Зоологический институт Российской Академии Наук

На правах рукописи

Иванов
Михаил Валерьевич

ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВ ПРОМЫШЛЕННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ НА ЕСТЕСТВЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ БЕЛОГО МОРЯ

03.00.18. – гидробиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2006

Работа выполнена на кафедре ихтиологии и гидробиологии биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Н. В. Максимович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
В. Я. Бергер
кандидат биологических наук
О. А. Кийко

Ведущая организация: кафедра зоологии и экологии
эколого-биологического факультета
Петрозаводского государственного
университета

Защита состоится "30" мая 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 002.223.02 при Зоологическом институте РАН по адресу: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 1. факс (812) 328-29-41

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЗИН РАН

Автореферат разослан "22" апреля 2006 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат биологических наук В. Г. Сиделева

2006А
9496

Введение.

Актуальность исследования. Человек издавна выращивает водных животных и растения для своих нужд. Но только во второй половине XX века аквакультура стала экономически значима по сравнению с более традиционными для человечества способами производства продуктов питания, такими как сельское хозяйство или рыболовство. По данным FAO (The State ..., 2002) аквакультура в мире развивается бурными темпами. Рост аквакультуры опережает развитие любого другого направления по обеспечению человечества продовольственным сырьем. Судя по прогнозам специалистов этой организации, в ближайшие десятилетия нас ожидает дальнейший рост продукции аквакультуры без видимого замедления.

Массовое выращивание гидробионтов помимо экономической выгоды создает еще и целый ряд проблем, основной из которых является сложное и неоднозначное воздействие аквакультуры на окружающую среду. Неоднократно отмечалось, что быстрое и масштабное развитие аквакультуры должно вызывать и вызывает экологические проблемы (Iwama, 1991; Ervik et al., 1997; Holmer et al. 2001; Read et al., 2001). Воздействие промышленной марикультуры на естественные экосистемы может приводить к катастрофическим последствиям, вплоть до возникновения безжизненных зон на дне под хозяйствами марикультуры. Для дальнейшего устойчивого развития отрасли требуется тщательное изучение последствий промышленного культивирования гидробионтов для окружающей среды и выработка оптимальных биотехнологий, минимизирующих негативные воздействие марикультуры.

Марикультура мидий *Mytilus edulis* на Белом море начала становиться в 70-х годах XX века. Разведение гидробионтов в суровых условиях северного моря потребовало создания специфической биотехнологии. Решению этой проблемы было посвящено множество научных работ. Однако, при хорошо проработанной биотехнологии выращивания беломорских мидий, воздействию этой марикультуры на окружающую среду посвящено относительно немного работ, и в основном они относились к периоду экспериментального становления марикультуры. В дальнейшем, в нескольких акваториях Белого моря были установлены промышленные мидиевые хозяйства занимавшие десятки гектаров водной поверхности. Воздействие такого широкомасштабного выращивания мидий на окружающую среду, в частности на донные системы, требовало изучения и оценки, и этому посвящена настоящая диссертация.

Цель и задачи исследования. Цель настоящей работы – изучение механизмов возникновения пространственно-временной неоднородности бентосных сообществ в акваториях марикультуры мидий в Белом море.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- изучить режим поступления органических веществ с участков культивирования мидий и их распределение, утилизацию и накопление в донных отложениях акватории марикультуры - как основного медиатора изменений структуры донных сообществ.

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА
С.-Петербург
ОЭ 200 6 акт 380

• изучить структуру и функциональные характеристики донных сообществ, находящихся под влиянием марикультуры мидий - как биосистем, испытывающих наибольшее воздействие при промышленном выращивании мидий.

• создать модельные представления о динамике развития системы мидиевое хозяйство – бентосное сообщество – как основы для развития прогностического подхода к оценке смещений структурно-функциональных свойств экосистем в акваториях марикультуры.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые для Белого моря было комплексно исследовано долговременное воздействие промышленной марикультуры мидий на бентосные экосистемы.

Мидиевые хозяйства были оценены как источник воздействия. Различными способами была рассчитана нагрузка дополнительными органическими веществами создаваемая участками мидиевых хозяйств, очерчена зона воздействия. Показано, что существует выраженная специфика беломорских мидиевых хозяйств как производителей органической нагрузки. Она выражается в относительно небольших объемах выделяемых веществ и длительном периоде нарастания нагрузки. Продемонстрирована также локальность воздействия мидиевой марикультуры.

При изучении бентосных сообществ подвергшихся воздействию показано, что в норме на поступление дополнительных органических веществ они реагировали резким увеличением общей биомассы, почти на порядок, по сравнению с контрольными сообществами, находящимися вне воздействия мидиевых хозяйств. Рассматриваются также причины и последствия возникновения единственной заморной зоны под участком мидиевого хозяйства. Многолетний мониторинг бентосных сообществ находящихся под воздействием органической нагрузки позволил выявить основные сукцессионные процессы, происходящие в них.

Практическое значение. Результаты, полученные в данном исследовании, послужили основанием для создания практических рекомендаций (глава V диссертации) по выбору акватории культивирования и размещения на ней участков беломорских мидиевых хозяйств, а также по организации экологического мониторинга хозяйств марикультуры. Эти рекомендации применимы и для развития на Белом море марикультуры других гидробионтов.

Апробация результатов работы. Результаты диссертации и ее основные положения были представлены: на научных семинарах кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ; на научном семинаре кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ; на VII международной конференции "Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря" (Архангельск, 1998); на II международной конференции "Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера" (Петрозаводск, 1999); на "пятом (14) совещании по изучению моллюсков, посвященном памяти О.А.Скарлато" (Санкт-Петербург, 2000); на IV научном семинаре "Чтения памяти К. М. Дерюгина" (Санкт-Петербург, 2002); на III, IV и V сессиях морской биологической станции СПбГУ (Санкт-Петербург, 2002,

2003, 2004); на IX международной конференции "Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря" (Петрозаводск, 2005); на совместном семинаре Беломорской Биологической станции и лаборатории Морских исследований Зоологического института РАН.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 259 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов и списка цитированной литературы. Работа иллюстрирована 62 рисунками и 15 таблицами. Список цитированной литературы включает 212 наименований, 107 из которых на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Развитие аквакультуры, в том числе и марикультуры, в мире на данный момент идет все более возрастающими темпами. Рассматривая перспективы на будущее, следует ожидать дальнейшего увеличения темпов развития этой отрасли. Вместе с тем у развития аквакультуры есть немало проблем, и одна из важнейших, это воздействие на окружающую среду.

На данный момент большинство исследователей сходятся на том, что основное негативное воздействие марикультура оказывает на бентосные сообщества. Воздействие на пелагические сообщества менее ощутимо и редко приводит к негативным последствиям. Тем не менее, в дальнейшем следует ожидать, что при расширении площадей занятых под марикультурой, все чаще локальные изменения в пелагических сообществах вокруг отдельных хозяйств марикультуры будут сливаться и приводить к широкомасштабным эффектам. Основное воздействие на бентосные сообщества со стороны марикультуры проявляется в поступлении на дно большого количества дополнительных взвешенных органических веществ (ВОВ). Существуют две ступени нагрузки органическими веществами на бентосные системы. До тех пор пока на минерализацию органических веществ достаточно кислорода бентосные сообщества способны эффективно утилизировать эти вещества, используя их как дополнительную пищу. Это слабая органическая нагрузка. Когда поступление кислорода в донные системы не покрывает его расхода на минерализацию дополнительных органических веществ, на дне происходят изменения в физико-химических условиях, что приводит к катастрофическим последствиям для бентосных сообществ, возникает "замор". Это сильная степень органической нагрузки.

Размещение хозяйств марикультуры на акватории может приводить как к слабому, так и к сильному воздействию на бентосные системы. Как правило, воздействие марикультуры, где используются искусственные корма (например, садковое выращивание рыб), проявляется сильнее, чем воздействие марикультуры, где корм для культивируемых гидробионтов изымается из этой же акватории (например, выращивание моллюсков-фильтраторов). Основными факторами, определяющими силу воздействия марикультуры, являются: объем выращиваемых гидробионтов, биотехнология выращивания, место

расположения хозяйства (в основном характеризуется гидродинамической активностью). Специфика Белого моря, выражающаяся в его суровом термическом режиме и вертикальном расслоении водной толщи, может приводить к некоторым особенностям воздействия марикультуры на бентосные сообщества.

