



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Бакалаврская работа)

На тему «Особенности товарного выращивания мидий рода *Mytilus* в европейской части России»

Направление подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура,
профиль «Управление водными биоресурсами и аквакультура»

Исполнитель _____ Ненонен Ирина Вадимовна
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ Королькова С.В., к.т.н.
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____ Королькова С.В., к.т.н.
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

« ____ » _____ 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ В МИРЕ И В СССР | 6 |
| 1.1. Развитие мидиеводства в мире | 6 |
| 1.2. Развитие мидиеводства в СССР | 7 |
| 2. ОСОБЕННОСТИ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ НА ЧЕРНОМ МОРЕ | 9 |
| 2.1. Характеристика бассейна Черного моря | 9 |
| 2.1.1. Географическое положение, морфометрия и климат | 9 |
| 2.1.2. Гидрология..... | 10 |
| 2.1.3. Гидрохимия..... | 12 |
| 2.2. Биологические особенности черноморской мидии <i>Mytilus</i> <i>galloprovincialis</i> Lam. 1819 | 13 |
| 2.2.1. Систематическое положение | 13 |
| 2.2.2. Ареал обитания..... | 14 |
| 2.2.3. Биологическая характеристика | 14 |
| 2.2.4. Жизненный цикл | 16 |
| 2.3. Особенности технологии товарного выращивания мидии <i>Mytilus</i> <i>galloprovincialis</i> в Черном море | 19 |
| 2.3.1. Краткое описание технологии выращивания | 19 |
| 2.3.2. Примерный календарный план выращивания..... | 21 |
| 2.3.3. Контроль состояния выращиваемой культуры мидий | 22 |
| 2.3.4. Экологические последствия товарного выращивания мидий | 25 |
| 2.4. Технические устройства для товарного выращивания мидий в Черном море 27 | |
| 2.4.1. Конструкции для товарного выращивания мидий..... | 27 |
| 2.4.2. Коллекторы для товарного выращивания мидий | 30 |
| 3. ОСОБЕННОСТИ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ НА БЕЛОМ МОРЕ | 35 |
| 3.1. Характеристика бассейна Белого моря | 35 |
| 3.1.1. Географическое положение, морфометрия и климат..... | 35 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 3.1.2. Гидрология | 36 |
| 3.1.3. Гидрохимия | 38 |
| 3.2. Биологические особенности съедобной мидии <i>Mytilus edulis</i> L. 1758 | 39 |
| 3.2.1. Систематическое положение | 39 |
| 3.2.2. Ареал обитания..... | 40 |
| 3.2.3. Биологическая характеристика | 40 |
| 3.2.4. Жизненный цикл | 41 |
| 3.3. Особенности технологии товарного выращивания мидии <i>Mytilus edulis</i> в Белом море | 43 |
| 3.3.1. Краткое описание технологии выращивания..... | 43 |
| 3.3.2. Примерный календарный план выращивания..... | 45 |
| 3.3.3. Контроль состояния выращиваемой культуры мидий | 46 |
| 3.3.4. Экологические последствия товарного выращивания мидий | 48 |
| 3.4. Технические устройства для товарного выращивания мидий в Белом море | 50 |
| 3.4.1. Конструкции для товарного выращивания мидий | 50 |
| 3.4.2. Коллекторы для выращивания мидий..... | 52 |
| 4. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ РОДА <i>MYTILUS</i> В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ | 53 |
| 4.1. Современное состояние товарного выращивания мидий в России и мире..... | 53 |
| 4.2. Перспективы развития товарного выращивания мидий рода <i>Mytilus</i> в европейской части России | 55 |
| 4.2.1. Развитие технологий товарного выращивания..... | 55 |
| 4.2.2. Развитие технологий переработки мидий..... | 58 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | Error! Bookmark not defined. |
| СПИСОК ИСТОЧНИКОВ | 62 |

ВВЕДЕНИЕ

Водные биоресурсы являются ценным компонентом глобальной продовольственной системы, однако в связи с экстенсивной эксплуатацией запасов и климатическими изменениями, потенциал их добычи из естественных водоемов, в том числе мирового океана, весьма ограничен. В связи с этим все большее значение приобретает аквакультура — выращивание водных биоресурсов в искусственных условиях. Особое место в этой отрасли занимает мидиеводство — направление, занимающееся товарным выращиванием мидий. Мидии, являясь фильтраторами, не только способствуют очищению водных экосистем, но и служат ценным источником питания, богатым микроэлементами. Мидиеводство характеризуется высокой рентабельностью за счет высокой продуктивности плантаций и относительно низкой стоимости производственных процессов. В России эта отрасль имеет значительный потенциал, особенно в европейской части, где Черное и Белое моря представляют уникальные условия для культивирования двух ключевых видов рода *Mytilus*: *M. galloprovincialis* и *M. edulis*, однако контрастность этих регионов требует локальных адаптаций для технологии выращивания.

Цель работы — охарактеризовать основные особенности товарного выращивания мидий в двух регионах европейской части России: в Черном и Белом морях. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- описать особенности Черного и Белого морей, которые могут влиять на организацию мидиевого хозяйства;
- охарактеризовать биологические особенности видов рода *Mytilus*, характерных для описываемых регионов;
- выделить особенности, характерные для мидиеводства в каждом из регионов;

- определить современное состояние мидиеводства в России и перспективные направления для развития отрасли.

Объект исследования — технологии товарного выращивания мидий рода *Mytilus* в европейской части России, предмет— региональные особенности мидиеводства. Материалом для исследования послужили научная литература и справочные данные. Практическая ценность работы заключается в ценности в качестве образовательного материала для изучения мидиеводства в европейской части России.

1. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ В МИРЕ И В СССР

1.1. Развитие мидиеводства в мире

В 50-60-х годах XX века в мировом сообществе остро встал вопрос о пополнении продовольственных запасов. Ограничение промысла в связи со снижением запасов водных биологических ресурсов, а также введением 200-мильных экономических зон, усложняющих ведение добычи в акваториях других стран, послужили толчком для развития иного способа обеспечения человечества продукцией из рыбы и беспозвоночных, а также водорослей — аквакультуры. Направление аквакультуры, связанное с выращиванием водных биоресурсов в морских водах, получило название «марикультура» [47].

Как объект марикультуры, моллюски, в частности двустворчатые, обрели свою популярность из-за высокой рентабельности:

1) питание посредством фильтрации ставит моллюсков близко к началу трофических цепей, что снижает уровень зависимости состояния их популяций от состояния популяций других организмов в естественных условиях, а также позволяет избежать затрат на изготовление искусственных кормов;

2) прикрепленный образ жизни двустворчатых моллюсков позволяет использовать значительно более лёгкие в установке конструкции для выращивания, чем, к примеру, рыбоводные садки, что упрощает процесс выращивания до помещения субстратов в воду в период размножения моллюсков для сбора молоди, периодического контроля состояния выращиваемых организмов и сбора моллюсков по достижении ими промыслового размера.

Среди других отраслей конхокультуры (так называется раздел аквакультуры, посвященный товарному выращиванию мидий), выращивание мидий занимает особое место. По объему производимой продукции в мире к концу 70-х годов мидии уже занимали второе место среди беспозвоночных

после устриц. По данным Лавровской, в 60-х гг из произведённых 358 тыс. т мидий 300 тыс. т приходилось на выращенных в условиях марикультуры [13, 47].

1.2. Развитие мидиеводства в СССР

Развитие марикультуры, в частности культивирования беспозвоночных, в СССР началось в 60-х годах прошлого века на Чёрном море. Особое внимание было уделено черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis*), как из-за её высокой распространённости, так и из-за уже установленных в результате зарубежных исследований высокой продуктивности и экономической выгоды подобных предприятий. Работы в регионе велись на базе Института биологии южных морей (ИнБЮМ) им. А.О. Ковалевского и Южного научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ЮгНИРО, ныне Керченский филиал АзНИИРХ). Исследования проводились в различных районах Чёрного моря, экспериментальные хозяйства были построены в различных заливах Крымского полуострова в Керченском проливе. Продуктивность плантаций достигала порядка 300 т мяса мидий с 1 га. Интенсификация развития мидиеводства в конце 70-х годов была связана в частности с отмеченным в тот период сокращением промысловых запасов мидии, вызванным возросшей антропогенной нагрузкой (интенсивной добычей мидий и эвтрофикацией акватории) [45, 46].

Исследования перспектив выращивания моллюсков в северных регионах страны (Баренцевом и Белом морях) начались в середине 70-х годов прошлого века. Работы проводились в Полярном научно-исследовательском институте морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО), за основу был взят опыт исследований, проводимых на Чёрном море. В качестве объекта выращивания была выбрана распространённая в регионе съедобная мидия (*Mytilus edulis*). Первые экспериментальные хозяйства были устроены на западном побережье Баренцева моря, результаты превысили ожидания. Продолжительность цикла выращивания

составляла 3 года, однако продуктивность в 10–15 т сырого мяса на 1 га поверхности искусственного субстрата позволила установить рентабельность мидиеводства для северного региона [47].

Для Белого моря перспективность культивирования мидии заключалась в возможности круглогодичного выращивания в условиях полного замерзания акватории в зимний период, что выделяло данное направление среди других отраслей марикультуры. Зоологическим институтом АН СССР была разработана технология выращивания съедобной мидии, результаты первых экспериментов показали поразительную эффективность — с 1 га водной поверхности было получено порядка 30 т чистого мяса. С 1985 года началось формирование промышленных участков для выращивания мидии для пищевых целей, к 1995 году их суммарная площадь уже превышала 33 га. Однако вскоре состояние экономики привело к сокращению финансирования, и работы были прекращены [1].

2. ОСОБЕННОСТИ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ НА ЧЕРНОМ МОРЕ

2.1. Характеристика бассейна Черного моря

2.1.1. Географическое положение, морфометрия и климат

Черное море — внутриматериковое море, относящееся к бассейну Атлантического океана. Его воды весьма обособлены, сообщение с другими морями осуществляется через сравнительно узкие проливы: на юго-западе оно через пролив Босфор соединяется с Мраморным морем, далее через пролив Дарданеллы — со Средиземным, на северо-востоке через Керченский пролив — с Азовским морем (см. Рис.1) [5]. Площадь поверхности Черного моря равна 422 тыс. км², объем — 555 тыс. км³. Средняя глубина равняется 1315 м, максимальная — 2210 м (центральная часть акватории). Черное море характеризуется слабо развитой береговой линией с малым количеством заливов и бухт, почти полным отсутствием островов и значительным перепадом глубин у берега (за исключением Каркинитского залива, где дно формирует крупнейший черноморский шельф). На большей части побережья преобладает средиземноморский климат (теплая влажная зима, жаркое сухое лето), исключение составляет защищенная горами юго-восточная часть, где наблюдается субтропический климат (обилие осадков, теплая зима, жаркое лето) [5].



Рис. 1. Карта Черного моря [57]

2.1.2. Гидрология

Для Черного моря сток материковых вод является важной составляющей водного баланса, влияющей на формирование гидрологических и гидрохимических условий в регионе. Многочисленные реки, впадающие в Черное море, вливают в него за год около 346 км³ пресной воды. Наибольший сток дает Дунай (по средним многолетним данным около 201 км³ /год) [5].

Средняя соленость Черного моря составляет 21,9‰, хлориды преобладают над карбонатами. Соленость увеличивается с глубиной в открытой части моря от значений 17—18‰ на поверхности до 22,5‰ у дна. Важная особенность распределения солености по вертикали — существование постоянного во времени галоклина между горизонтами 100—150 м, в котором она увеличивается от 18,5 до 21,0‰ (см. Рис.2). Значительные различия величин солености на разных горизонтах объясняются распресняющим влиянием речного стока и поступлением в глубинные слои моря соленых (34—35‰) морских вод через пролив Дарданеллы [5].

Средняя температура поверхностного слоя Черного моря составляет +8,9°C, что объясняется хорошим прогревом воды в нем. Зимой наиболее значительные изменения температуры от места к месту происходят в мелководном северо-западном районе. В зимний период она изменяется здесь от -0,5— +1,0°C у берегов до +7°C в открытой части. В области больших глубин температура воды на поверхности в это время года равна +7—8°C. Летом происходит дальнейшее повышение температуры поверхностного слоя воды по всей площади до +25—26°C. Распределение температуры по вертикали для большей части года характеризуется ее наибольшими величинами на поверхности, некоторым понижением до горизонтов 60—75 м, откуда она очень медленно повышается с глубиной и у дна на глубинах 2000 м достигает +9,2°C, что объясняется геотермическим притоком тепла от дна. На горизонтах 75—100 м располагается холодный

промежуточный слой, вода которого в течение всего года обычно имеет температуру $+7-8^{\circ}\text{C}$ в открытых районах моря (см. Рис.2). Сезонные изменения температуры воды проявляются до горизонтов 150–200 м, однако наиболее отчетливо они выражены в верхнем слое (50–60 м) [5, 18].

