management // Freshwater Biol. 1989, Vol. 22, N. 1. P. 133-141.