Воздействие марикультуры фиксируется и оценивается целым комплексом физико-химических и биологических методов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. В целом оказывается, что биологические методы имеют большую разрешающую способность, но более трудоемки и дорогостоящи. Для возможности одинакового оценивания воздействия марикультуры на среду многие страны начинают создавать единые мониторинговые схемы наблюдений, обязательные к исполнению, всеми хозяйствами марикультуры.

ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Общая характеристика. Материал собран в период с 1990 по 2001 гг. Структура материала разбивается на два блока.

Во-первых, донные пробы – материал, характеризующий бентосные сообщества и их абиотическое окружение. Эти данные позволяют нам решить вторую задачу по изучению структуры и функциональных характеристики донных сообществ, находящихся под влиянием марикультуры мидий и показать какие изменения в них происходят. Как было показано в главе I, именно комплексные исследования сообществ обладают наибольшей разрешающей способностью в оценке воздействия марикультуры. Кроме того, исследование абиотических характеристик донных осадков частично позволяет решить первую задачу по изучению режима поступления органических веществ с участков культивирования мидий и их распределения, утилизации и накопления в донных отложениях акватории марикультуры, характеризуя процессы утилизации и накопления органических веществ – производных от мидиевых хозяйств.

Во-вторых, пробы с мидиевых хозяйств – материал, характеризующий мидиевые хозяйства, как источник воздействия на окружающие системы. Знание динамики структурных и функциональных характеристик мидиевого поселения формирующегося на искусственных субстратах позволяет нам оценить поступление органических веществ от мидиевых хозяйств в окружающую среду. Применение седиментационных ловушек дает возможность очертить зону воздействия. Все это направлено на решение первой задачи нашего исследования.

Донные экосистемы. Отбор проб осуществляли в 5 акваториях Кандалакшского залива Белого моря, где располагались хозяйства по выращиванию мидий: губа Никольская, губа Осечкова, губа Кузакоцкая, пролив Оборина Салма и пролив между мысом Картеш и островом Феттах. В общей сложности за весь период наблюдений пробы отбирали на 30 станциях расположенных под мидиевыми хозяйствами и вне их, рис. 1. Съемку

проводили, как правило, один раз в год, в летний сезон. Отбор проб в отдельной акватории осуществляли единовременно в течение 1-3 дней.

Режим проботбора на каждой станции включал в себя: отбор проб макрозообентоса, отбор проб донных осадков, непосредственное измерение ряда физико-химических характеристик донных осадков и воды. Станция, выполненная в конкретном году, обладающая набором уникальных характеристик бентосного сообщества и абиотических параметров, являлась основной единицей сравнения в дальнейшей работе.

Основная масса материала по макрозообентосу была собрана в 1990 – 1998 гг., кроме того, в 2000 г был взят материал на станции D в губе Никольской. Всего было отобрано 95 проб. Проба на каждой станции представляла собой не менее трех дночерпательных пробы (дночерпатель Петерсена, 1/40 $м^2$), всего обработано и использовано в работе 285 дночерпательных проб макрозообентоса. Дночерпательные пробы промывали через сито с ячеей 0,5 мм, после чего фиксировали 4 % формалином, нейтрализованным карбонатом кальция. Организмы макрозообентоса в каждой дночерпательной пробе определяли преимущественно до вида, для каждого вида подсчитывали численность и находили суммарную биомассу.

Большинства видов макрозообентоса, обнаруженных в дночерпательных пробах, были отнесены к одной из четырех трофических группировок: сестонофаги – фильтраторы, детритофаги – безвыборочные глотатели, собирающие детритофаги, плотоядные - хищники и трупоеды.

На основании полученных данных для каждой станции были определены общие характеристики: число встреченных видов, суммарные величины их численности и биомассы; индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера для численности.

Необходимо оговориться, что наблюдения за воздействием мидиевых хозяйств на бентосные сообщества начинались, в нашем случае, всегда после установки участков хозяйства, с запаздыванием на 1-3 года. Поэтому мы не располагаем точной информацией о состоянии донных сообществ на станциях под мидиевыми хозяйствами до начала их функционирования. Для оценки нормы была использована сеть контрольных станций расположенных на различном удалении от участков мидиевого хозяйства. Все контрольные станции располагались в губе Никольской, кроме одной – OsD, находящейся в ближайшей к губе Никольская губе Осечкова. Всего за время наблюдений нами отбирался материал с 10 фоновых станций, в общей сложности 25 проб.

Для оценки доли органических веществ потребляемых макрозообентосом определяли общий рацион макрозообентоса. Рацион рассчитывался по величинам биомассы основных таксонов с помощью продукционных показателей приведенных в литературе.

Параллельно сборам бентоса проводили отбор проб донных осадков и измерение физико-химических показателей осадков. С самого начала исследований определяли содержание органических веществ в осадках

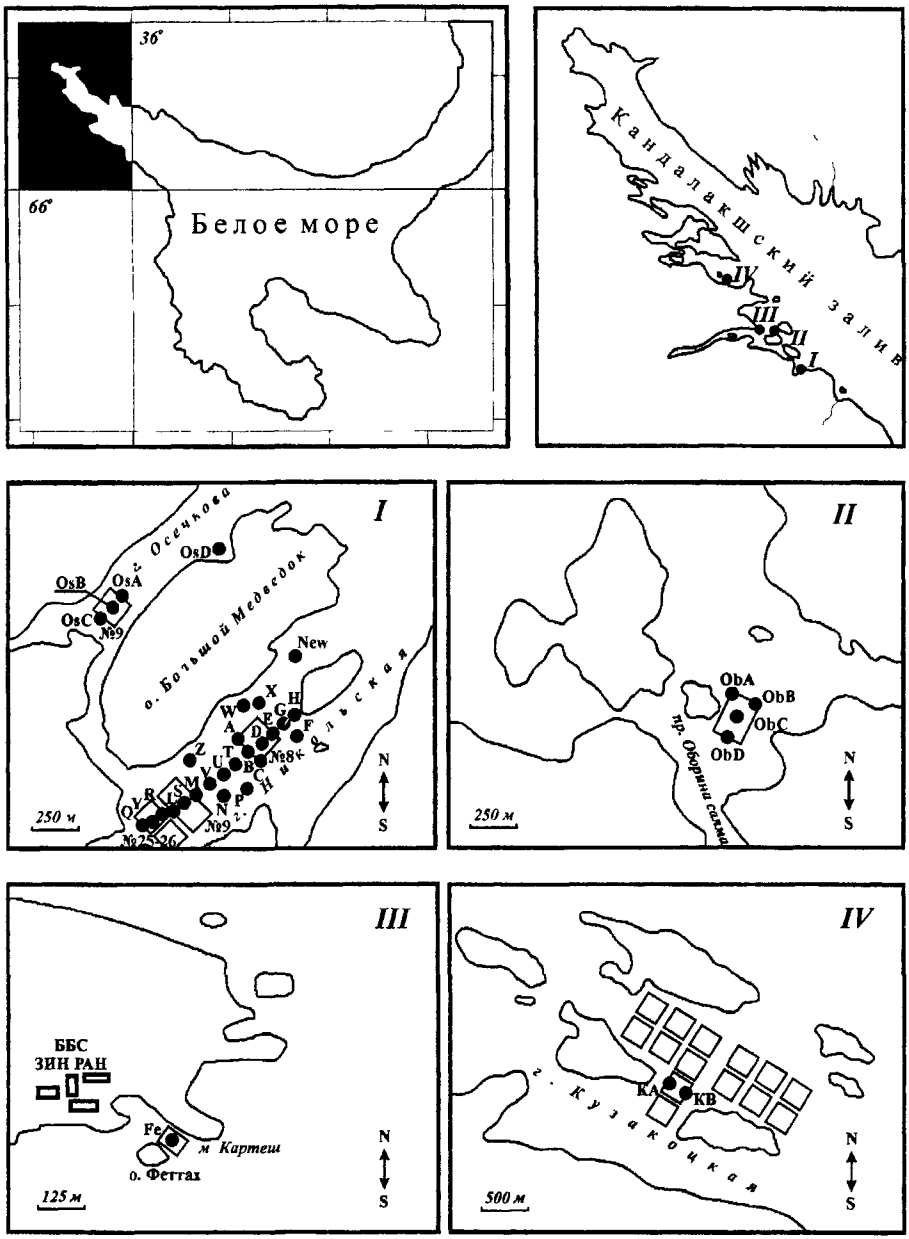

Рис. 1. Карта-схема района исследований.

Точки – места расположения бентосных станций. Прямоугольники – участки мидиевых хозяйств. № - номера участков мидиевых хозяйств.