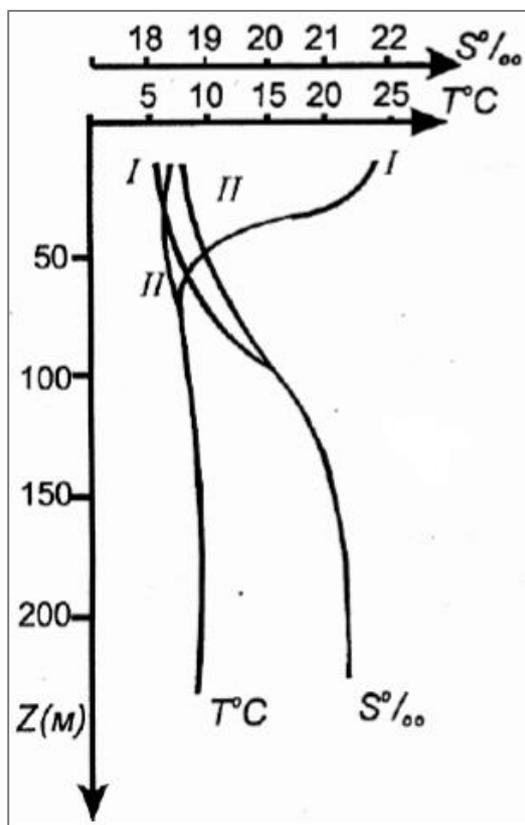


Рис. 2. Вертикальные профили температуры и солености: I - летом, II - зимой [18]

Примечательной характеристикой Черного моря является отсутствие ярко выраженных приливно-отливных явлений: колебания уровня воды составляют порядка 7–8 см. Наибольшие по величине стонно-нагонные колебания (более 30 см) наблюдаются в октябре—феврале в западном и северо-западном районах моря. Максимальная высота волны на Черном море достигает около 7 м, однако такие волны единичны и бывают раз в несколько лет. В обычных условиях даже при сильных штормах высота волны не превышает 5–6 м при длине волны 70–80 м [5, 18].

Обобщенная схема течений в поверхностном слое Черного моря приведена на рис. 3. На нем видно циклоническое течение, опоясывающее все море вблизи берегов. Внутри этого кольца прослеживаются циклонические круговороты со скоростями течений до 10 см/с в центральных

и до 25 см/с в периферийных областях. Подводные течения в значительной степени соответствуют поверхностным [5].

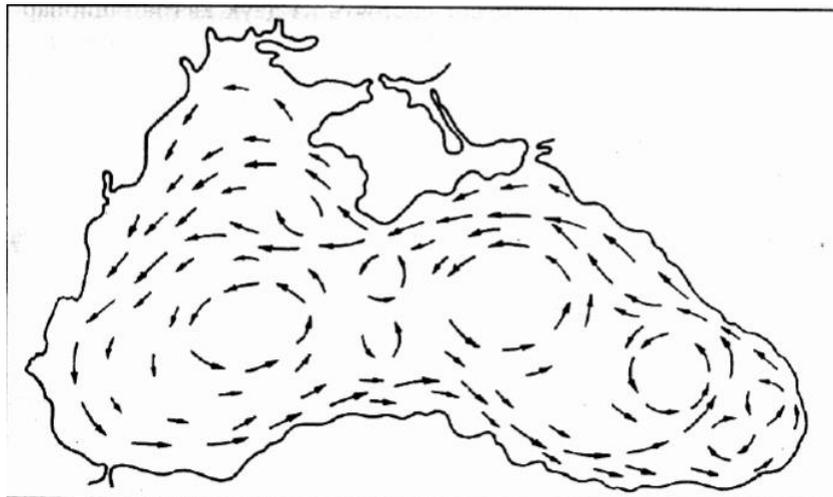


Рис. 3. Схема поверхностных течений в Черном море [18]

2.1.3. Гидрохимия

Одна из основных присущих Черному морю гидрохимических особенностей — отсутствие кислорода от горизонтов примерно 170—180 м и до дна. В поверхностных и нижележащих, до горизонтов 125—150 м, водах кислород присутствует всегда и повсюду в море. Его содержание изменяется не столько в пространстве, сколько по вертикали. Верхний, 50-метровый слой воды характеризуется высоким, близким к насыщению, содержанием кислорода по всей акватории Черного моря. Глубже концентрация этого газа резко уменьшается, на горизонтах 150—180 м он присутствует в очень малых количествах, а ниже практически не встречается [5].

Другая специфическая черта Черного моря — наличие сероводорода от нижней границы кислородного слоя (около 170—180 м) до самого дна. Пока еще нет единого общепризнанного объяснения происхождения сероводорода в Черном море. Считают, например, что он образовался в результате разложения пресноводных животных, погибших при проникновении соленых средиземноморских вод во время образования Босфора и Дарданелл [5].

Черное море богато биогенными веществами. Содержание и распределение нитритов и нитратов изменяется в широких пределах в зависимости от использования их фитопланктоном. В осенне-зимнее время

концентрация этих веществ наибольшая и в верхнем слое, на горизонтах 50–75 м она может достигать 15 мкг/л. Летом они встречаются только в зонах влияния речного стока. Также для Черного моря характерно относительно высокое по сравнению с другими морями содержание фосфатов, особенно в глубинных слоях воды. Наибольшее количество фосфатов в верхнем слое толщиной до 50–100 м наблюдается в январе–феврале, в мае–июне отмечается их минимальное содержание, вплоть до полного исчезновения, в связи с бурным развитием фитопланктона. Глубинные воды моря — зона накопления фосфатов, откуда они поступают к поверхности. Их первый по глубине максимум находится на горизонте 130 м, а наибольшая концентрация фосфатов (до 200–250 мкг/л) наблюдается в придонных горизонтах [5].

2.2. Биологические особенности черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. 1819

2.2.1. Систематическое положение

Средиземноморская мидия, или черноморская мидия (*Mytilus galloprovincialis*) — единственный из восьми видов рода *Mytilus*, обитающих в южных морях России. По современным представлениям полное систематическое положение средиземноморской мидии имеет следующий вид:

- царство — Животные (*Animalia*);
- тип — Моллюски (*Mollusca*);
- класс — Двустворчатые моллюски (*Bivalvia*);
- подкласс — Настоящие пластинчатожаберные (*Autobranchia*);
- отряд — Мидиеобразные (*Mytilida*);
- семейство — *Mytilidae*;
- род — *Mytilus*;

- вид — мидия средиземноморская (*Mytilus galloprovincialis* Lamark, 1819) [65].

2.2.2. Ареал обитания

Ареал распространения средиземноморской мидии ограничен европейским побережьем Атлантического океана (севернее Бискайского залива), а также в Средиземном, Эгейском, Мраморном, Чёрном и Азовском морями [23, 43]. Также вселение данного вида было отмечено в Японском море и некоторых других районах Тихого океана (см. Рис.4). По последним данным, имеет место проникновение вида и в солоноводные районы Каспийского моря [43, 50].



Рис. 4. Ареал распространения мидии *Mytilus galloprovincialis* [63]

2.2.3. Биологическая характеристика

Средиземноморская мидия — типичный представитель бентосной фауны морей Южной Европы. Раковина моллюска имеет чёрно-фиолетовую, синюю или коричневую окраску, по форме напоминает четырёхугольный клин, нижняя часть раковины обычно заметно уплощена. Внутренние края раковин гладкие, перламутр отликает синими или сине-фиолетовыми оттенками (см. Рис.5). Размер раковины взрослой особи может достигать 14 см в длину, 7,5 см в высоту, 5,2 см в ширину. Средняя масса взрослого моллюска составляет порядка 20 г [23].



Рисунок 5. Раковина мидии *Mytilus galloprovincialis*: А - внешняя сторона, Б - внутренняя сторона [65]

Средиземноморская мидия формирует устойчивые поселения от уреза воды до глубины около 60 м, основная масса мидиевых биоценозов приходится на глубину 20-60 м. При этом присутствие вида отмечается вплоть до глубины 80 м, однако в этом случае мидия не играет роли вида-эдификатора [36, 44]. Типичными местами формирования мидиевых популяций являются два типа грунтов — скалистые, где моллюски в массе закрепляются на камнях, образуя щётки, и мягкие илистые, на которых особи формируют друзы за счёт группового прикрепления к мелким камням и мёртвым раковинам. Прикрепление происходит с помощью выделяемых мидиями нитей биссуса [23].

Оптимальный диапазон температур для средиземноморской мидии располагается в пределах 15–18°C. При температуре воды ниже 7°C и выше 20°C интенсивность фильтрации у моллюска постепенно снижается, диапазон 25–28°C является верхним температурным пределом для мидий, при таких температурах их организм начинает разрушаться [3, 31]. Оптимальная солёность ограничена диапазоном 17–34‰, при солёности ниже 10‰ у средиземноморской мидии отмечают нарушения репродуктивных процессов [43]. Оптимальный кислородный режим для средиземноморской мидии — 3–6 мг/л, у вида существует ряд

адаптационных механизмов, направленных на перестраивание процессов метаболизма в условиях умеренной гипоксии, что позволяет им выдерживать пониженные концентрации кислорода в течение длительного времени [10].

2.2.4. Жизненный цикл

Мидии являются раздельнополыми животными. Половой диморфизм не выражен, отличить самца от самки можно только по цвету гонад в период размножения: у самцов они будут кремовыми, у самок — оранжево-красными. Средняя плодовитость самки мидии, достигшей размера 5,0 см, составляет около 300 тысяч икринок. Половой зрелости средиземноморская мидия достигает при размере створок 2,0–2,5 см в течение первых шести месяцев жизни. Развитие, как и у других моллюсков, идёт с полным метаморфозом [43].

В течение года наблюдается два основных периода размножения средиземноморской мидии: первый приходится на конец апреля – май, второй — на сентябрь – октябрь. При этом весеннее поколение составляет около 80% от общего количества молоди, получаемой за год, что делает его определяющим для численности пополнения популяции [8].

В период размножения самки мидий выпускают в воду прозрачные яйца размером до 70 мкм, в то время как самцы выпускают сперму, после чего происходит наружное оплодотворение. Первую стадию развития средиземноморской мидии — стерробластулу, имеющую округлую форму и покрытую ресничками, — можно наблюдать спустя 13–15 часов после оплодотворения. Трансформация от стерробластулы до трохофоры (см. Рис.6) занимает ещё 18–23 часа, от предыдущей стадии её отличает наличие апикального султанчика [23, 32].

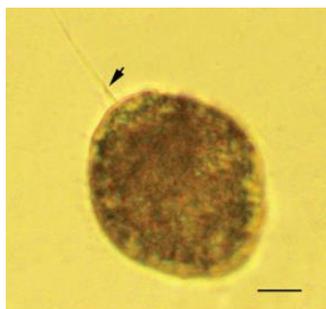


Рис. 6. Личинка мидии *Mytilus galloprovincialis* на стадии трохофоры: стрелкой обозначены реснички апикального султанчика; масштаб - 15 мкм [32]

Продолжительность развития личинки от трохофоры до велигера составляет 30–48 часов. На этом этапе личинка остаётся прозрачной, бесцветной. Средняя длина велигера средиземноморской мидии составляет около 116 мкм (см. Рис.7). Строение мягкого тела личинки типично для моллюсков на данной стадии развития, отличительным признаком становится раковина — полукруглая, равносторонняя, с прямым замковым краем, по мере развития строение замка усложняется за счёт увеличения количества зубчиков и изменения их размерных соотношений. На раннем этапе поверхность раковины имеет равномерную зернистую текстуру, позднее начинают проявляться круги нарастания [32].

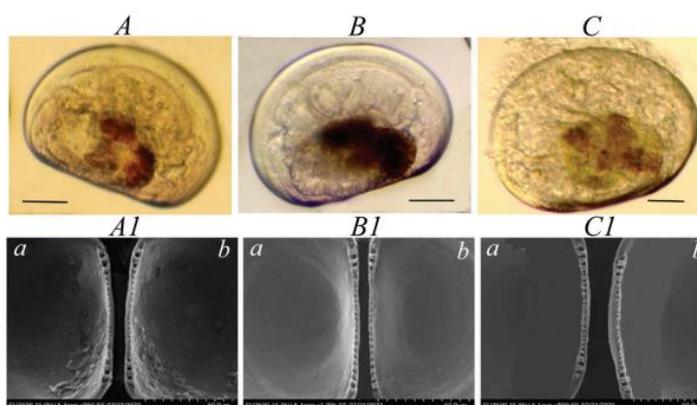


Рис. 7. Личинки мидии *M. galloprovincialis* на стадии велигера: А – 134,0 мкм; В – 143,0 мкм; С – 164,0 мкм), масштаб: 30 мкм; А1; В1; С1 – СЭМ - изображения замкового края раковины велигера: а – левая створка; б – правая створка [32]

На стадии великонхи личиночная раковина остаётся равносторчатой, однако задний её конец становится шире переднего, приближая её форму к форме раковины взрослого моллюска (см. Рис.8). Размеры раковины

достигают 250-300 мкм, цвет становится жёлтым, в отдельных случаях окрашиваются только края, тогда как середина остаётся бесцветной. На этой стадии происходит закладка пигментных пятен («глазков»). У личинки длиной свыше 250 мкм хорошо развита нога, на 278 мкм становятся заметны жаберные петли, а после преодоления отметки длины в 307 мкм у личинок формируется задний аддуктор [32].

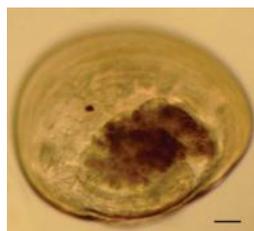


Рис. 8. Личинка мидии *M. galloprovincialis* на стадии великонхи (253 мкм), масштаб - 30 мкм [32]

На стадии педивелигера личинка мидии уже имеет хорошо сформированную ногу, длина которой в вытянутом состоянии превышает длину самой личинки в 3–4 раза, раковина приобретает более треугольную форму (см. Рис.9). Длина готовой к метаморфозу личинки составляет 320–350 мкм. После оседания педивелигер в течение около 1–2 недель достаточно активно передвигается по дну в поисках субстрата для закрепления. По мере готовности к метаморфозу раковина приобретает коричневую окраску, после метаморфоза молодая мидия прикрепляется к субстрату с помощью биссуса [32].



Рис. 9. Личинка мидии *M. galloprovincialis* на стадии педивелигера (296 мкм), масштаб - 30 мкм [32]

Общая продолжительность пелагической стадии в жизни средиземноморской мидии составляет от 18 до 50 суток и зависит от таких

факторов, как температура воды, состав и объём кормовой базы, а также от плотности посадки личинок [32]. Средняя продолжительность жизни средиземноморской мидии в естественной среде составляет 6–8 лет. На всех этапах жизни основу её питания составляют планктонные водоросли, отфильтровываемые моллюсками из воды, в меньшей степени — детрит и мелкий зоопланктон [33].

2.3. Особенности технологии товарного выращивания мидии *Mytilus galloprovincialis* в Черном море

2.3.1. Краткое описание технологии выращивания

В настоящий момент основу товарного выращивания мидий составляет полуциклическая технология, опирающаяся на получение молоди *M. galloprovincialis* из естественной среды. Сам процесс выращивания состоит из трех основных этапов, связанных с биологией моллюсков. Первым этапом является сбор спата, за ним следует, собственно, подращивание мидий до товарного размера (около 5 см). После сбора товарной мидии проводится сортировка урожая, далее мидии проходят очистку и обрабатываются в соответствии с типом продукции, для получения которой они будут использованы (см. Рис. 10) [43, 52].



Рис. 10. Схема товарного выращивания *Mytilus galloprovincialis* [62]

В России распространено выращивание в толще воды с помощью различных конструкций, на которых молодь моллюсков формирует друзы. Данный способ позволяет в разы увеличить объем биомассы моллюсков, получаемый с единицы площади, как в сравнении с другими способами искусственного выращивания, так и с естественным ростом мидий. Так, в Черном море в условиях подвешного выращивания мидии достигают товарного размера примерно за 1,5 года, тогда как в естественных условиях они вырастают до таких размеров за 3–4 года. Это в частности связано с тем, что в условиях подвешного выращивания моллюски имеют доступ к кормовым ресурсам всей толще воды, а не только ее придонного слоя [13].

Также к преимуществам этого метода следует отнести сниженный пресс со стороны хищников: большинство естественных врагов черноморской мидий — это рапаны и донные рыбы, которые не могут добраться до моллюсков, находящихся в водной толще. Еще одним плюсом является отсутствие необходимости очищать готовый продукт от попавших в мантийную полость мидий частиц песка, так как моллюски не соприкасаются с грунтом [13].

Биотехника выращивания мидии на Чёрном море предусматривает её подращивание в среднем в течение 17–19 месяцев [13]. Сбор личинок (спата) проходит дважды в год в период размножения диких популяций. Коллекторы для сбора спата устанавливаются не более чем за 2 недели до ожидаемого начала нереста с целью предотвращения формирования на них сообщества обрастателей до оседания личинок мидий. Кроме того, в осеннее-зимний период может проводиться заглубление коллекторов с опусканием их на глубину до 7 м для предотвращения обрывов систем в связи со штормами [12].

Товарными считаются моллюски, достигшие длины 5 см, однако для реализации у таких мидий необходимо определить так называемый индекс кондиции (далее — ИК), который будет характеризовать наполненность моллюска мясом. ИК принимает свои максимальные значения в

преднерестовый период и минимальные — после нереста [52]. Такое изменение показателя в течение года сказывается на сроках сбора товарной мидии, ведь наиболее целесообразным для хозяйства является сбор урожая с максимальными значениями ИК. Чаще всего за ИК принимается соотношение сырого веса мяса мидии к внутреннему объему ее раковины. Для этого объем моллюска измеряется путем опускания его в мерный сосуд с водой, затем аналогичным способом вычисляется объем створок. Путем вычитания второй величины из первой получается значение, соответствующее объему внутренней полости раковины. Вес мяса определяется путем взвешивания его после кратковременного обсушивания на фильтровальной бумаге. Дальнейшее вычисление идет по формуле:

$$I = \frac{W_m}{V_{вп}} \times 100, \text{ где:}$$

I — индекс кондиции;

W_m — масса сырого мяса мидии, г;

$V_{вп}$ — объем внутренней полости раковины мидии, мл [52].

Полученный таким образом показатель ИК хорошо характеризует степень заполненности моллюска мясом. Мидии, достигшие товарного размера и имеющие хорошие значения ИК, отправляются на реализацию в сыром или замороженном виде. Мидии, не достигшие нужных значений ИК, как правило отправляются на изготовление сырья для фармацевтической и косметической промышленности, а также на изготовление кормов для сельскохозяйственных животных [52].

2.3.2. Примерный календарный план выращивания

В хозяйствах полуциклического типа сбор молоди проводится в период естественного нереста черноморской мидии. Продолжительность подращивания, как уже было сказано ранее, составляет около 1,5 лет, в большей степени этот период зависит от состояния кормовой базы и температурных условий района, в котором располагается ферма. Период

выращивания сопровождается такими техническими работами, как паразитологический контроль выращиваемых моллюсков, удаление обрастателей с коллекторов и др. Основные периоды снятия товарной мидии на реализацию зависят от содержания в них мяса, что в свою очередь зависит от цикла размножения. Показателем, по которому определяется процент содержания мяса в мидиях, является упомянутый ранее ИК. Максимальные его значения приходятся на периоды, предшествующие нересту, поэтому сбор урожая проводится перед каждым из пиков размножения у моллюсков (см. Табл.1). Второй период сбора является более продолжительным, так как на его время приходится наибольший набор массы у мидий. К тому же второй пик размножения обычно дает меньшую численность молоди, следовательно, меньше сказывается на изменении массы соматических тканей.

Таблица 1. Календарный план товарного выращивания *Mytilus galloprovincialis*

| Название этапа | Месяцы | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------|--------|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Сбор молоди (спата) | | | | | | | | | | | | |
| Доращивание мидий до товарного размера | | | | | | | | | | | | |
| Основной период изъятия товарной мидии | | | | | | | | | | | | |
| Транспортировка на берег, сортировка, очистка мидии, переработка | | | | | | | | | | | | |

2.3.3. Контроль состояния выращиваемой культуры мидий

Мидии, как уже было сказано ранее, выращиваются на коллекторах, устанавливаемых в море. Однако так как такой способ выращивания

задействует естественный водоем, помимо молоди мидий, для содержания которых конструкции изначально предусмотрены, на них могут оседать и другие организмы, формируя полноценные сообщества обрастания. В Черном море основу сообществ обрастания составляют 18 видов беспозвоночных, из которых доминируют 3 вида: мидия *Mytilus galloprovincialis*, усоногий рак *Balanus improvises* и гидроидный полип *Obelia longissima* [4]. Формирование таких сообществ является естественным процессом, однако может оказывать негативное воздействие на культивируемых мидий за счет конкуренции за площадь субстрата и питание с другими доминирующими видами. Для предотвращения формирования сообщества обрастания на субстратах до оседания спата, коллекторы выставляются на акваторию не раньше, чем за 2 недели до предполагаемого начала нереста мидий, в таком случае организмы-обрастатели не составят значительной конкуренции личинкам мидий [12, 18].

Основная масса заболеваний мидий связана с поражением их паразитическими организмами или организмами-комменсалами в количествах, превышающих безвредные для моллюсков. За счет южного расположения видовой спектр таких организмов, характерный для Черного моря и, следовательно, черноморской мидии, весьма широк.

Так, мидия в Черном море является промежуточным хозяином в жизненном цикле трематод вида *Proctoeces maculatus* и семейства *Echinostomatidae*. В зараженной мидии развивается партеногенетическое поколение – спороцисты (партениты), которые могут существовать в ней в течение всей ее жизни. Локализуются партениты в различных внутренних органах, чаще всего в мантии и печени. Интенсивность их заражения варьирует от нескольких экземпляров в начальный период инвазии до десятков тысяч в случае сильного поражения. Поверхность зараженных органом приобретает бугристость, присутствие в них паразитов придает им характерный желто-оранжевый цвет. Тело мидий при этом становится дистрофичным, приобретая несъедобный вид. Присутствие большого числа

партенит в тканях мидии приводит к снижению половой продукции (кастрации) [43]. Для трематоды *Parvatrema duboisi* мидия является дополнительным хозяином. Этот паразит ухудшает товарные свойства мидий, стимулируя жемчугообразование. Мясо мидии, содержащее даже небольшое количество жемчуга, становится непригодным в пищу [43].

Эндосимбионтами черноморской мидии также могут быть микроспоридия *Steinhausia mytilovum*, грегарина *Nematopsis legeri*, турбеллярия *Urastoma ciprinae* и инфузории *Ancistrum mytili* и *Peniculistoma mytili*. В нормальных условиях эти организмы не представляют для моллюска никакой угрозы, однако при скачке их численности или стрессовых условиях они могут сказываться на интенсивности питания мидии, тем самым становясь условными паразитами [43].

Также опасность для мидии, особенно для молодых особей, может представлять губка *Cliona vastifica*, которая просверливает раковину моллюска и поселяется в его полости. Снижение инвазии в случае данного вида обеспечивается за счет удаления коллекторов от дна и от береговой линии, где располагаются естественные биотопы, на которых обитает губка [43]. Основной мерой профилактики поражения культивируемых мидий паразитическими организмами является мониторинг состояния как выращиваемых, так и естественных популяций моллюсков в районе расположения мидиевого хозяйства (далее — МХ) [12].

Одним из основных естественных врагов мидии на Черном море является брюхоногий моллюск рапана (*Rapana venosa*). Естественный ареал данного вида расположен в Тихом океане, для черноморского региона он является инвазивным и наносит большой ущерб местной экосистеме, так как в ней отсутствуют его естественные враги — морские звезды. Питаются рапаны путем просверливания раковин двустворчатых моллюсков (в том числе мидий) и поглощения их содержимого [43]. Влияние хищников (донных рыб) на мидиевые хозяйства подвесного типа ограничено, так как в оптимальных условиях коллекторы таких хозяйств не соприкасаются с

грунтом. Однако в случае рапан опасность представляет тот факт, что их личиночная стадия — планктонная форма, которая может оседать на субстрат коллектора и превращаться во взрослого моллюска непосредственно на мидиевой друзе в толще воды. Известны случаи, когда в результате таких «нападений» потери хозяйства составляли более трети урожая [43].

2.3.4. Экологические последствия товарного выращивания мидий

Выращивание моллюсков, в частности мидий, считается одним из наиболее экологичных направлений аквакультуры. Это связано с тем фактом, что производство конхокультуры зависит только от продуктивности акватории, на которой расположена ферма (в первую очередь фитопланктона) и не требует внесения дополнительных кормов и витаминных добавок, а также не использует антибиотики. При оптимальных условиях разведения (плотности посадки мидий и площади рыбоводного участка) плантация даже может оказывать положительное влияние на окружающую среду: выращиваемые мидии выполняют функцию биофильтра, очищая воду от взвесей, увеличивают содержание органики в воде, способствуя развитию фитопланктона, и т.п. Вокруг хозяйства концентрируются рыбы и другие организмы, питающиеся, например, мидиями, опавшими с коллекторов, что увеличивает биоразнообразие экосистемы. Кроме того, в период нереста мидиевые фермы увеличивают численность зоопланктона, а также могут вносить значительный вклад в пополнение, в том числе естественных популяций моллюсков [48].

Однако возможны и негативные последствия. Основным из них является накопление под фермой биоотложений, состоящих из фекалий и псевдофекалий, выделяемых мидиями в процессе жизнедеятельности. Также свой вклад в формирование биоотложений вносят останки моллюсков, опавших с коллекторов: в отдельных случаях они способны сформировать живую популяцию, однако чаще такие мидии погибают и подвергаются минерализации, тем самым расходуя кислород в придонном слое и

увеличивая объемы органического вещества. Согласно экспериментальным данным, в Черном море в условиях культивирования мидий на небольших плантациях, выделяемые биоотложения не будут оказывать существенного влияния на экосистему, так как та обладает большим потенциалом к сохранению устойчивого состояния биоценозов (например, часть опавших мидий элиминируют брюхоногие моллюски рапаны) [48]. Однако превышение экологической емкости, характеризующей район выращивания, за счет чрезмерных масштабов культивирования, может нарушать экологическое равновесие. В первую очередь это негативно отразится на состоянии бентоса: численность донных организмов снизится, сократится видовое разнообразие, постепенно произойдет изменение структуры сообщества в пользу организмов, более устойчивых к органическому загрязнению и нехватке кислорода. Так, например, в районах размещения мидиевых хозяйств на Черном море отмечают в том числе сокращение численности полихеты *Melina palmate* в бентосных сообществах, что указывает на вторичное загрязнение акватории органикой [7].

С целью контроля и снижения негативного воздействия мидиевых ферм на окружающую среду на хозяйствах применяются следующие меры (в основном направленные на предотвращение накопления высоких концентраций биоотложений в одной точке):

- крупные плантации мидий (20 т и более) размещать блоками площадью не более 1 га в шахматном порядке;
- проводить перенос сооружений с коллекторами в пределах акватории рыбоводного участка каждые три цикла выращивания;
- проводить снятие урожая с коллекторов в рекомендуемые сроки и не допускать оставления в воде коллекторов с моллюсками, достигшими товарного размера [6].