(методом определения зольности при сжигании навески осадка в муфельной печи при 510°С в течение 10 часов), как стандартный и широко используемый показатель, позволяющий характеризовать процессы накопления органических веществ. Начиная с 1998 г. все донные пробы стали сопровождать измерением окислительно-восстановительного потенциала осадков, как одного из основных методов экспресс-оценки благополучия донных сообществ и характеристики активности окислительных процессов. Кроме того, в разные года были проведены разовые исследования таких характеристик, как гранулометрический состав осадков и биохимическое потребление кислорода осадками на станциях под мидиевыми хозяйствами и на фоновых станциях, что позволило нам дополнительно охарактеризовать процессы накопления и утилизации органических веществ. Для оценки влияния геоморфологии бентали на распределение взвешенных органических веществ поступающих от участков мидиевого хозяйства в губе Никольская провели детальную батиметрическую съемку этой акватории.

Мидиевые хозяйства. Для двух участках мидиевого хозяйства г. Никольской, №№ 9 и 10, рис. 1, осуществляли сбор материала характеризующий ежегодную динамику численности и биомассы мидий разных генераций на субстратах. В итоге мы располагали данными о среднем размере, численности и биомассе мидий отдельных возрастов на изученных участках мидиевого хозяйства за все время их существования. По той же схеме в 1998 г были дополнительно исследованы участки №№25-26 мидиевого хозяйства губы Никольской.

Для оценки количества органических веществ выделяемых участками марикультуры было применено два подхода.

1. *Расчетный метод.* При расчетном методе использовали уравнения связи экскреторной активности мидий с линейным размером и массы мидий с длиной раковины:

$F = 0.08L^{1.44}$ (Миничев, Максимович, 2000)

$W=0.0001L^{2.96}$ (Кулаковский, Сухотин, 1986).

Где F – количество экскретов, мг сухой массы/сут., L – длина раковины моллюсков, мм, W – сырая масса с мантийной жидкостью, г.

Зная средний размер и численность мидий различных возрастов на участках хозяйства (см. выше) и используя эти уравнение, мы определяли суммарную экскреторную активность мидий на исследованных участках.

2. *Седиментационные ловушки.* Для непосредственного измерения количества осаждающихся веществ под субстратами МХ в 1997-98 гг. был проведен эксперимент по их улавливанию. Нами были использованы седиментационные ловушки, которые представляли собой цилиндры внутренним диаметром 33 см (площадь сечения 0,092 $м^2$) и высотой 1 м, вместо дна у седиментационных ловушек крепили марлевую ткань для улавливания оседающих веществ,. По две ловушки вывешивались под субстратами мидиевого хозяйства, на глубине 5 м от поверхности, один раз в 1997 г и два

раза в 1998 г. Сроки экспозиции составляли от 1 до 3 суток. Массу осадка определяли как разницу между весом обезвоженной марли до и после экспозиции.

В 1998 г для количественного описания процесса осаждения взвешенных органических веществ в акватории нами была выставлена линия придонных седиментационных ловушек, аналогичных вышеописанным. Ловушки устанавливались в метре от дна, срок экспозиции 2 суток. Линия ловушек проходила от кутовой части г. Никольской, начинаясь в 125 м от участков мидиевого хозяйства №№ 9, 25, 26 расположенных единым массивом, проходила через них и протягивалась мористее участков еще на 100 м, см. рис. 2.2. Ловушки устанавливали через 25 м.

ГЛАВА III. БЕЛОМОРСКИЕ МИДИЕВЫЕ ХОЗЯЙСТВА И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА БЕНТОСНЫЕ СИСТЕМЫ.

Беломорские мидиевые хозяйства как поставщики дополнительных органических веществ. Количество органических веществ, производимых искусственными мидиевыми поселениями, и соответственно, поступающих в дальнейшем в окружающие экосистемы, как было показано (Миничев, Максимович, 2000; Кулаковский, 2000) напрямую зависит от общей биомассы мидий. Мы располагали материалами, позволяющими проследить динамику биомассы мидий на субстратах участка № 9, рис. 1, расположенного в г. Никольской, за 10 лет, начиная с 1989 года – установка участка и кончая 1999 годом – когда практически все субстраты на участке были ликвидированы.

Прирост общей биомассы мидий на субстратах в первые 4 года существования участка, рис. 2, носил фактически линейный характер (парный коэффициент корреляции Пирсона (r) более 0,95). После 4-го года экспозиции биомасса мидий на субстратах достигла величины 6 ± 0.75 кг/м погонный. В дальнейшем эта величина не имела тенденции к росту и колебалась в пределах 5.5 ± 1.2 кг/м пог.

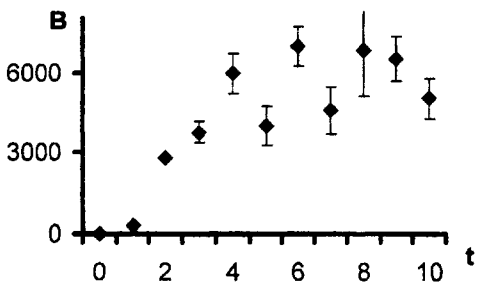

Рис. 2. Динамика суммарной биомассы мидий на субстратах мидиевого хозяйства.

По оси абсцисс – время экспозиции участка марикультуры, годы; по оси ординат – биомасса мидий, г/м пог. субстрата.

Таким образом, очевидно, что увеличение общей массы мидий на субстратах мидиевого хозяйства в условиях Белого моря происходит в первые 4 года, а потом выходит на плато. Нами показано, что даже при очень затянутых сроках экспозиции искусственных субстратов, до 10 лет, средняя биомасса мидий на них колеблется незначительно.

Количество экскретируемых отдельными мидиями органических веществ напрямую зависит от их массы, что для беломорских культивируемых мидий может быть выражено следующим соотношением, полученным из двух уравнений приведенных выше:

$$F = 7{,}064W^{0\,4865}$$

где *W* – масса, г (сырая с мантийной жидкостью); F – количество экскретов, мг сухой массы/сут.

Исходя из вышесказанного, можно ожидать, что поступление органических веществ от мидиевого хозяйства будет увеличиваться первые 4 года, а в дальнейшем стабилизируется.

Для того чтобы оценить масштабы поступления взвешенных органических веществ от отдельных участков марикультуры мы использовали два подхода.

Первый – расчет по соотношениям между массой и экскреторной активностью отдельных мидий, используя вышеприведенную формулу. Исходя из этих данных, поступление взвешенного органического вещества в акваторию с исследованных участков марикультуры составляет около 65 кг с га/сут.

Второй подход заключался в непосредственном улавливании взвешенных органических веществ, оседающих на определенную площадь под субстратами мидиевого хозяйства. Для этого использовали оригинальные седиментационные ловушки. Эксперименты проводили в 1997-98 гг. Получили следующие результаты: в среднем седиментационная ловушка за сутки улавливала 484 ± 126 мг сух. орг. в-ва. При пересчете получим, что в среднем с этих участков в акваторию поступало около 50 кг сухого органического вещества в сутки с гектара.

Распределение взвешенных органических веществ (ВОВ), созданных мидиями вокруг участков марикультуры. В летний сезон 1998 г был проведен эксперимент по улавливанию оседающих ВОВ придонными седиментационными ловушками. Кластеризация ловушек по количеству уловленного осадка, позволяет разбить их на две группы. В одну группу попадают ловушки со средней массой сухого осадка в сутки - 70±14 мг, в другую со средней массой сухого осадка в сутки - 295±40 мг. В группу с большим количеством осажденного вещества, входят ловушки расположенные непосредственно под участками мидиевой марикультуры и две ловушки, примыкающие к ним со стороны моря. В группу с малым количеством уловленных веществ вошли все «кутовые» ловушки, расположенные между берегом и участками хозяйства и две крайние ловушки со стороны моря. Таким образом, интенсивное оседание ВОВ происходит под участками и на расстоянии до 75 м в сторону моря. Здесь оседают около 70-80% ВОВ произведенных участком мидиевого хозяйства.

После оседания на дно взвешенные органические вещества подвергаются процессам деструкции и частично могут депонироваться в толще донных осадков.

Деструкция органических веществ в донных системах протекает в ходе прямого химического окисления, как правило, за счет кислорода, и в ходе потребления органических веществ организмами бентоса для поддержания своей жизнедеятельности. Из всех бентосных организмов отдельно рассматривали потребление органических веществ макрозообентосом, поскольку обладали подробными количественными данными о его структуре. Все же остальные процессы минерализации органических веществ, включая потребление их мейо- и микробентосом рассматривали под обшей «шапкой» - биохимическое окисление.