Помимо перечисленных мероприятий проводится ежегодный мониторинг состояния водной среды в пределах акватории, на которой расположено хозяйство. Такой мониторинг носит комплексный характер и

позволяет оценивать не только степень воздействия хозяйства на экосистему за счет исследования концентраций биогенных веществ в воде, но и состояние акватории в целом. Мониторинг включает в себя следующие разделы:

- контроль распределения личинок мидий на акватории в различные сезоны года, оценка сезонной динамики интенсивности оседания спата на коллекторах;
- определение размерно-массовых характеристик роста моллюсков на коллекторах (длина, масса общая, масса сырого мяса, ИК и др.), оценка величины продукции и элиминации мидий;
- исследование сезонной динамики кормовой базы мидий (в первую очередь видового и численного состава фитопланктона);
- оценка сезонной и возрастной динамики заселенности мидий различными видами паразитов и комменсалов;
- изучение влияния промышленного культивирования на стабильность морской экосистемы в районе расположения хозяйства, исследование влияния хозяйства на структуру донных сообществ;
- оценка сезонных изменений гидрологического и гидрохимического режимов акваторий [6].

Следует отметить, что эффективным методом борьбы с накоплением органического вещества является изъятие осадков и их дальнейшее использование в качестве сельскохозяйственных удобрений [30, 60].

2.4. Технические устройства для товарного выращивания мидий в Черном море

2.4.1. Конструкции для товарного выращивания мидий

Установки, используемые для товарного выращивания мидий, состоят из двух основных элементов — конструкции, которая удерживает выращиваемых моллюсков в толще воды, и коллекторов, закрепляемых на этой конструкции, на которые непосредственно оседает спат мидий.

Конструкции для закрепления коллекторов относятся к гидробиотехнологическим сооружениям (далее — ГБТС), создание которых требует знаний как биологических (для повышения эффективности выращивания), так и гидрологических (для повышения надежности конструкции в морских условиях). [17].

Основным требованием, предъявляемым к МГБТС, является устойчивость к волновому воздействию. Подобная устойчивость, во-первых, предохраняет конструкцию от обрывов и спутывания, облегчая техническое обслуживание, и во-вторых, способствует поддержанию комфортных условий для культивируемой мидии, тем самым повышая эффективность процесса выращивания. За время развития технологии товарного выращивания мидий, было придумано и опробовано множество устройств разного типа сборки. Немногие из них были доведены до практического использования, в основном по причине сложности конструкции, высокой стоимости ее обслуживания или неудобством эксплуатации.

Примером устройства для выращивания мидий, потенциально подходящим для широкого использования, может послужить разработка 1986 года (см. Рис.11). Эта модель представляет собой довольно простую систему из закрепленных в грунте вертикальных полиэтиленовых труб, которые играют роль направляющих элементов, и горизонтальных трубок, которые выполняют функцию наплавов и несущих элементов (на них закрепляются субстраты для моллюсков). За счет системы шлангов и клапанов, расположенной в горизонтальных элементах, такой коллектор может по направляющим элементам опускаться на глубину, уходя от волнового воздействия, и поднимать урожай к поверхности для последующего сбора. Такие коллекторы используют в том числе и на экспериментальных научных базах по выращиванию мидий, расположенных на Черном море [17].

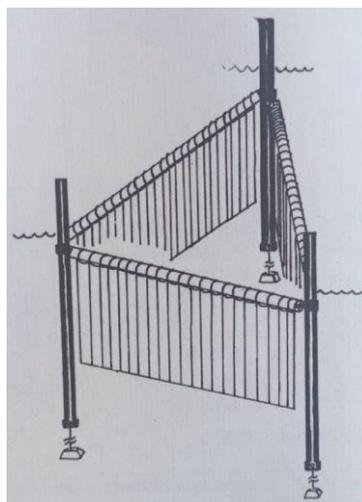


Рис. 11. Устройство для выращивания мидий (1986 г.) [17]

В настоящий момент наиболее популярным (как в черноморском регионе, так и в мире) методом товарного выращивания мидии является технология выращивания моллюсков на так называемых «лонглайнах» (см. Рис.12, 13). Основу этих сооружений составляют канаты, играющие роль носителей, на которых в свою очередь закрепляются субстраты для оседания мидий. Концы таких носителей закрепляются якорями на грунте, поддержание их на плаву осуществляется за счет серии буйев. Подобные канатные линии просты в изготовлении и эксплуатации, а также устойчивы к ветровым и волновым воздействиям, что позволяет использовать их на открытой воде [14].

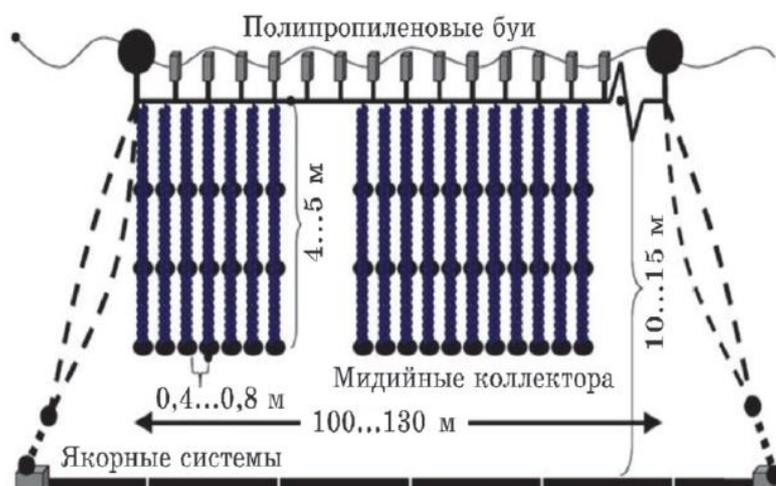


Рисунок 12. Ярусная установка «лонг-лайн» [14]

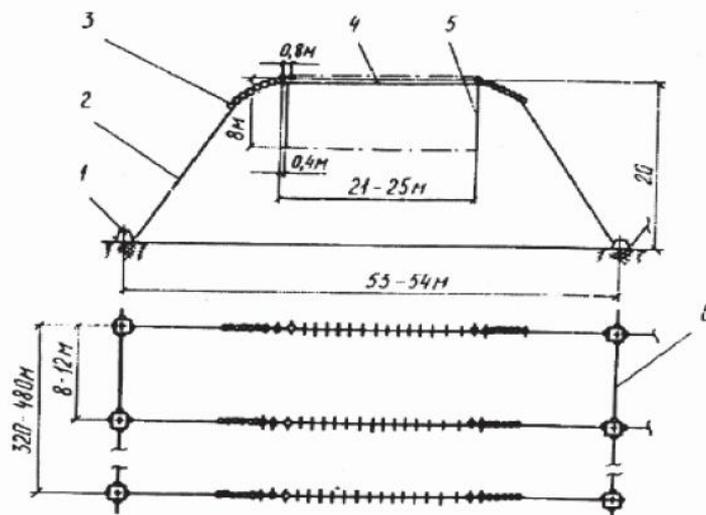


Рисунок 13. Модифицированная установка ВНИРО: 1 – грузы; 2 – оттяжки; 3 – кухтыли; 4 — горизонтальная хребтина; 5 — коллекторы (50 шт.); 6 — система тросов [14]

2.4.2. Коллекторы для товарного выращивания мидий

Коллектор — это субстратная часть МГБТС, на которую происходит оседание личинок мидий в море. Существует два метода использования коллекторов. В первом случае выращивание моллюсков осуществляется на том же субстрате, на который проводился сбор спата в период нереста (непрерывное использование коллектора). Во втором случае личинок мидий собирают на коллектор одного типа, а дорастивание их до товарных размеров осуществляют на коллекторе другого типа после пересадки (использование «однопроцессных» коллекторов) [11]. В условиях Черного моря возможно применение любого из приведенных методов, однако «непрерывные» коллекторы представляют значительно больший интерес ввиду того, что их обслуживание требует меньших трудозатрат, что снижает себестоимость готового продукта, получаемого на МХ. Недостатком данного метода может считаться тот факт, что моллюски, расположенные ближе к внешнему краю друзы, будут расти быстрее и питаться эффективнее, препятствуя росту мелких особей, в процессе оседания оказавшихся под ними. Эта проблема может быть решена путем снятия крупных мидий с коллекторов для

реализации с последующим доращиванием мелких особей либо переработкой их в, например, сырье для лекарственных препаратов [11].

Разнообразие современных коллекторов представлено их формой и структурой (жесткие, мягкие), материалом изготовления (пластик, пенопласт, полимерные нити, жгутовые канаты, траловые рыболовные сети и др.), а также способом крепления на базовые линии (одионочные, непрерывные). Лучше всего личинки мидий оседают на нитчатые структуры естественного или искусственного происхождения. Это могут быть, например, распушенные канаты, бактериально-водорослевые обрастания и даже биссусные нити других моллюсков [2].

В условиях нестабильной численности личинок *M. galloprovincialis* в природных популяциях, важнейшим элементом биотехнологии культивирования мидии является тщательный подбор коллекторов, обеспечивающих максимальное оседание и выживаемость педивелигеров мидии. Помимо общей площади субстрата, влияние на эффективность сбора спата может оказывать и характер используемого в изготовлении коллектора материала. Коллекторы с большей структурной сложностью обеспечивают более интенсивный сбор и прикрепление личинок, снижая их потери при дальнейшем выращивании, следовательно, являются гораздо эффективнее, чем гладкие коллекторы [2].

Механизм избирательной активности педивелигеров в отношении разных субстратов заключается в двигательной реакции на движение воды – вытягивание ноги, с помощью которой в потоке воды захватываются нити субстрата. «Хватательное» движение молодого педивелигера не эффективно по отношению к гладкой поверхности. Кроме того, свою роль играет и химический состав материала, из которого сделан коллектор. Так, например, полиэфирные волокна задерживают больше воды, чем волокна полипропилена или полиэтилена, что негативно сказывается на оседании моллюсков. Кроме того, исследования показали, что коллекторы из полипропилена эффективнее полиэтиленовых. Использование коллекторов

из натуральных материалов (например, джута) является неэффективным с точки зрения долговечности, так как быстро разлагаются под воздействием морской воды [2].

В настоящее время применяются следующие виды коллекторов, адаптированных к отечественным материалам и условиям Черного моря:

- «сетные» — мягкие с сетным субстратом в виде «лент», «стенок», «этажерок», «корзинок», и «условно-сетные» — с сетным субстратом в виде «конусов» (см. Рис.15);



Рис. 15. Сетный коллектор [11]

- «жесткие» — с твердым субстратом;
- «полужесткие» — с субстратом в виде «пластико-ленточных» коллекторов или с крестообразными вставками (см. Рис.16);



Рис. 16. Ленточный коллектор с мидиями [11]

- «гибкие» — канатные хребтины со вставками из жестких или мягких субстратов (см. Рис.17).

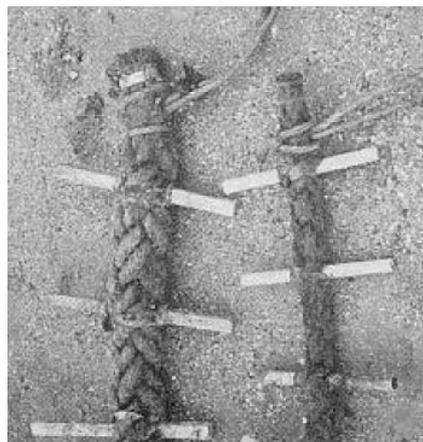


Рис. 17. Веревочный коллектор с деревянными вставками [11]

Из всех приведенных типов коллекторов наибольшей популярностью пользуются веревочно-субстратные, так как они удобны в эксплуатации и имеют относительно невысокую стоимость производства. В Табл.2 приведены характеристики некоторых видов веревочных коллекторов.

Таблица 2. Характеристика некоторых типов коллекторов, используемых на Черном море [2]

| Наименование коллектора | Структура коллектора | Внешний вид | Площадь поверхности 1 м коллектора, м ² | Количество спата на 1 погонный м коллектора, экз./м, $m \pm SD$ |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Заплетенный ворсистый | Диаметр 3 см, длина ворса <0,3 см |  | 0,095 | 1 365 ± 42 |
| Супер ворсистый | Диаметр 8...9 см, длина нитей 2,5...3 см, 24 000 нитей на м |  | 1,44 | 13 800 ± 314 |
| Плетенный и свитый с двойными петлями | Диаметр основы 3,5 см, петля 4,5...5см, 620 петель на м |  | 0,25 | 11 757 ± 240 |

Для предотвращения потерь мидий в связи с их опаданием с субстрата, поверх друз как правило надевают чехлы из сетного полотна. Такие конструкции служат дополнительным субстратом для закрепления бисусных нитей моллюсков, что повышает надежность их закрепления на коллекторе и снижает процент потерь в среднем на 50–70% [7, 12].

3. ОСОБЕННОСТИ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ НА БЕЛОМ МОРЕ

3.1. Характеристика бассейна Белого моря

3.1.1. Географическое положение, морфометрия и климат

Белое море — внутриматериковое море, относящееся к бассейну Северного Ледовитого океана, самое южное из северных морей. Через пролив Горло Белое море соединяется с Баренцевым (см. Рис.18). Его площадь равна 90 тыс. км², объем 6 тыс. км³, средняя глубина 67 м, наибольшая глубина 350 м (последнее делает его одним из самых мелководных морей). Рельеф дна Белого моря характеризуется как сложный. Самые глубокие районы моря — Бассейн и Кандалакшский залив, во внешней части которого отмечена максимальная глубина. Имеется плавное понижение глубины от устья к вершине Двинского залива, мелководным является и Онежский залив. Дно Горла моря представляет собой подводный желоб глубиной около 50 м, вытянутый вдоль пролива несколько ближе к Терскому берегу. Северная часть моря наиболее мелководна, ее глубины не превышают 50 м [5].

Положение этого моря на севере умеренного пояса и частично за Полярным кругом, принадлежность к Северному Ледовитому океану, близость Атлантического океана и почти сплошное кольцо окружающей его суши обуславливают как морские, так и континентальные черты в климате моря, что делает климат Белого моря переходным от океанического к материковому. Влияние океана и суши в большей или меньшей степени проявляется во все времена года. Зима на Белом море продолжительная и суровая, лето — прохладное и умеренно влажное [5].



Рис. 18. Карта Белого моря [58]

3.1.2. Гидрология

Белое море — одно из холодных арктических морей, что связано не только с его положением в высоких широтах, но и протекающими в нем гидрологическими процессами. Распределение температуры воды на поверхности и в толще моря характеризуется большим разнообразием от места к месту и значительной сезонной изменчивостью. Зимой температура воды на поверхности равна температуре замерзания и имеет порядок $-0,5$ — $0,7^{\circ}$ в заливах, до $-1,3^{\circ}$ в Бассейне и до $-1,9^{\circ}$ в Горле и северной части моря. Эти различия объясняются неодинаковой соленостью в разных районах. Весной после освобождения моря ото льда происходит быстрое нагревание поверхности воды. Летом лучше всего прогрета поверхность сравнительно мелководных заливов. Температура воды на поверхности Кандалакшского залива в августе равна в среднем $+14$ — 15°C , в Бассейне $+12$ — 13°C . Самая низкая температура на поверхности наблюдается в Воронке и Горле, где сильное перемешивание охлаждает поверхностные воды до $+7$ — 8°C . Осенью идет быстрое охлаждение моря, и пространственные различия температуры сглаживаются [5].

Соленость Белого моря ниже средней солености океана. Ее величины неравномерно распределяются на поверхности моря, что обусловлено особенностями размещения речного стока, половину которого дает Северная Двина, а также поступлением вод из Баренцева моря и переносом вод морскими течениями. Солености обычно увеличиваются от вершин заливов к центральной части Бассейна и с глубиной, хотя в каждый сезон наблюдаются свои особенности распределения. Зимой соленость на поверхности повсеместно повышена. В Горле и Воронке она равна 29,0—30,0‰, а в Бассейне 27,5—28,0‰. Наиболее опреснены устьевые области рек. Весной поверхностные воды значительно опреснены (до 23,0‰, а в Двинском заливе до 10,0—12,0‰) на востоке и гораздо меньше (до 26,0—27,0‰) на западе. Это объясняется сосредоточением основной части речного стока на востоке, а также выносом льдов с запада, где они образуются, но не тают, поэтому не оказывают опресняющее действие [5].

Горизонтальная циркуляция вод Белого моря складывается под совокупным воздействием ветра, речного стока, приливов, компенсационных потоков, поэтому она разнообразна и сложна в деталях. Движущиеся воды прижимаются к правому берегу и из Двинского залива уходят вдоль Зимнего берега в Горло. У Кольского берега проходит течение из Горла в Кандалакшский залив, из которого воды перемещаются вдоль Карельского берега в Онежский залив и вытекают из него у его правого берега. Скорости постоянных течений невелики и обычно равны 10—15 см/с, в узкостях и у мысов они достигают 30—40 см/с [5].

Белое море принадлежит к числу бурных морей, в нем преобладают волны высотой до 1 м. Изредка они достигают высоты 3 м и как исключение 5 м. Уровень Белого моря испытывает периодические полусуточные приливные колебания (средняя высота прилива — 3 м, максимальная — 7 м) (см. Рис.19) и непериодические сгонно-нагонные изменения. Наибольшие нагоны наблюдаются в осенне-зимний сезон при северо-западных и северо-

восточных ветрах. Подъем уровня может достигать 75—90 см. Самые сильные сгоны отмечаются зимой и весной при юго-западных ветрах. Уровень в это время понижается на 50—75 см [5].



Рис. 19. Течения на поверхности и характер приливов Белого моря: 1 - полусуточные; 2 - полусуточные мелководные [5]

Белое море относится к морям с сезонным ледяным покровом, начало ледообразования приходится на конец октября, полное освобождение акватории от ледового покрова — на май, иногда на середину июня. Льды Белого моря на 90% плавучие. Все море покрывается льдом, но это не сплошной покров, а постоянно дрейфующий лед, местами сгущенный, а местами разреженный под влиянием ветров и течений. Как правило, плавучий лед имеет толщину 35—40 см, но в суровые зимы может достигать 135 и даже 150 см. Припай в Белом море занимает очень маленькую площадь, ширина его не превышает 1 км [5].

3.1.3. Гидрохимия

Вода Белого моря богато насыщена растворенным кислородом. В начале лета в поверхностных слоях наблюдается пересыщение кислородом, составляющим 110—117%. К концу этого сезона под влиянием бурного

развития зоопланктона содержание кислорода понижается. В глубинных слоях количество растворенного кислорода составляет в течение года 70—80% насыщения [5].

Для режима биогенных веществ характерно сохранение стратификации круглый год. Количество фосфатов увеличивается ко дну. Повышенное содержание нитратов отмечается в области «полюса холода», весной и летом наблюдается обычно истощение биогенных солей в зоне фотосинтеза. Особенностью гидрохимии вод Белого моря является исключительное богатство их силикатами, что связано с обильным речным стоком, с которым в море попадает много кремния [5].

3.2. Биологические особенности съедобной мидии *Mytilus edulis* L. 1758

3.2.1. Систематическое положение

Съедобная мидия, или обыкновенная мидия (*Mytilus edulis*) — наиболее распространённый и изученный вид среди представителей рода *Mytilus* в мире, один из двух видов мидий, встречающихся в северных морях России. По современным представлениям в настоящий момент его систематическое положение описывается следующим образом:

- царство — Животные (Animalia);
- тип — Моллюски (Mollusca);
- класс — Двустворчатые моллюски (Bivalvia);
- подкласс — Настоящие пластинчатожаберные (Autobranchia);
- отряд — Мидиеобразные (Mytilida);
- семейство — Mytilidae;
- род — *Mytilus*;
- вид — мидия съедобная (*Mytilus edulis* Linneus, 1758) [64].

3.2.2. Ареал обитания

Вид относится к арктическо-бореальным, распространён практически повсеместно. В Северном Ледовитом океане обширные скопления съедобных мидий характерны для Баренцева и Белого морей, также моллюски встречаются в Карском и Чукотском морях, однако не образуют «зарослей». В Тихом океане вид обитает в Беринговом и Охотском морях. В Атлантическом океане мидии встречаются как у европейского (южная граница ареала расположена в Бискайском заливе, вид также распространён в Балтийском море), так и у американского побережья (от моря Баффина до северной оконечности полуострова Флорида) (см. Рис.20) [22, 49].

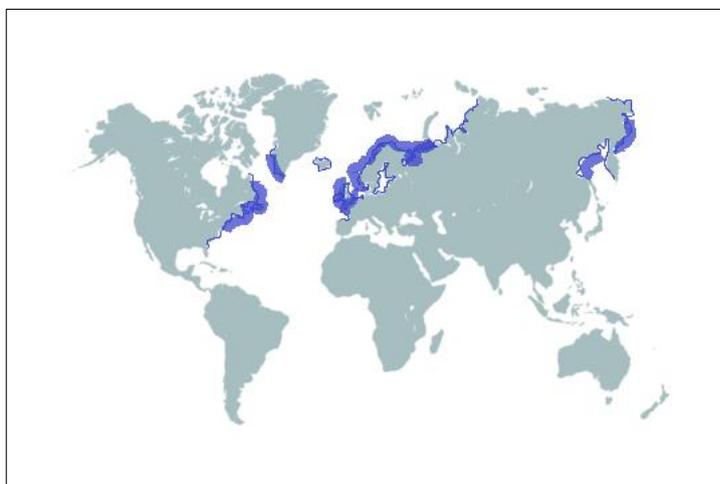


Рис. 20. Ареал распространения мидии *Mytilus edulis* [63]

3.2.3. Биологическая характеристика

Съедобная мидия *Mytilus edulis* — единственный нативный представитель рода *Mytilus* в северных морях России. Раковина этого моллюска имеет иссиня-чёрный, реже тёмно-коричневый цвет, клиновидная, обладает гладкой поверхностью. Периостракум чёрный, тёмно-коричневый, иногда зеленоватый, перламутровый слой белый с широкой фиолетовой или тёмно-синей полосой по краю. Задний конец раковины лопатообразный, шире переднего, маленькие заострённые макушки расположены на самом переднем краю (см. Рис.21). Характерной чертой является мощное развитие биссуса, в месте его выхода раковина обычно слегка вдавлена. Средняя

длина взрослых особей составляет 5–7 см, иногда достигает 10 см и более. Средняя масса составляет около 10–20 г [22].

Обитает съедобная мидия на литорали и в верхних горизонтах сублиторали, весьма обычна для глубин 10–40 м, в отдельных случаях встречается на глубинах свыше 60 м. Изобилует в заливах и кутах губ, где, закрепляясь на скалистых субстратах или каменистых вкраплениях илисто-песчаных грунтов, образует мощные заросли, называемые банками. Биомасса мидий в таких скоплениях может достигать 20 кг/м² и более [22].

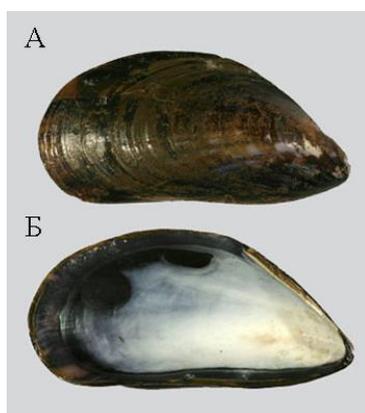


Рис. 21. Раковина мидии *Mytilus edulis*: А - внешняя сторона, Б - внутренняя сторона [64]

Диапазон температур, которые *Mytilus edulis* способен переносить, составляет от 0-2 до 20-25°C [49]. Солёностная толерантность данного вида превосходит таковую у многих других моллюсков — взрослые особи способны переносить полное опреснение в течение 2 недель, диапазон солёности, к которой моллюск может адаптироваться, составляет 4-40‰ [43]. Также съедобная мидия хорошо переносит краткосрочную аноксию и полное осушение в течение 10 суток за счёт как физиологических (смыкание створок), так и биохимических адаптаций [43, 49].

3.2.4. Жизненный цикл

Съедобные мидии — раздельнополые моллюски, не обладающие выраженным половым диморфизмом. Цвет гонад варьирует от кремового до оранжево-красного, прямая корреляция между полом моллюска и цветом его

половых органов отсутствует [15]. Половой зрелости они достигают при размере 2,5–3,0 см в возрасте 2–3 лет. Средняя плодовитость приходится на диапазон 350–500 тыс. ооцитов на самку (плодовитость литоральных мидий ниже, так как они подвергаются большему стрессу со стороны окружающей среды) [16]. Сезон размножения у съедобных мидий, обитающих в беломорском регионе, один и наступает только после повышения температуры воды до 10-13°C, что обычно соответствует периоду с конца июня по август [15].

Развитие съедобной мидии идёт путём, схожим с описанным ранее путём развития мидии средиземноморской мидии, основные различия проявляются в размерах и скорости перехода от стадии к стадии: съедобная мидия мельче и на ранних стадиях развивается быстрее, скорее всего, в связи с более суровыми условиями обитания (низкими температурами, ограниченным развитием кормовой базы). Временные рамки и краткая характеристика основных этапов развития личинки приведена в Табл.3. Средний размер оплодотворённого яйца *M. edulis* составляет около 67 мкм. Пигментные пятна («глазки») появляются у личинок, достигших 220–230 мкм, диаметр таких пятен составляет от 5 до 7 мкм. Развитая нога может быть замечена у личинки длиной 195–210 мкм, активную двигательную функцию орган начинает выполнять у особей длиной от 215 до 240 мкм. Готовые к метаморфозу педивелигеры достигают в среднем 250 мкм. Общая продолжительность пелагической фазы для *M. edulis* — от 15 до 35 дней, продолжительность поиска педивелигером подходящего для оседания субстрата может достигать 1 месяца [12].

Средняя продолжительность жизни взрослого моллюска составляет 5–6 лет, в сублиторальных сообществах возраст мидий может достигать 10 лет и более. Источником питания для мидии служат планктонные организмы (главным образом фитопланктон и детрит), добываемые за счёт фильтрации воды [49].

Таблица 3. Стадии личиночного развития мидии *Mytilus edulis* [12]

| Стадии | Период развития | Характеристика |
|-----------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------|
| Оплодотворение | 0 ч | Зигота |
| Бластула | 8–10 ч | Начало активного движения |
| Трохофора | 25–30 ч | Выворачивание раковинной железы |
| Формирующийся велигер | 30–40 ч | Парус, мышцы-ретракторы паруса, закладка ганглиев, раковина |
| Велигер | 2,5–3 сут. | Передний аддуктор, печень, протонефридии, пигментное пятно |
| Педивелигер | 20–40 сут. | Нога, задний аддуктор, зачатки жабр, оседание |

3.3. Особенности технологии товарного выращивания мидии *Mytilus edulis* в Белом море

3.3.1. Краткое описание технологии выращивания

Технология выращивания мидий состоит из трёх основных этапов: сбор спата, подращивание спата до товарного размера и изъятие товарной мидии. Общая схема проведения процессов сбора посадочного материала, его подращивания и получения товарной продукции при выращивании *Mytilus edulis* остается такой же, какой была в черноморском регионе при выращивании *M. galloprovincialis* (см. Рис.22). Основным отличием между технологиями на Чёрном и Белом морях будет продолжительность этапа подращивания. Причиной этому служат низкие температуры северного региона, из-за которых рост моллюсков идёт значительно медленнее, чем в теплых южных водах. В отличие от указанного ранее периода в 13–15 месяцев, полный цикл выращивания мидии до товарного размера на Белом море занимает порядка 3–4 лет [51].