Для оценки процессов биохимического окисления применяли две методики: определение биохимического потребления кислорода донными осадками и измерение окислительно-восстановительного потенциала (Eh) осадков. Результаты потребления кислорода донными осадками за 5 суток выглядят следующим образом:

- в естественных придонных условиях (4°С) менее всего кислород был использован в бутылях с контрольной станции OsD – 0,1 мг O_2/л, в осадках со станций под марикультурой кислорода было истрачено значимо больше – 0,28 ± 0,13 мг O_2/л со станции Y и 0,59 мг O_2/л со станции D.

- в лабораторных условиях (20°С) количество использованного осадками кислорода за 5 суток составило: 1,94 ± 0,29 мг O_2/л в осадках со станции OsD, 2,24 ± 0,18 мг O_2/л в осадках со станции Y и 2,09 ± 0,13 мг O_2/л на станции D. Значимых отличий не наблюдается.

Таким образом, в реальных условиях на дне потребление кислорода осадками модифицированными мидиевой культурой оказалось значимо выше.

Значения Eh поверхности донных осадков на фоновых станциях составляет в среднем 396 ± 16 мВ, что значительно выше, чем на станциях под мидиевым хозяйством – 194 ± 14 мВ. Это свидетельство того, что в осадках под мидиевыми хозяйствами процессы биохимического потребления кислорода идут более интенсивными темпами. Тем не менее, даже на станциях под действующими участками мидиевого хозяйства значения Eh на поверхности осадков не опускаются ниже 100 мВ, что говорит о наличии достаточного количества свободного кислорода. Различий между значениями окислительно-восстановительного потенциала поверхности осадков под действующими и уже недействующими участками мидиевого хозяйства нами не наблюдалось – 192 ± 18 мВ и 198 ± 24 мВ соответственно.

Помимо окислительно-восстановительного потенциала на поверхности донных осадков мы измеряли Eh в толще отложений на глубине 40 мм. Задачей этого измерения было ответить на вопрос об интенсивности окислительных процессов и наличии свободного кислорода в толще осадка. Среднее значение окислительно-восстановительного потенциала в толще осадков на фоновых станциях по отношению к поверхности изменилось не сильно – 307 ± 28 мВ и 396 ± 16 мВ соответственно, однако на станциях под мидиевыми хозяйствами

среднее значение Eh на 40 мм составило уже 98 ± 10 мВ против 194 ± 14 мВ на поверхности. То есть, условия на глубине в несколько сантиметров от поверхности грунта, на многих станциях, расположенных под мидиевыми хозяйствами, являются переходными между окислительными и восстановительными, что говорит о практически полном отсутствии кислорода.

Таким образом, очевидно, что в толще осадка под мидиевыми хозяйствами идут процессы активного потребления кислорода, вплоть до полного его исчезновения.

В качестве общей меры содержания органических веществ в осадках нами использовалось их массовая доля в %. На фоновых станциях этот показатель составлял 4,2 ± 0,29 %, на станциях под мидиевыми хозяйствами – 6,3 ± 0,53 %. Среднее значение концентрации органических веществ на станциях под мидиевыми хозяйствами оказывается сильно занижено, за счет включения станций из губ Кузакоцкая и Осечкова. Эти губы слабее отделены от открытого моря, и характеризуются более интенсивными процессами придонной гидродинамики. Так как, все, кроме одной - OsD, фоновые станции располагались в г. Никольской, то интересно сравнить соотношение концентрации органических веществ между фоновыми и опытными станциями в этой наиболее изученной нами губе. Среднее содержание органических веществ в донных отложениях на станциях под мидиевым хозяйством в г. Никольской составляет 7,3±0,61 %, на фоновых станциях 4,4±0,28 %. Видно, что в условиях одной акватории разница по этому показателю между фоновыми станциями и станциями под мидиевым хозяйством возрастает еще более. Интересным фактом является также стабилизация повышенной концентрации органических веществ в донных осадках после снятия участка марикультуры. Наиболее ярко это проявилось на станции D, на которой за семилетний период наблюдений после снятия участка мидиевого хозяйства содержание органических веществ (10±0,2%) практически не изменилось.

Проведенный нами гранулометрический анализ показал существенную разницу гранулометрического состава осадков на станциях под мидиевыми хозяйствами и на фоновых станциях. Доля самых тонких, пелитовых фракций (< 0,005 мм) максимальна на станциях под марикультурой и существенно уменьшается на фоновых. Обратная картина наблюдается в распределении фракции мелкого песка (0,25-0,05 мм).

Сообщества макрозообентоса в акваториях культивирования мидий. Всего в бентосных пробах было обнаружено и определено 165 таксонов макрозообентоса. Основными группами по представленности оказались: Polychaeta – 84 вида и Bivalvia – 39 видов. Как правило, организмы этих классов играли доминирующую роль в биомассе на всех станциях.

Бентосные сообщества на контрольных станциях характеризуются достаточно большим количеством представленных видов, всего было отмечено 95. В среднем на станцию приходилось 28 ± 2,2, максимальное значение 38 видов, минимальное – 20 видов. Величина индекса видового разнообразия Шеннона по численности составляла, в среднем 2,6 ± 0,1 бит$^{-1}$, максимальные и минимальные значения соответственно – 3 и 1,7 бит$^{-1}$. Средняя суммарная

биомасса макрозообентоса на фоновых станциях составляла 25,4 ± 3,5 г/м^2. Доминирующими таксонами по биомассе являлись полихеты (59%) и двустворчатые моллюски (36%). По численности практически на всех станциях доминировали полихеты (83%).

Структурные показатели бентосных сообществ под мидиевой марикультурой выглядят следующим образом: всего на станциях под мидиевыми хозяйствами был обнаружен 151 вид и таксон более высокого ранга. В среднем на станцию приходилось 28 ± 1,3 вида. Максимальное отмеченное количество видов – 48, минимальное – 2 вида. Средняя суммарная биомасса макрозообентоса на этих станциях – 147 ± 22 г/м^2. Максимальная биомасса – около 1000 г/м^2, минимальная – 5 г/м^2. Индекс видового разнообразия Шеннона колебался в пределах от 0,07 до 3,2 бит$^{-1}$, в среднем составляя – 2,3 ± 0,1 бит$^{-1}$. Основными доминирующими таксонами являлись полихеты и моллюски. По численности полихеты являлись безусловными лидерами – 81%. По биомассе к полихетам приблизились моллюски – 45 % и 41 % соответственно.

Совокупность станций под мидиевыми хозяйствами гораздо более гетерогенна, чем контрольные станции. Это видно по бо̀льшим размахам варьирования показателей сообществ бентоса. Поэтому имеет смысл охарактеризовать станции под мидиевыми хозяйствами более дробно. Сюда входит группа станций с сильно обедненным видовым составом и низкими количественными характеристиками. Эти станции расположены компактным массивом под участком мидиевого хозяйства № 8, рис.1. Абиотические условия под этим участком характеризуются максимальными исследованными глубинами, более 27 м, и высоким содержанием органических веществ в осадках, 10,3±0,3 %. По более поздним исследованиям (1998-99 гг.) на станции D, расположенной под центром этого участка, наблюдали доминирующее содержание в осадках пелитовых фракций (больше 38 %) и низкие величины окислительно-восстановительного потенциала в глубине донных отложений (86±7 мВ). Летом – осенью 1991 г. на этих станциях были зафиксированы заморные условия, что внешне выражалось в отчетливом запахе сероводорода и отсутствии светлого, окисленного наилка на поверхности донных осадков. Небольшое количество видов на этих станциях – 7±1,3 и низкие суммарные биомассы, средняя – 26±6 г/м^2 занижают показатели, усредненные для всех станций под мидиевыми хозяйствами. Если не учитывать эти станции, то для остальных усредненные цифры выглядят следующим образом: количество таксонов на станцию – 31±1, индекс Шеннона по численности – 2,6±0,05 бит$^{-1}$, общая биомасса 167±25 г/м^2. Заметно, что все эти величины выросли.

Основное, что хотелось бы отметить после рассмотрения общих характеристик макрозообентоса на контрольных и опытных точках (не считая заморных), это явное увеличение общей биомассы макрозообентоса на станциях под мидиевыми хозяйствами почти на порядок – 167±25 г/м^2 против 25,4±3,5 г/м^2. При этом несколько увеличивается доля моллюсков и уменьшается полихет. Удлинение видового списка и некоторое увеличение среднего числа видов на станциях под марикультурой объясняется, по-

видимому, просто большим числом исследованных проб в большем количестве акваторий.