Рис. 22. Схема товарного выращивания *Mytilus edulis* [ФАО]

Гидрологические условия Белого моря требуют от мидиевых хозяйств соответствующих адаптаций. Так, большие колебания между приливами и отливами могут приводить к потере мидий при соприкосновении субстратов для подращивания с дном при недостаточной глубине за счет отрыва моллюсков от субстрата и налипания на коллектор морских звезд. Поэтому при стандартной длине субстрата порядка 3 м, глубина участка, на котором размещается хозяйство, должна быть не менее 6 м по отливу [12]. Также расположение субстратов требуется корректировать в связи с замерзанием Белого моря в зимний период. Испытания на экспериментальных хозяйствах показали, что эффективным методом является заглубление коллекторов на глубину 2 м от поверхности воды на период с конца октября для предотвращения истирания их льдом и поднятие коллекторов в верхние слои в период таяния льдов для избавления их от морских звезд. Однако перевод технологии в промышленные масштабы показал, что изменение глубины расположения коллекторов является слишком трудоемким процессом, который приводит в том числе к повышению себестоимости конечной продукции. В связи с этим более распространенным вариантом ведения

хозяйства является стационарное размещение субстратов на глубине 1–1,5 м [12, 34].

3.3.2. Примерный календарный план выращивания

На Белом море временные рамки основных производственных этапов сильно отличаются от таковых на Черном море в связи с особенностями климата, включающими в том числе низкие температуры воздуха и воды и продолжительный ледостав. Как уже было упомянуто ранее, общий процесс подращивания мидий занимает порядка 3–4 лет. В связи с особенностью цикла размножения съедобной мидии, заключающейся в наличии лишь одного пика нереста, сбор спата на МХ проводится раз в год, в июле–августе (временные рамки могут сдвигаться в зависимости от температурного режима акватории и состояния естественных популяций). Изъятие товарной мидии и, соответственно, ее транспортировка и переработка в основном приходится на период, когда поверхность моря свободна ото льда, так как в остальные периоды его наличие усложняет работу водолазов и поднятие коллекторов. Изъятию подлежат коллекторы с моллюсками, достигшими товарного размера ($L=5$ см), а также удовлетворительных значений ИК.

Таблица 4. Календарный план товарного выращивания мидии *Mytilus edulis*

| Название этапа | Месяцы | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------|--------|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Сбор молоди (спата) | | | | | | | | | | | | |
| Дорращивание мидий до товарного размера | | | | | | | | | | | | |
| Основной период изъятия товарной мидии | | | | | | | | | | | | |
| Транспортировка на берег, сортировка, очистка мидии, переработка | | | | | | | | | | | | |

3.3.3. Контроль состояния выращиваемой культуры мидий

Сообщество организмов-обрастателей в Белом море по общему числу видов значительно беднее, чем в Черном. Это в среднем снижает конкуренцию между личинками мидий и другими организмами при оседании первых на поверхность субстратов для подращивания при сравнении двух регионов. Основными организмами, конкурирующими с мидиями за субстрат, в исследуемом районе являются асцидия *Styela rustica*, двустворчатый моллюск *Hiatella arctica*, гидроидный полип *Obelia longissima* и усоногий рак *Balanus crenatus* [9, 12]. Борьба с ними осуществляется либо путем снятия обрастателей водолазами, либо путем поднятия коллекторов на воздух примерно на сутки (последнее не оказывает негативного воздействия на мидий, так как они крайне устойчивы к высыханию) [12].

Помимо увеличения конкуренции, обрастание субстратов может оказывать и положительное воздействие на выращивание съедобной мидии: ряд исследований показал, что личинки *M. edulis* предпочитают оседать на субстраты, на которых присутствуют нитчатые водоросли [2]. Следовательно, правильно подобранное время размещения коллекторов позволит привлечь больше спата на искусственные субстраты за счет их заселенности нитчатой водорослью, при этом избежать высокой конкуренции личинок мидий с другими крупными организмами-обрастателями. Как правило, в Белом море, как и в Черном, коллекторы выставляются в море не ранее чем за 2 недели до предполагаемого начала нереста мидий в естественной среде, спустя 2–3 недели на субстратах формируется достаточно устойчивое сообщество мидий [12].

К числу паразитов съедобной мидии, обитающих в бассейне Белого моря, относятся представители разных групп живых организмов. Как и в Черном море, значительную долю среди них составляют метацеркарии трематод, при этом в зависимости от родовой принадлежности отличается их место локализации в теле моллюска. Так, метацеркарии рода *Gymnophallus*

преимущественно встречаются в мантийной складке мидии, для рода *Himasthla* характерна локализация в ноге и крае мантийной складки, а для рода *Renicola* — в печени. Помимо трематод, на беломорской мидии также паразитируют инфузории *Ancistrum mytili* и *Peniculistoma mytili*, одноклеточные водоросли рода *Choricystis*, поражающие край мантийной складки моллюсков, задний аддуктор и гонады, а также турбеллярии. Из особую опасность представляют виды *Notoplana automata* и *Convoluta convoluta*, активно элиминирующие молодь мидий [9, 12].

Как и в случае с черноморским регионом, основной мерой борьбы с паразитическими заболеваниями является паразитологический контроль естественных и искусственных популяций в границах МХ [12].

Для Белого моря основным хищником (помимо донных рыб), влияющим на элиминацию как естественных, так и искусственных поселений мидии является морская звезда *Asterias rubens*. Помимо непосредственного поедания моллюсков, эти организмы также оказывают и косвенное негативное влияние на объект культивации. Так, в присутствии метаболитов морских звезд у мидий замедляется процесс роста, а объем прироста мягких тканей снижается в пользу развития утолщенной раковины. Кроме того, присутствие хищников провоцирует развитие чрезмерно уплотненных популяций моллюсков, что в условиях культивирования часто приводит к их опаданию с субстратов из-за неспособности биссусных нитей выдержать вес таких скоплений [34].

Ущерб от морских звезд для мидиевых ферм в значительной степени сокращается, если субстраты для подращивания моллюсков не касаются дна. Кроме того, морские звезды плохо переносят опреснение, поэтому в случае поднятия коллекторов в поверхностные слои воды в период таяния зимних льдов, хищники, попавшие на субстраты в период зимнего заглубления конструкций, сами собой открепятся от мидиевых друз [51].

3.3.4. Экологические последствия товарного выращивания мидий

Как и в случае черноморского региона, МХ, являясь большим скоплением моллюсков-фильтраторов, становится источником поступления в воду большого количества избыточного органического вещества (см. Рис.23). Часть взвешенного вещества будет равномерно распределяться по акватории за счет течений, однако значительные объемы могут накапливаться на дне под коллекторами. В среднем с МХ с сырой массой моллюсков на коллекторах порядка 200 т в воду ежедневно поступает около 300 кг сухого органического вещества, которое изменяет физико-химические характеристики грунта, что в свою очередь приводит к появлению структурных изменений в бентосных сообществах [34].

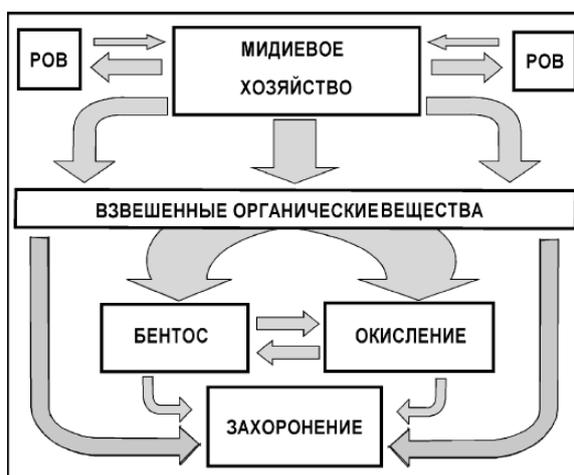


Рис. 23. Принципиальная схема движения органических веществ, выделяемых подводным мидиевым хозяйством [34]

В случае, если концентрация органического вещества в грунте порядка 2–5%, сообщество находится в состоянии, близком к естественному, однако по мере возрастания концентрации органики происходит смещение доминантных групп от моллюсков к полихетам, которые более устойчивы к органическому загрязнению (см. Табл.5). При содержании органики более 9% в сообществе около 90% биомассы приходится на два вида наиболее устойчивых к загрязнению полихет, моллюски практически полностью отсутствуют [34]. Помимо сокращения видового разнообразия, избыток органического вещества приводит к активному использованию кислорода в

связи с затратами на окисление органики, что может приводить к дефициту кислорода в придонном слое воды вплоть до возникновения заморных явлений [34].

Таблица 5. Пример сукцессии донных сообществ под коллекторами МХ [Примаков]

| Концентрация органического вещества, % | Основные виды моллюсков | Основные виды полихет |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2–5 | <i>Arctica islandica</i> , <i>Elliptica elliptica</i> , <i>Macoma calcarea</i> (общая доля 50%) | <i>Praxillella praetermissa</i> , <i>Terebellides stroemi</i> , <i>Chaetozone setosa</i> , <i>Scoloplos armiger</i> , <i>Pectinaria hyperborea</i> (3–10% на вид) |
| 4–7 | <i>E. elliptica</i> , <i>M. calcarea</i> | <i>P. hyperborea</i> (25%), <i>Maldane sarsi</i> , <i>P. praetermissa</i> , <i>T. stroemi</i> , <i>C. setosa</i> , <i>S. armiger</i> |
| 8–9 | — | <i>P. praetermissa</i> , <i>C. setosa</i> , <i>S. armiger</i> , <i>M. sarsi</i> , <i>Lumbrinereis fragilis</i> , <i>Aricidea nolani</i> , <i>Capitella capitata</i> , <i>Scalibregma inflatum</i> (5–10% на вид) |
| >9 | — | <i>C. capitata</i> (80%), <i>Scalibregma inflatum</i> (5–10%) |

Для предотвращения крайней степени негативного воздействия МХ на окружающую среду требуется:

- учитывать гидрологические условия (скорость и направление течений) и рельеф дна на этапе планирования МХ, так как эти параметры не только определяют распределение спата мидий в период нереста и кормовых ресурсов на этапе их культивирования, но и степень сноса и накопление в грунте взвешенных органических, поступающих с коллекторов;

- проводить ежегодный мониторинг состояния окружающей среды для определения степени воздействия на нее МХ и раннего выявления экологических проблем [34].

Эффективным методом борьбы с загрязнениями, поступающими с МХ в Белом море, будет размещение коллекторных линий в шахматном порядке и периодическое перемещение сооружений в пределах рыбоводного участка. Также возможно извлечение осадков из-под коллекторов с целью использования их в качестве сельскохозяйственных удобрений.

3.4. Технические устройства для товарного выращивания мидий в Белом море

3.4.1. Конструкции для товарного выращивания мидий

Помимо температурного режима, Белое море имеет ряд гидрологических особенностей, из-за которых появляются некоторые различия в используемом в процессе культивирования мидий оборудовании. Основной проблемой является ледовый покров, сохраняющийся около 6–7 месяцев в году, а также высокие уровни приливов и отливов, препятствующие жесткому закреплению конструкций для выращивания мидий в грунте, как на Рис. 11 [5, 51]. В связи с этим препятствием главной особенностью технологии выращивания мидий в северных районах становится использование в качестве конструкционных единиц плотов-коллекторов, на зиму вмерзающих в ледовый покров, на которых закрепляются субстраты (см. Рис. 24). Основу типовой конструкции такого плота составляют 8 полиэтиленовых труб диаметром 200 мм, концы каждой из которых закрываются пластиковыми пробками. Трубы связываются в прямоугольники с помощью досок. В среднем на один такой плот подвешивается порядка 11 секций с субстратами для оседания и подращивания мидий [17].

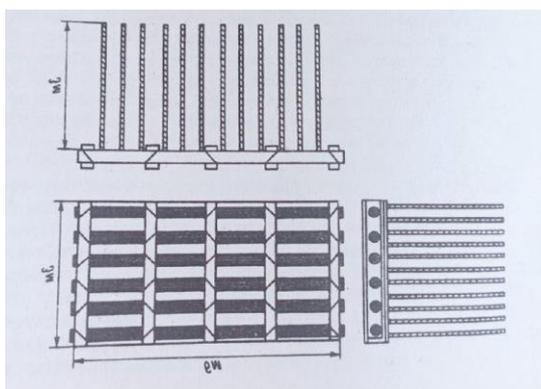


Рис. 24. Схема организации плота для выращивания мидий [17]

К недостаткам использования плотов можно отнести высокую (в сравнении с линейной технологией) стоимость их изготовления, которая может влиять на увеличение стоимости товарной мидии. Также следует отметить, что плоты-коллекторы имеют большее количество ограничений по месту установки в сравнении с линейным выращиванием: так как они обладают низкой степенью устойчивости к ветровому воздействию, использование плотов ограничено районами с высоким уровнем защищенности от штормов (заливами и бухтами с волнением не выше 2 баллов) [17].

Также широкое распространение для выращивания мидии на Белом море получили варианты систем типа «лонглайн» (см. Рис.24), буи для которых способны переносить вмерзание в лед в зимний период. По конструкции такие коллекторы не сильно отличаются от их аналогов на Чёрном море, описанных ранее, и разделяют их преимущества в виде простоты изготовления и легкости обслуживания [59].