Логично предположить, что увеличение общей биомассы бентоса под мидиевыми хозяйствами связано с поступлением дополнительных органических веществ. Оценку количество пищи, которое потребляет бентос под мидиевыми хозяйствами, для сравнения этой величины с поступлением органических веществ от марикультуры проводили в 1998 г. Расчеты были выполнены для станций, расположенных в г. Никольской под участками марикультуры №№ 9, 25-26 (Q98, Y98, R98, L98, S98, M98 и соседних с ними контрольных станций V98 и H98), рис.1. Были выбраны именно данные участки так, как в этом же году для них были оценены количество экскретируемых веществ и площадь их разноса. Средняя величина рациона всего макрозообентоса на станциях, расположенных под МХ, составила около 2±0,7 г сух. орг. в-в / $м^2$ в сут., а на фоновых станциях, расположенных в удалении от МХ эта величина - 0,15±0,03 г сух. орг. в-в / $м^2$ в сут.

На распределение трофических группировок макрозообентоса в нашем случае основное воздействие оказывает такая комплексная характеристика как глубина. С увеличением глубины достоверно идет уменьшение доли фильтраторов, коэффициент парной корреляции Пирсона (r) -0,52 и параллельно увеличивается доля детритофагов безвыборочных и собирающих, r = 0.49 и 0,39 соответственно. Исключение составляют только "заморные" станции, где абсолютное доминирование безвыборочных детритофагов несомненное следствие изменения физико-химических условий на дне и в придонном слое воды, связанное с деятельностью участка мидиевой марикультуры.

Многолетняя сукцессия бентосных сообществ как отклик на воздействие мидиевой марикультуры. Наши наблюдения включают ряд станций под участками мидиевого хозяйства в г. Никольской и г. Осечкова, на которых осуществлялись последовательные многолетние наблюдения за динамикой структурных характеристик сообществ макрозообентоса. Это точки:

- S, L, M в г. Никольской расположенные под участком мидиевого хозяйства № 9 установленным в 1989 г, рис. 1. Продолжительность наших наблюдений за бентосными сообществами под этим участком составляет 6 лет, с 1993 по 1998 гг. За период наблюдений, состояние участка можно охарактеризовать как хорошее. Все 14 линий участка сохранили параметры первоначальной установки. Заселенность субстратов мидиями всегда была выше 90 %. Общая биомасса мидий на субстратах этого участка за время наблюдения оставалась практически неизменной.

- OsA, OsB, OsC в г. Осечкова расположенные под участком мидиевого хозяйства № 10 установленным в 1989 г, рис. 1. Продолжительность наших наблюдений за бентосными сообществами под этим участком составляет 5 лет, с 1993 по 1997 гг. За период наблюдений в состоянии данного участка произошли большие изменения. Количество субстратов и заселенность их мидиями неуклонно уменьшались. Очевидно, что за период наблюдений общая биомасса мидий на этом участке сильно уменьшилась.

- D в г. Никольской – центральная точка под участком мидиевого хозяйства № 8, рис. 1. Продолжительность наблюдений за бентосными сообществами на этой станции составляет 11 лет, с 1990 по 2000 гг. Участок был установлен в 1988 г., снят в 1992 г. За период существования участка происходило активное увеличение биомассы моллюсков на субстратах. Начиная с осени 1991 г. отмечены массовые осыпания мидиевых друз с субстратов при повышенном волнении.

Сукцессия бентосного сообщества под участком № 9 (станции S, L, M). За 6 лет наблюдений содержание органических веществ в донных отложениях практически не менялось составляя в среднем 6 ± 0,2 %. Также не сильно изменялась суммарная биомасса макрозообентоса на этих станциях, в среднем составляя 153 ± 23 г/м^2. Рассмотрим многолетнюю динамику отдельных таксонов и экологических группировок на этих станциях. Двустворчатые моллюски за все годы наблюдений демонстрировали устойчивый рост биомассы. Коэффициент корреляции Пирсона для этой зависимости r = +0,69. Всего на данных станциях было обнаружено 12 видов моллюсков. Основу биомассы составляли двустворчатые моллюски – собирающие детритофаги *Macoma calcarea* (79 ± 6,9 %) и *Nuculana pernula* (10 ± 5%). Следовательно, можно говорить, что биомасса моллюсков – собирающих детритофагов под данным участком мидиевого хозяйства увеличивалась со временем.

В противоположность двустворчатым моллюскам, многощетинковые черви за исследованный период показывали устойчивое убывание биомассы, r = -0,58. На данных станциях было обнаружено довольно большое видовое разнообразие полихет – 57 видов. Наиболее представлены среди полихет оказались собирающие детритофаги – 27 видов, они же составляют большую часть биомассы полихет, в среднем, - 60 ± 3 %. За исследованный период, биомасса полихет - собирающих детритофагов постоянно снижалась, r = -0,73. Снижение биомассы полихет данной группы осуществлялось, в основном, за счет уменьшения численности относительно крупных и значимых форм, таких как *P hyperborea*, r = -0,76, и *C. setosa*, r = -0,8. У полихет безвыборочных детритофагов и плотоядных достоверных изменений биомассы со временем обнаружить не удалось. Общее число видов полихет на исследованных станциях за данный период практически не изменялось, составляя 26 ± 0.9. Из трех трофических группировок Polychaeta только у собирающих детритофагов можно отметить достоверную тенденцию к убыванию числа видов, r = -0,53.

Офиуры на станциях L, S, M были представлены тремя видами: *Ophiura robusta, Ophiopholis aculeata, Stegophiura nodosa.* Из них важными в количественном отношении являлись только собирающие детритофаги *O. robusta* (средняя доля в биомассе офиур – 98 ± 0,9 %). Биомасса *O. robusta* за исследованный период имеет явные тенденции к увеличению, r = 0,6.

Сукцессия бентосного сообщества под участком № 10 (станции OsA, OsB, OsC) Основу биомассы, больше 50 %, на этих станциях создают крупные моллюски фильтраторы: *E. elliptica, Nicania montaqui, Ciliatocardium ciliatum, Arctica islandica.* Основные колебания биомассы обусловлены более или менее случайным попаданием в пробу небольшого количества этих крупных

организмов. Однако на фоне колебаний общей биомассы можно проследить и более частные, но имеющие четкую направленность процессы. Во-первых, второй по представленности в биомассе таксон – полихеты за исследованный период в три-четыре раза уменьшил биомассу, r = -0,63, и более чем в два раза снизилось их видовое разнообразие: с 28 ± 3 видов до 13 ± 1 на станцию. Во-вторых, все трофические группировки, кроме сестонофагов, за период наблюдений в большей или меньшей мере снизили свою биомассу. Наиболее четко и достоверно это снижение проявилось для группы собирающих детритофагов, r = -0,62.

Сукцессия бентосного сообщества под участком № 8 (станция D). Наиболее длительным рядом наблюдений (11 лет) мы располагаем на станции D. На этой станции наблюдались и наиболее сильные изменения в характеристиках бентосных сообществ, табл. 1.

Табл. 1. Основные характеристики бентосного сообщества на станции D.

	D90	D90b	D91	D91b	D92	D94	D95	D96	D97	D98	D2000
количество таксонов	34	25	2	3	6	18	17	23	19	22	18
N, экз./м^2	5809	4750	506	651	12945	2460	3251	6372	1558	3760	2983
индекс Шеннона N	3,4	3,0	0,2	0,3	0,1	2,3	2,0	1,7	3,2	2,6	2,6
B, г/м^2	74,4	62,5	4,8	9,3	40,0	26,5	34,4	41,2	12,2	18,1	9,2
индекс Шеннона B	3,8	3,4	0,1	0,3	1,0	2,2	1,9	1,9	2,4	3,2	3,3

Примечание: N – численность, B – биомасса, b – пробы отбирались осенью.