Рис. 24. Плантация для выращивания мидии на Белом море [55]

3.4.2. Коллекторы для выращивания мидий

Критериями при выборе определенного вида коллекторов являются следующие основные требования:

- материал, из которого сделан коллектор, должен быть химически инертным и не отторгаться личинками мидий;
- коллектор должен быть достаточно прочным, чтобы выдерживать наибольшую расчетную нагрузку в условиях максимальных для конкретного района волнения и течений;
- выращиваемые мидии не должны сползать с коллектора под тяжестью друз во время всего периода выращивания;
- при снятии мидий с коллектора механическим путем последний не должен повреждаться, чтобы его можно было использовать повторно [17].

Как и на Черном море, основным типом коллекторов, используемых на хозяйствах, являются веревочно-субстратные конструкции. Помимо уже описанных вариантов со специальными вставками могут быть использованы более «кустарные» варианты. Например, коллектор может представлять собой сплетенный строповым узлом канат (см. Рис.25). Конструкция такого узла в теории допускает снятие мидий с коллектора путем пропускания его через фильеру, что в теории позволяет механизировать процесс сборки урожая [17].

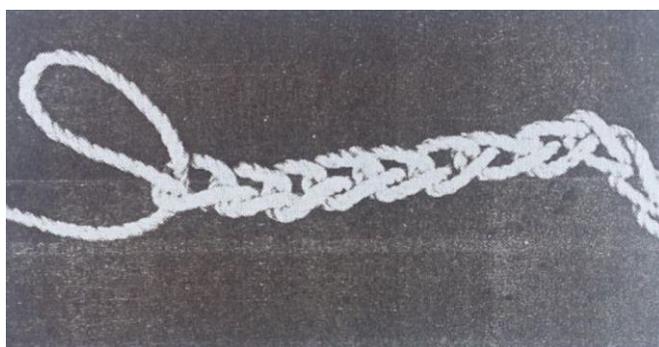


Рис. 25. Коллектор, сплетенный строповым узлом из капронового каната диаметром 25-30 мм [17]

4. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ РОДА *MYTILUS* В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

4.1. Современное состояние товарного выращивания мидий в России и мире

Средний мировой объем товарного выращивания мидий в аквакультуре за период с 2017 по 2022 гг. составляет 2 050 531 тонн сырого мяса (см. Табл.6). Всего известно 12 культивируемых видов мидий, среди них виды *Mytilus edulis* и *M. galloprovincialis*, исследуемые в рамках данной работы, занимают соответственно 2 и 5 места по объемам выращивания. Съедобная мидия составляет порядка 19% от общего объема производства мидий в мире, средиземноморская (она же черноморская) — около 5% [19, 20]. Мидии поступают на рынок в мороженом виде или сырыми, реже сушеными, солеными или копчеными [21].

Таблица 6. Объем мирового производства мидий в аквакультуре за 2017-2022 гг. [19, 20]

| Год | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Объем производства, т | 2 068 061 | 2 092 485 | 2 031 526 | 2 045 622 | 2 014 966 | 1 927 438 |

Основными странами, являющимися источниками мидиевого мяса на мировом рынке, являются Китай, Чили и Испания, при этом в Чили главным образом выращивается зеленая мидия, не принадлежащая к роду *Mytilus*. В объемы производства съедобной мидии помимо Испании и Китая значительный вклад вносят Франция, Нидерланды, Канада, Ирландия и Германия (см. Рис.26), для средиземноморской мидии значимыми странами производителями являются Италия, Греция, Франция, Турция и ЮАР (см. Рис.27) [19, 20].

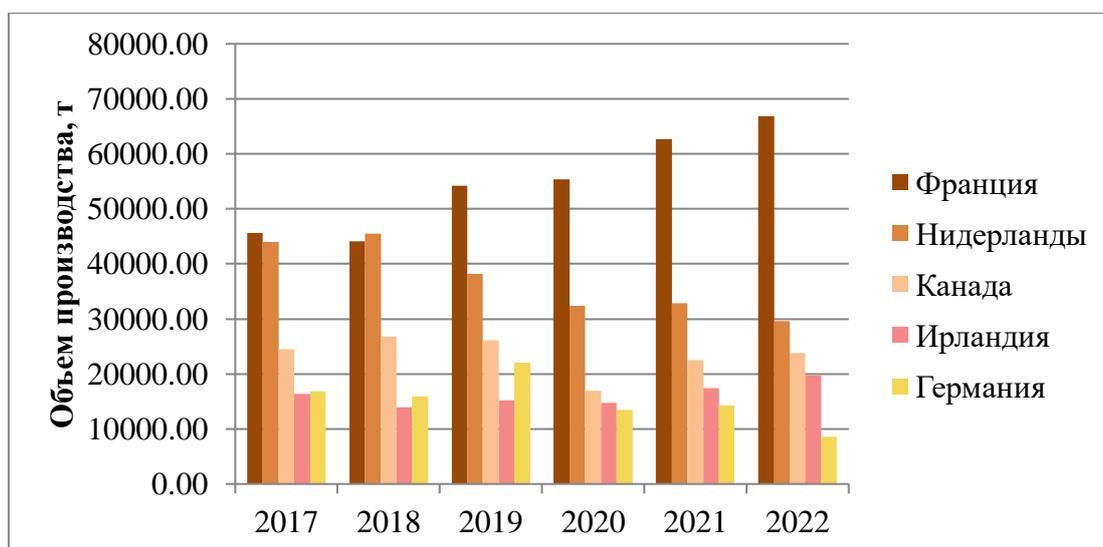


Рис. 26. Производство съедобной мидии *Mytilus edulis* основными странами-производителями (кроме Китая и Испании) за 2017-2022 гг. [19, 20]

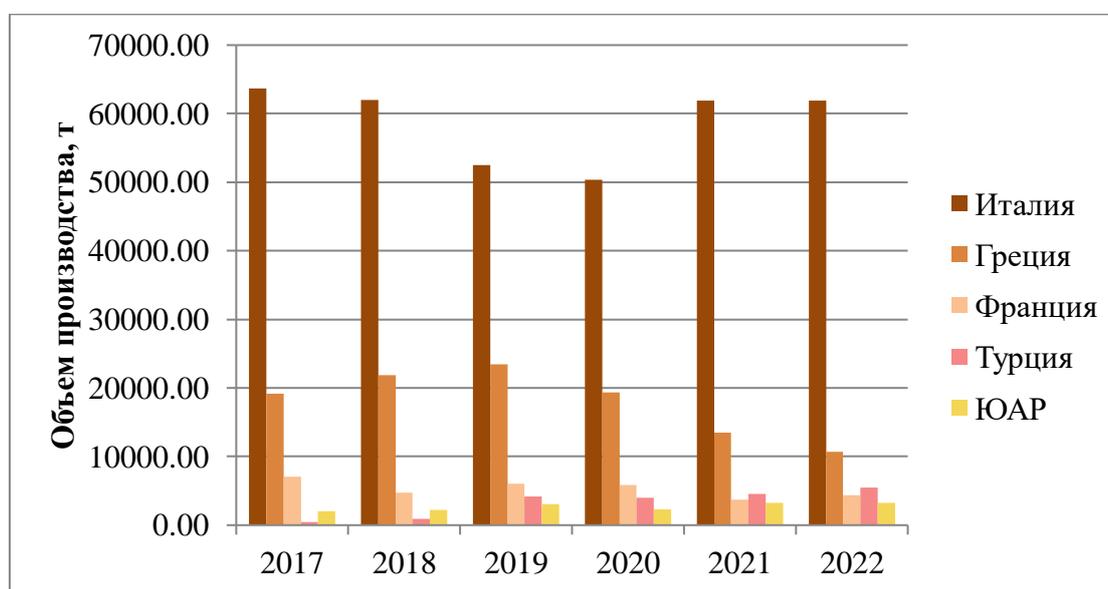


Рис. 27. Производство средиземноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* основными странами-производителями (кроме Китая и Испании) за 2017-2022 гг. [19, 20]

Толчок к развитию мидиеводства в России дало появление в 2014 году продэмбарго, практически полностью перекрывшего поставки мидии из европейских стран, например, Испании. На данный момент из всего объема мидий, производимого на территории страны, около 96% приходится на товарное выращивание (см. Табл.7). Основные районы культивирования сосредоточены на территории Дальнего Востока (более 60% от общего объема). Второе место по объемам производства занимает бассейн Чёрного

моря: хозяйства Краснодарского края, республики Крым и г. Севастополь (~ 35% от общего объема). В Белом море расположены единичные хозяйства по выращиванию мидий с чрезвычайно малыми объемами производства, удовлетворяющие в первую очередь потребности местного ресторанного бизнеса [39–42, 53, 54].

Таблица 7. Объем товарного выращивания мидий в регионах России в 2019-2023 гг. [39–42]

| Год | Объем товарного выращивания мидий в регионе, т | | |
|------|------------------------------------------------|-------------|------------|
| | Дальний Восток | Черное море | Белое море |
| 2019 | 1277 | 680 | 14 |
| 2020 | 2129 | 1103 | 8 |
| 2021 | 2121 | 1584 | 35 |
| 2022 | 2328 | 1588 | 90 |
| 2023 | 2802 | 1294 | 20 |

4.2. Перспективы развития товарного выращивания мидий рода *Mytilus* в европейской части России

4.2.1. Развитие технологий товарного выращивания

Первым из перспективных направлений для развития технологий товарного выращивания мидий является переход от полуциклических хозяйств к полноценным, то есть изучение возможности получения мидиевого спата в искусственных условиях. Так, например, в 2019 году был запатентован инновационный способ сбора и очистки половых клеток мидий *Mytilus galloprovincialis* [28]. Использование газ-сит (112 и 56 мкм для яйцеклеток, 56 мкм для сперматозоидов) в сочетании с многоступенчатым центрифугированием позволяет получать чистые суспензии с высокими концентрациями половых клеток. Это позволяет повысить эффективность искусственного оплодотворения, которая в свою очередь значительно сказывается на эффективности получения спата моллюсков в искусственных

условиях. Вероятно, схожая технология может быть применима и для северных регионов при условии ее адаптации под особенности культивируемой там *M. edulis*. Возможность успешного получения молоди в искусственных условиях является даже более актуальной для этих регионов. В северных морях репродуктивный сезон у мидий значительно короче, чем в южных, следовательно, искусственное оплодотворение позволит увеличить объемы выращиваемых моллюсков за счет увеличения количества спата. К тому же, искусственное получение молоди в условиях полноциклических хозяйств позволит устранить такой фактор влияния МХ на окружающую среду, как изъятие молоди мидий из дикой природы.

Второе направление развития товарного выращивания мидий напрямую связано с первым. Искусственное оплодотворение мидий в теории позволяет проводить этап подращивания молоди, на который приходится значительный процент отхода выращиваемых моллюсков, в специализированных питомниках. Еще в 2008 году была разработана технология, переносящая ключевые этапы развития *M. galloprovincialis* (нерест, личиночное развитие, оседание спата) в контролируемые условия [26]. Согласно данным, изложенным в патенте, при соблюдении условий возможно увеличить выживаемость молоди мидий до 90%. Использование питомников позволяет увеличить продуктивность МХ за счет увеличения количества выращиваемых моллюсков, а также снижает негативное воздействие хозяйства на среду, так как сокращает время пребывания мидий в море. Последний пункт может оказаться весьма актуальным и для северных регионов: подращивание молоди *M. edulis* в контролируемых условиях в теории позволит сократить продолжительность выращивания, что в свою очередь может повысить рентабельность МХ.

Для северных районов интересным направлением развития конхокультуры может стать стимулирование роста культивируемых моллюсков за счёт концентрированных метаболитов. Существует метод ускорения роста мидий в северных морях (Баренцево, Белое) за счет

воздействия на них метаболитов естественных популяций, подвергнутых стрессу (прореживание 5–20% колонии или климатические колебания) [24]. По данным исследования, метод увеличивает скорость роста моллюсков на 30–50% и повышает долю мяса в раковине до 40–60%. Это особенно важно для северных регионов, так как короткое гидрологическое лето приводит к тому, что значительную часть года мидии не растут, что увеличивает продолжительность культивирования.

С точки зрения снижения экологического воздействия аквакультуры на окружающую среду и повышения рентабельности производства, перспективным является выращивание мидии в би- и поликультуре с, например, атлантическим лососем и/или ламинарией [30, 35]. Поликультура позволяет более рационально использовать акваторию и кормовую базу, а при правильной организации позволяет снизить негативное воздействие хозяйства на окружающую среду: мидии, являясь природными фильтраторами, могут поглощать из воды продукты жизнедеятельности рыб, а водоросли способны усваивать избыток органического вещества, не задействованных в кормовой цепи (см. Рис.28). Кроме того, выращивание мидий в сочетании с другими видами повышает рентабельность хозяйства за счет диверсификации продукции.