Изменения бентосного сообщества на станции D можно разделить на три этапа: *Первый этап* – характерен для большинства станций под мидиевыми хозяйствами – это высокие биомасса и видовое разнообразие бентосного сообщества, представлены все трофические группировки. Отметим, что в это время на станции D в больших количествах встречались оппортунистические полихеты *Capitella capitata*. Их численность составляла сотни экз./м^2, биомасса более 4 г/м^2. *Второй этап* – замор. В течение зимы 1990-91 гг., на 3 год существования участка МХ, произошла практически полная деградация сообщества макрозообентоса. Летом и осенью 1991 г. нами было обнаружено всего 4 вида полихет, из них 3 вида представлены единичными находками, а массово присутствовали только *C. capitata*, достигая численности 600 экз./м^2 при биомассе до 8 г/м^2, доминирование по биомассе – больше 96 %. Наибольшего развития сообщество *C. capitata* достигло через два года после замора. Летом 1992 года численность этого вида составляла больше 12000 экз./м^2 и биомасса больше 25 г/м^2. *Третий этап* – восстановление. Летом 1992 г. участок мидиевого хозяйства над станцией D был ликвидирован. К лету 1994 г. *C. capitata* полностью исчезла из сообщества на изучаемой станции. Одновременно в 1994 г. можно отметить сильно возросшее видовое разнообразие, табл. 1. В первые несколько лет восстановления безраздельно доминировали полихеты – собирающие детритофаги, на 4-5 год в субдоминантах появились собирающие детритофаги - моллюски и офиуры.

Начиная с 6 года после замора в бентосном сообществе значимо представлены (10-20 % от биомассы) безвыборочные детритофаги (полихеты) и плотоядные животные (немертины и полихеты). Сестонофаги так и не появились в составе бентосного сообщества даже через 8 лет после снятия участка мидиевого хозяйства.

ГЛАВА IV. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И СПЕЦИФИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ БЕЛОМОРСКИХ МИДИЕВЫХ ХОЗЯЙСТВ НА БЕНТОС.

Можно утверждать, что основным фактором воздействия различных предприятий марикультуры на бентосные сообщества являются взвешенные органические вещества. Этот тезис подтверждается в многочисленных работах направленных на изучение хозяйств по выращиванию моллюсков, где основу ВОВ составляют отходы жизнедеятельности организмов. Нагрузка органическими веществами от марикультуры мидий в Белом море увеличивается в первые 3-4 года, затем стабилизируется. Максимальные нагрузки в условиях Белого моря достигаются значительно позже, чем для марикультуры в более южных акваториях (6-18 месяцев в Черном, Адриатическом, Желтом морях (Иванов, Попова, 1973; Гринбард, Гарба, 1975; Mirjana, Zelimir, 1973; Fusui, 1984)). Сообщества макрозообентоса, как правило, состоят из достаточно крупных форм, жизненный цикл которых измеряется годами. Такое бентосное сообщество может не успеть адаптироваться к нагрузке резко увеличивающейся в течение нескольких месяцев. Белое море в этом плане предоставляет гораздо более длительный и "щадящий" режим для адаптации сообщества макрозообентоса к увеличению органической нагрузки.

Основа ВОВ поступающих от мидиевых хозяйств – фекалии и псевдофекалии мидий. Примененные нами два независимых способа оценки количества выделяемых ВОВ дают близкие результаты. Один гектар мидиевых хозяйств выделяет около 60 кг сухих ВОВ в сутки. Если принять, что период наиболее активного метаболизма беломорских мидий составляет около 4 месяцев теплого летнего времени, то можно рассчитать, что с 1 га мидиевого хозяйства генерируется 6,5 тонн сух. ВОВ в год. Полученные данные хорошо согласуются с ранее публиковавшимися цифрами, полученными для различных беломорских МХ при использовании расчетного метода (Максимович и др., 1993; Кулаковский, 2000). Эта цифра примерно вдвое меньше таковой указанной для черноморских культивируемых мидий - около 12 тонн сух. ВОВ с гектара в год (Абаев, 2001).

Оседание ВОВ вокруг хозяйств беломорской марикультуры локально. Это хорошо согласуется с многочисленными литературными данными по изучению марикультуры на других акваториях. В шхерных акваториях Белого моря основная роль в разносе ВОВ от марикультуры принадлежит приливо-отливным течениям, и в нашем случае разнос ВОВ составлял около 75 м от участка марикультуры вдоль направления течения.

При сравнении интенсивности осадконакопления под беломорскими мидиевыми хозяйствами с более южной марикультурой, табл. 2, видно, что в нашем случае осадконакопление минимальное.

Табл. 2. Осадконакопление под марикультурой моллюсков, по данным разных авторов.

Район культивирования	осадконакопление, г/м^2 сухого вещества в сут.	данные
Белое море	3	наши данные
Шведское побережье	7 - 8	Dahlback, Gunnarson, 1981
Черноморское побережье		Абаев, 2001
Тасмания	11 - 12	Crawford et al. 2003
Япония		Hayakawa et al. 2001
Средиземное море	30	Sorokin et al. 1999

Таким образом, характеризуя особенности беломорских мидиевых хозяйств, как источника дополнительных ВОВ отметим, что максимальная нагрузка на акваторию достигается за длительный срок (4 года) и при этом она как минимум в несколько раз меньше, чем для марикультуры моллюсков в более южных акваториях.

Воздействие органических веществ от марикультуры

Абиотические характеристики. Исходя из наших результатов, можно говорить, что все рассмотренные физико-химические характеристики донных осадков закономерно и достоверно связаны с воздействием мидиевых хозяйств. Основные изменения абиотических характеристик осадков связаны с увеличенным поступлением ВОВ, о чем можно судить по величинам осадконакопления и повышенным содержанием органических веществ в донных отложениях под участками мидиевых хозяйств. Воздействие выражается: в активизации окислительных процессов (низкие величины Eh на поверхности осадков и большее БПК5 осадками под мидиевыми хозяйствами); смещении гранулометрического состава в сторону более мелких – пелитовых фракций; аккумулировании части не минерализованных ВОВ в толще донных осадков (Eh меньше 100 мВ). Основные изменения в осадках после установки участка мидиевого хозяйства происходят в первые несколько лет, в дальнейшем ситуация стабилизируется. После снятия нагрузки следы воздействия обнаруживаются длительное время, более 10 лет, в основном это связано с аккумулированными органическими веществами. Общая оценка состояния донных отложений под марикультурой мидий в Белом море может быть выражена как вполне благополучная. Неблагоприятные условия были отмечены только в единственном месте.

Бентосные сообщества Исходя из результатов данной работы и анализа многочисленной литературы, посвященной воздействию марикультуры на донные экосистемы можно утверждать, что дополнительное поступление взвешенных органических веществ выделяемых культивируемыми гидробионтами приводит к двум характерным состояниям бентосного сообщества. Эти состояния явно различаются между собой и отличаются от фонового состояния бентосных сообществ. Вслед за Пирсоном и Розенбергом

(Pearson and Rosenberg, 1978) обозначим эти сообщества как находящиеся под воздействием слабой органической нагрузки и сильной органической нагрузки.

Слабая органическая нагрузка – это поступление в донную экосистему дополнительных органических веществ в количествах, когда совокупное потребление кислорода на все процессы окисления в данной экосистеме не превышает его поступление. Органические вещества используются как дополнительная пища для бентосных гетеротрофов. При этом от фонового состояния бентосные сообщества при слабой органической нагрузке отличаются увеличенными количественными характеристиками и (или) изменениями в трофической структуре. В случае беломорских мидиевых хозяйств наиболее характерной чертой слабой органической нагрузки является резкое увеличение биомассы бентосного сообщества, почти на порядок.

Сильная органическая нагрузка – это поступление в донную экосистему дополнительных органических веществ в количествах, когда совокупное потребление кислорода на все процессы окисления в данной экосистеме превышает его поступление. В этом случае наблюдается дефицит кислорода и появление сероводорода. В таких условиях большинство видов макрозообентоса подвергаются замору. Бентосные сообщества при сильной органической нагрузке отличаются от фоновых и находящихся под слабой органической нагрузкой заметным снижением видового разнообразия макрозообентоса, вплоть до полного его исчезновения. Для мидиевой марикультуры на Белом море случай сильной органической нагрузки был отмечен только один раз. Исходное сообщество было полностью уничтожено. Вместо него образовалось сообщество оппортунистических полихет C. capitata.

Для режима подвесной марикультуры в условиях Белого моря встречаются все три возможных состояния макрозообентосных сообществ: фоновое, слабая органическая нагрузка и сильная органическая нагрузка. Специфичным для Белого моря является очень широкое распространение ситуации слабой органической нагрузки. В многочисленной литературе посвященной воздействию марикультуры на бентосные сообщества такие сообщения достаточно редки. Основные причины такого четкого проявления слабого органического загрязнения в условиях Белого моря, на наш взгляд, кроются в специфике беломорской марикультуры мидий. Беломорские мидиевые хозяйства по сравнению с более южной марикультурой создают меньшую нагрузку на бентосные системы. Что еще более важно – это медленное нарастание уровня воздействия – в течение нескольких лет. Это время сопоставимо со сроком жизни большинства бентосных животных, следовательно, сообщество успевает отреагировать адекватным увеличением численности, биомассы и благополучно утилизировать дополнительную пищу. В бентосной экосистеме возникает саморегуляция: увеличение поступления органических веществ – увеличение биомассы макрозообентоса – увеличение потребления органических веществ. Фоновая ситуация или отсутствие зафиксированного воздействия, складывается на тех станциях под мидиевыми хозяйствами где происходят активные гидродинамические процессы. Ситуация сильной органической нагрузки под беломорскими мидиевыми хозяйствами,

по-видимому, не характерна. Единственный отмеченный случай был связан с совпадением нескольких неблагоприятных факторов. Участок мидиевого хозяйства в губе Никольской вызвавший замор бентоса был расположен над максимальными глубинами этой акватории 30-40 м, что способствовало концентрации ВОВ. Губа Никольская отделена от открытого моря порогом с глубинами 13-15 м, что сильно затрудняет горизонтальный водообмен придонных вод губы на больших глубинах. Летом водная толща в губе Никольской имеет ярко выраженную вертикальную стратификацию (что вообще свойственно для Белого моря) с пикноклином на глубине 15-20 м, что затрудняет вертикальный водообмен. Кроме того, неудачным оказался выбор субстрата, который представлял собой плотный крученый капроновый канат. Разросшиеся к третьему году культивирования друзы мидий плохо удерживались на нем, и во время осенних штормов отмечалось массовое осыпание культивируемых мидий на дно. Условия на дне под данным участком марикультуры не благоприятны для жизнедеятельности мидий, они погибали, и тем самым увеличивали количество органических веществ поступивших на дно. Все эти причины привели к возникновению дефицита кислорода и в дальнейшем к замору.

Многолетний мониторинг бентосных сообществ находящихся под воздействием органической нагрузки позволил выявить основные сукцессионные процессы происходящие в них. При возникновении слабой органической нагрузки в первые несколько лет бентосное сообщество активно наращивает биомассу. В первую очередь это касается мелких и быстроразмножающихся детритофагов – разнообразных многощетинковых червей. В дальнейшем при стабилизации слабой органической нагрузки ведущую роль начинают играть более крупные и долгоживущие детритофаги – двустворчатые моллюски и иглокожие. При неудачном выборе места установки участка мидиевой марикультуры бентосное сообщество под ним в течение первых 2-3 лет проходит стадию слабой органической нагрузки, но затем при снижении концентрации кислорода и появлении сероводорода возникает замор и подавляющее большинство видов макрозообентоса исчезает. Характерным признаком позволяющим предсказать близкое наступление сильной органической нагрузки является массовое развитие в бентосном сообществе популяции оппортунистической полихеты *C. capitata*. После ликвидации органической нагрузки бентосное сообщество вступает в фазу восстановительной сукцессии. Видовое разнообразие сообщества возрастает, но доминирующую роль в нем играют различные виды детритофаги. По имеющимся данным за 8 лет наблюдений после снятия сильной органической нагрузки возврата к исходной структуре сообщества не происходит.

Принципиальная схема взаимодействия беломорское мидиевое хозяйство – донная система Обобщая все вышеприведенные данные, логично создать схематичную модель воздействия мидиевых хозяйств на бентосные системы при соблюдении биотехнологии. При построении модели исходили из предположения, что сильная органическая нагрузка на бентосные системы недопустима и является отступлением от биотехнологии. Поэтому данная

модель рассматривает как норму ситуацию слабой органической нагрузки создаваемой культивированием мидий. Модель представлена на рис 3. Последовательность блоков сверху вниз характеризует переход, распределение и потребление в бентосных системах органических веществ, производимых мидиевыми хозяйствами.

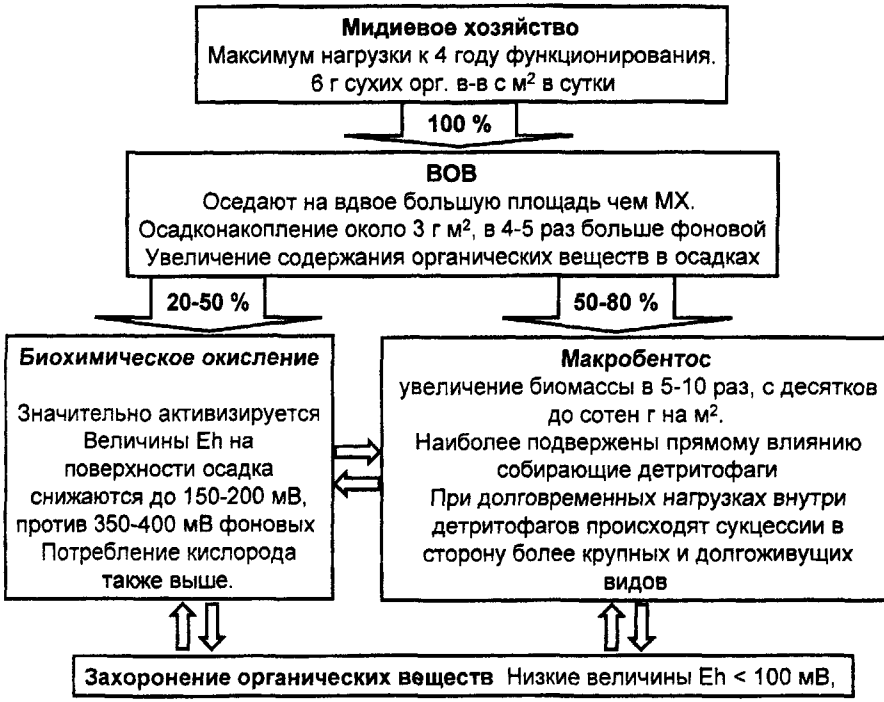

Рис. 3. Принципиальная схема воздействия мидиевых хозяйств на бентосные системы.

ГЛАВА V. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для условий Белого моря на основании данной работы ниже предложены практические рекомендации по выбору акватории культивирования и размещения на ней участков мидиевых хозяйств, а также по организации экологического мониторинга хозяйств марикультуры.

Выбор месторасположения хозяйства.

1. Помимо поверхностных течений в обязательном порядке необходимо оценивать скорость основных придонных течений, эти данные во многом будут определять разнос осадков и, главное, возможность поступления к обогащенным органическими веществами донным осадкам свежей богатой кислородом воды. Скорость придонных течений во многом определяет максимальные нагрузки на бентосные системы. Предпочтение следует отдавать

местам с большими скоростями течений. Над участками дна со скоростями придонных течений менее 1-2 см/сек, мидиевые хозяйства устанавливать не следует.

2. Необходимо оценивать геоморфологию дна под планируемыми участками хозяйства марикультуры и вокруг него. Следует избегать мест с локальными углублениями рельефа, как под участками, так и в стороны основного переноса осадков. В таких местах потенциально создается угроза накопления и застоя осадков от мидиевых хозяйств. Предпочтение надо отдавать ровному дну, не препятствующему потоку воды, вполне возможно равномерное понижение. В акваториях "ковшового" типа следует устанавливать участки марикультуры над глубинами не превышающими глубину порогов связывающих акваторию с открытым морем.

3. При установке хозяйств марикультуры в условиях Белого моря предпочтение следует отдавать участкам с небольшими глубинами (10-15 м), лежащими в пределах поверхностной водной массы.

Организация экологического мониторинга марикультуры.

1. Установке хозяйства марикультуры должны предшествовать гидробиологические работы по получению количественных данных о первоначальном состоянии бентосных сообществ и донных осадков. Необходимо оценить основные физико-химические характеристики донных осадков: окислительно-восстановительный потенциал на поверхности и в толще осадков, общее содержание органических веществ в осадках. При исследовании сообщества макрозообентоса нужно получить данные о видовом разнообразии (список таксонов и видов входящих в сообщество, индексы видового разнообразия) и трофической структуре сообщества, оценить суммарную биомассу сообщества, численность и биомассу отдельных видов. Такие данные позволят корректно оценивать изменения, происходящие в процессе культивирования. При невозможности получения первоначальных данных следует оценить фоновые характеристики бентосных сообществ по сети контрольных станций находящихся вне зоны воздействия. В случае мидиевой марикультуры в Белом море контрольные станции следует размещать в той же акватории где происходит культивирование на расстоянии не менее 100 м от ближайшего участка мидиевого хозяйства.

2. Основное внимание при проведении мониторинга надо уделять начальному периоду культивирования в данной акватории. Для беломорской мидиевой марикультуры это первые 4 года. В этот период исследование состояния бентосных сообществ под мидиевыми хозяйствами нужно проводить не реже одного раза в год, в летний сезон. Если за это время не произошло негативных изменений, то в дальнейшем, при условии стабилизации режима нагрузки на акваторию, вероятность таких изменений сильно уменьшается. После первых 4 лет функционирования участка мидиевого хозяйства, без создания им сильной органической нагрузки на бентосную экосистему, режим проведения мониторинга этого участка можно упростить. Исследование можно проводить один раз в несколько лет, приурочивая его к году, когда культивируемые мидии на субстратах создают максимальную массу.

3. Мониторинговые исследования бентосных экосистем под участками мидиевых хозяйств сводятся к оценке их состояния на момент исследования и прогнозу наступления сильной органической нагрузки. Эти исследования лучше всего проводить с помощью определения окислительно-восстановительного потенциала на поверхности и в толще осадков и оценки состояния популяции вида-индикатора сильной органической нагрузки оппортунистической полихеты *C. capitata*. Использование этих показателей можно рекомендовать по нескольким причинам. Во-первых, эти показатели эффективно отражают состояние бентосного сообщества и позволяют прогнозировать риск наступления сильной органической нагрузки. Во-вторых, получение этих данных не требует больших затрат труда и времени. В-третьих, нет альтернативного способа прогноза сильного органического загрязнения который можно противопоставить использованию вида-индикатора *C. capitata*.

Эти принципы можно применять и при организации других марикультурных мероприятий, не только выращивания мидий. Наиболее вероятно развитие в Белом море садкового выращивания лососевых рыб. Подобная марикультура гораздо сильнее воздействует на окружающую среду, поскольку использует дополнительные искусственные корма. Поэтому применять вышеизложенные рекомендации при организации хозяйств по садковому выращиванию рыб следует гораздо более жестко.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотелось бы отметить, что, судя по нашим исследованиям на 5 акваториях, где происходило культивирование, марикультура мидий на Белом море не причиняла серьезного ущерба окружающей среде. Таким образом, можно утверждать, что для мидиевых хозяйств в условиях Белого моря, при соблюдении биотехнологии, нормой является отсутствие негативных воздействий на бентосные экосистемы. Из этого следует, что при грамотном выборе расположения участка мидиевого хозяйства он может устойчиво функционировать на одном месте неограниченно долгое время.

ВЫВОДЫ

1. Основной эффект воздействия марикультуры на бентосные экосистемы достигается за счет выпадение на дно дополнительных органических веществ (фекалий и псевдофекалий мидий). Поступающие таким образом дополнительные органические вещества в основном используются как пища для гетеротрофов, и нагрузку создаваемую участками беломорской марикультуры мидий на бентос в большинстве случаев можно оценить как слабую. При этом показано, что:

- В донных осадках под мидиевыми хозяйствами идут более интенсивные процессы минерализации органических веществ. Величины окислительно-восстановительного потенциала осадков под участками марикультуры вдвое меньше, чем фоновые – 200 и 400 мВ, соответственно.

- Увеличиваются количественные показатели бентосных сообществ под марикультурой, общая биомасса макрозообентоса возрастает почти на порядок – 160-180 г/м^2 против 20-30 г/м^2 на фоновых станциях.
- С ростом биомассы организмы макрозообентоса способны утилизировать до 2/3 дополнительных органических веществ поступающих от марикультуры.
- Наиболее сильно на слабую органическую нагрузку реагируют собирающие детритофаги. При прекращении нагрузки их видовое обилие и биомасса может снижаться в 2-3 раза.
- При длительной слабой органической нагрузке состав группировки детритофагов смещается в сторону преобладания более крупных и долгоживущих видов

2. При несоблюдении биотехнологии отмечен случай катастрофических последствий – замор макрозообентоса. В этом единственном случае воздействие беломорской мидиевой культуры на донные экосистемы проявилось в форме сильной органической нагрузки. На минерализацию поступающих органических веществ был израсходован доступный кислород и возникла бескислородная зона приведшая к замору. Показано, что:

- Причиной приведшей к замору оказалось совпадение ряда условий: размещение участка марикультуры над ковшовым углублением дна с глубинами (25-30 м) большими, чем глубина залегания поверхностной водной массы; низкая гидродинамическая активность в месте расположения участка марикультуры; использование в качестве субстрата капронового каната вместо жгута из дели;
- Заморная ситуация, при которой погибло нативное сообщество макрозообентоса, возникла на 3 год функционирования участка марикультуры. Освободившееся местообитание заняли оппортунистические многощетинковые черви *Capitella capitata*.
- После ликвидации участка марикультуры бескислородная зона исчезла, и в течение 2-3 лет после снятия нагрузки произошло восстановление общих характеристик бентосного сообщества. При этом полного восстановления изначальной структуры сообщества не произошло и после 8 лет с момента снятия нагрузки.

3. Марикультура мидий на Белом море при соблюдении разработанной биотехнологии не оказывает негативного воздействия на акватории марикультуры. В частности показано, что:

- Участки марикультуры создают относительно небольшую нагрузку взвешенными органическими веществами (около 60 кг/сут с га сухих органических веществ)
- Воздействие по характеру не резкое, имеет длительный период нарастания, максимальной нагрузки следует ожидать только на 4-год после установки участка марикультуры.

- Воздействие проявляется локально, его область ограничена небольшим участком дна непосредственно под участком марикультуры и рядом с ней. На изученных полигонах область повышенной органической нагрузки на дно простиралась за границы участков марикультуры на расстояние до 75 м. Основная роль в распределении эффектов воздействия в условиях Белого моря принадлежит приливо-отливным течениям.

Список основных публикаций по теме диссертации:

1. S. M. Chivilev, M. V. Ivanov. 1997. Response of the Arctic Bentic Community to Excessive Amounts of Nontoxic Organic Matter. // Marine Pollution Bulletin, Elsevier Science Ltd, Vol. 35, Nos 7-12, pp. 280-286
2. Чивилев С. М., Иванов М. В. 1998. Изменение структурных свойств бентосных сообществ под подвесной марикультурой Mytilus edulis (Белое море) // тез. докл. VII международной конференции – Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. С. 238-239.
3. Чивилев С. М., Иванов М. В. 1999. Сукцесссия бентосных сообществ под воздействием промышленной мидиевой марикультуры // тез. докл. II международной конф. – Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера – Петрозаводск. С. 365-368.
4. Чивилев С.М., Иванов М.В. 2000. Деструктивное воздействие мидиевых хозяйств на донный арктический фаунистический комплекс Белого моря // Изучение опыта промышленного выращивания мидий в Белом море / Под ред. Ю.С. Миничева, Н.В. Максимовича. - СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та. С. 193-207.
5. Чивилев С.М., Иванов М.В. 2000. Сукцессия бентосного сообщества под воздействием мидиевой (Mytilus edulis L.) марикультуры в условиях Белого моря // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 3. Вып. 2 (№ 11). С. 20-23.
6. Иванов М. В., Чивилев С. М. 2002. Выделение, распределение и утилизация органических веществ при промышленном выращивании мидий // материалы IV научного семинара "Чтения памяти К. М. Дерюгина", Санкт-Петербург. С. 98-114.
7. Иванов М.В., Морозова М.В., Максимович Н.В. 2004. Многолетняя динамика структуры поселений мидии Mytilus edulis L. // Морские и пресноводные биосистемы севера Карелии (Труды Биол. НИИ СПбГУ; Вып.51), СПб. С. 121-131.
8. Иванов М.В., Чивилев С.М., Банкин Е.П. 2005. Режим реабилитации сообществ бентоса в акваториях марикультуры беломорских мидий // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Материалы IX Международной конференции. Петрозаводск. С. 153-157.
9. Примаков И.М., Лезин П.А., Иванов М.В., Кулаковский Э.Е. 2006. Пути оптимизации марикультуры мидий в Белом море. М. 72 с.

Подписано в печать 18.04.2006. Формат 60x84/16
Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ЗАО «КопиСервис».
Печать ризографическая. Заказ № 1/1804.
П. л. 1.5. Уч.-изд. л. 1.5. Тираж 120 экз.

ЗАО «КопиСервис»
Адрес юр.: 194017, Санкт-Петербург, Скобелевский пр., д. 16.
Адрес факт.: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 3.
тел.: (812) 327 5098

2006A
9496

N - 9496