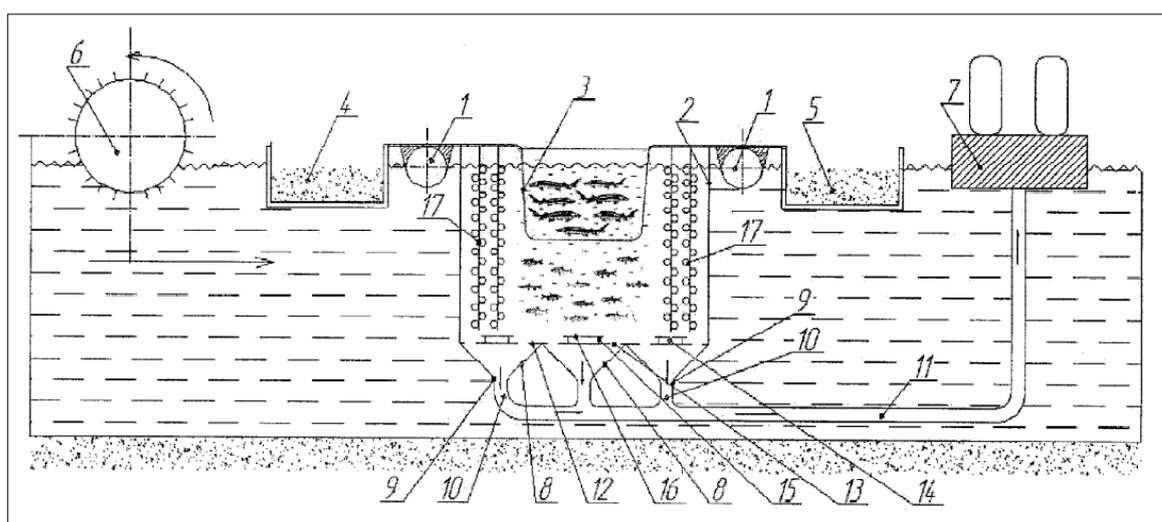


Рисунок 28. Полезная модель биотехнологического комплекса для выращивания водных объектов: 1 – понтоны; 2 – основной садок; 3 – дополнительный садок; 4-5 – культиваторы для выращивания водных растений и водорослей; 6 – аэратор; 7 – станция

обезвоживания; 8-13 – система сбора донного осадка; 14-16 – убежища для раков; 17 – коллекторы для выращивания двустворчатых моллюсков [30]

Помимо развития технологий, используемых на МХ европейской части России, интерес для отрасли представляет освоение новых акваторий. В связи с экологической обстановкой, сложившейся в результате разлива нефти на Черном море, это направление приобрело дополнительную актуальность. На данный момент наиболее перспективным считается развитие мидиеводства в Баренцевом море, где имеется достаточное количество районов, где гидрологические условия оптимальны для эффективного выращивания моллюсков по технологии, близкой к беломорской [47, 56]. Кроме того, существуют данные, указывающие на возможность развития мидиеводства (выращивания *M. edulis*) в Гданьском заливе Балтийского моря, однако эта теория требует практического подтверждения [60].

4.2.2. Развитие технологий переработки мидий

Развитие товарного выращивания мидий связано как с технологическим, так и с экономическим аспектом: рентабельность производства может быть повышена за счёт расширения ассортимента продукции, изготавливаемой из мидий. Помимо очевидного варианта с популяризацией продуктов питания, изготовленных из данных моллюсков, можно также рассмотреть такие области применения мидий, как фармакология и очистка загрязнённых вод.

Благодаря высокому содержанию в организме мидий различных биологически активных веществ, эти моллюски представляют большой интерес в качестве фармакологического сырья. Спектр потенциального применения мидий в фармакологии весьма велик. Ниже перечислены некоторые варианты:

- изготовление биологически активных добавок (БАД): различные исследования указывают на высокую эффективность мидий в качестве сырья для получения препаратов, насыщенных полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), а также аминокислотами,

каротиноидами и тестостероном, эффективных для поддержания физиологического статуса и репродуктивной активности человека [29];

- изготовление противовирусных препаратов: опытные исследования показали, что мидийный гидрализат оказывает угнетающее воздействие на вирус гриппа, снижая его инфекционную активность, при чем серия опытов *in vivo* на мышах и морских свинках показала, что эффективным может быть и профилактическое применение препарата [38];
- изготовление противоопухолевых препаратов: препараты, изготовленные из гонад мидий, обладают высокой противоопухолевой активностью и низкой токсичностью, что делает их потенциальным сырьем для лечения онкологических заболеваний [27].

Помимо фармакологии, интересной областью применения культивируемых мидий является очистка естественных водоемов. Мидии являются мощными природными фильтраторами. Одна взрослая особь может профильтровать до 20–50 литров воды в сутки, поглощая взвешенные частицы, включая нефтяные углеводороды. При концентрациях нефтепродуктов, превышающих ПДК в 10–20 раз, мидии сохраняют жизнеспособность, несмотря на испытываемый окислительный стресс [37]. Задерживая нефтепродукты в виде микроэмульсий и частично нейтрализуя их за счет таких ферментов, как, например, каталаза, моллюски удаляют их через выделительную систему, а выделенные псевдофекалии в свою очередь подвергаются разложению бактериями, в том числе нефтедеградирующими, причем нефтяные углеводороды в составе псевдофекалий разлагаются быстрее, чем в чистом виде. Эксперименты, проведенные в Кольском заливе Баренцева моря, показали, что участки с повышенной плотностью мидий и других моллюсков очищались от нефти в 5–10 раз быстрее, чем контрольные зоны [25]. На практике мидии активно используются для очистки вод в таких

странах как, например, Норвегия, Канада и Китай. Такой способ является более дешевым и безопасным для окружающей среды, чем механическая или химическая очистка. Для повышения эффективности возможно использование мидий совместно с другими методами, например, с уже известными биологическими препаратами на основе бактерий.

ВЫВОДЫ

Товарное выращивание мидий является крайне перспективной отраслью аквакультуры за счет относительно низкой себестоимости получаемой продукции и большого количества направлений для совершенствования технологий их выращивания и переработки. На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- Черное море является более благоприятным для мидиеводства по температурному режиму, тогда как Белое море является гораздо более холодным и 7 месяцев в году покрыто льдом, однако оно более подвержено антропогенным нагрузкам. Кроме того, основной проблемой черноморского региона являются осенние шторма, тогда как на Белом море помимо штормового волнения при планировании хозяйства необходимо учитывать приливно-отливную активность.
- Основными биологическими отличиями *Mytilus galloprovincialis* и *M. edulis* являются скорость роста (черноморская мидия достигает товарных размеров за 1,5 года, съедобная — за 3 года) и количество нерестовых пиков (у черноморской мидии их два). Кроме того, съедобная мидия обладает лучшей переносимостью перепадов солености и содержания кислорода, а также обладает меньшими размерами на личиночной стадии.
- Основными отличиями технологий мидиеводства для Черного и Белого морей являются продолжительность цикла выращивания, разный спектр паразитических и хищных организмов, представляющих угрозу для хозяйства, а также необходимость конструкций для выращивания на Белом море быть устойчивыми к ледовому воздействию.
- Направлениями развития технологий товарного выращивания мидий являются переход на полноцикличные хозяйства, выращивание моллюсков в поликультуре и освоение новых районов культивации. Расширение области применения выращенных мидий возможно в сторону фармацевтической отрасли и очистки естественных водоемов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Воробьева Н.К. Культивирование ценных видов гидробионтов — способ повышения биопродуктивности прибрежных вод Белого и Баренцева морей. // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона: Мат. IV Межд. конф. (08–09.10.2008, Керчь). — Керчь: Изд-во ЮгНИРО. — С. 127–132.
2. Вялова О.Ю. «Экологическая емкость» коллекторов разного типа для сбора спата мидии *Mytilus galloprovincialis* в Черном море // Экология и строительство. — 2020. — №1. — С. 14–22.
3. Говорин И.А., Шацилло Е.И. Перифитонные поселения мидий *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) и митилястера *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791) в условиях аномально высокой температуры прибрежных морских вод // Ruthenica. — 2012. — Т. 22. — №2. — С. 101–110.
4. Гринцов В.А. Формирование сообществ обрастания мидийных коллекторов в бухте Ласпи (Черное море): автореф. дисс. на соиск. учен. степ. к.б.н. — Севастополь, 1997. — 23 с.
5. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. — М.: Изд-во МГУ, 1982. — 192 с.
6. Ерохин В.Е., Гордиенко А.П. Перспективы культивирования мидий на крымском шельфе Черного моря (Каламатский залив) // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS. — 2017. — С. 31–37.
7. Золотницкий А.П. О влиянии крупномасштабного культивирования мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) на экосистему шельфовой зоны Черного моря // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского: серия «Биология, химия». — 2011. — Т. 24 (63). — №4. — С. 73–82.
8. Иванов А.И. Мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) Черного моря и перспективы их промысла: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. к.б.н. — Одесса, 1968. — 28 с.
9. Изучение опыта промышленного выращивания мидии в Белом море. — СПб: Изд-во СПбГУ, 2000. — 259 с.
10. Кохан А.С., Солдатов А.А. и др. Показатели энергетического обмена и аденилатная система тканей *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) в условиях умеренной гипоксии // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. — 2023. — Т. 59. — №6. — С. 532–540.
11. Крючков В.Г. Коллектор для выращивания мидий // Труды ЮгНИРО. — 2013. — Т. 51. — С. 133–144.

12. Кулаковский Э.Е., Житний Б.Г., Газдиева С.В. Культивирование мидий на Карельском побережье Белого моря. — Петрозаводск: б.и., 2003. — 159 с.
13. Лавровская Н.Ф. Выращивание водорослей и беспозвоночных в морских хозяйствах. — М.: «Пищ. пром-сть», 1979. — 124 с.
14. Лысак Д.С., Ким Ми Сун. Методы культивирования мидий в России и зарубежом // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли. — 2023. — С. 174–180.
15. Максимович Н. В. Репродуктивный цикл *Mytilus edulis* L. в губе Чупа // Исследование мидий Белого моря. Сб. научных трудов. — Л.: Изд-во ЗИН АН СССР, 1985. — С. 22-34.
16. Максимович Н. В., Шилин М. Б. Закономерности распределения личинок моллюсков в планктоне губы Чупа // Моллюски. Результаты и перспективы их исследований (VIII Всесоюзное совещание).—Л.: «Наука», 1987. — С. 339-341.
17. Малахов О.П. Конструктивные особенности некоторых устройств для выращивания мидий (*Mytilus edulis* L.). — Апатиты: Кол. фил. АН СССР, 1988. — 25 с.
18. Марикультура мидий на Черном море. / Под ред.Иванова В.Н. — Севастополь: «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. — 314 с.
19. Мировое производство аквакультуры в 2017–2021 гг. — М.: ВНИРО, 2023. — 266 с.
20. Мировое производство аквакультуры в 2018–2022 гг. — М.: ВНИРО, 2024. — 285 с.
21. Мировое производство рыбной продукции в 2018–2022 гг. — М.: ВНИРО, 2024. — 261 с.
22. Определитель фауны и флоры северных морей СССР. / Под ред. Гаевской Н.С. — М.: «Советская наука», 1948. — 737 с.
23. Определитель фауны Черного и Азовского морей: Свободноживущие беспозвоночные. Т.3: Членистоногие (кроме ракообразных), моллюски, иглокожие, щетинкочелюстные, хордовые. / Под ред. Мордухай-Болтовского Ф.Д. — Киев: «Наукова думка», 1972. — 340 с.
24. Патент RU 2111657 С1. Способ разведения мидий. — Авторы: Федоров А.Ф., Злобин В.С., Канайкин А.Т., Слободяник В.А. — Оpubл. 27.05.1998.
25. Патент RU 2505489 С1. Способ биологической очистки литоральной зоны морей от нефтепродуктов. — Автор: Гудимов А.В. — Оpubл. 27.01.2014. — Бюл. №3.

26. Патент RU 2548116 C1. Способ получения молодежи (спата) мидий *Mytilus galloprovincialis* для выращивания в Черном море. — Авторы: Холодов В.И., Иванов В.Н., Ладыгина Л.И. — Оpubл. 10.04.2015. — Бюл. №10.
27. Патент RU 2674033 C1. Способ получения вещества из гонад мидий *M. galloprovincialis*, обладающего противоопухолевой активностью. — Авторы: Капранова Л.Л., Рябушко В.И., Нехорошев М.В., Апрышко Г.И. — Оpubл. 04.12.2018. — Бюл. №34.
28. Патент 2678122 C1. Способ получения половых продуктов мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. — Авторы: Караванцева Н.В., Поспелова Н.В., Бобко Н.И., Нехорошев М.В. — Оpubл. 23.01.2019. — Бюл. №3.
29. Патент RU 2743060 C1. Способ получения функционального продукта из мидии *Mytilus galloprovincialis*. — Авторы: Капранова Л.Л., Нехорошев М.В., Рябушко В.И., Капранов С.В. — Оpubл. 15.02.2021. — Бюл. №5.
30. Патент RU 86405 U1. Биотехнологический комплекс для выращивания водных объектов в естественных водоемах. — Автор: Тюрков С.Н. — Оpubл. 10.09.2009.
31. Печень-Финенко Г.А. Скорость фильтрации воды *Mytilus galloprovincialis* Lam. как функция массы тела и температуры // Экология моря. — 1987. — Т. 25. — С. 54–62.
32. Пиркова А.В., Ладыгина Л.В. Морфометрические особенности личинок мидии *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) (Bivalvia: Mytilidae) в онтогенезе // Ruthenica. — 2024. — Т. 34. — №3. — С. 127–138.
33. Поспелова Н.В., Приймак А.С. Особенности питания мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam., культивируемой в прибрежье г. Севастополя // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского - природного заповедника РАН. — 2021. — №1 (17). — С. 24–34.
34. Примаков И.М., Лезин П.А. и др. Пути оптимизации марикультуры мидий в Белом море. — М.: «Товарищество научных изданий КМК», 2006. — 70 с.
35. Пронина О.А. Марикультура водорослей в Белом море: некоторые результаты изучения и перспективы развития // Журнал «Рыбное хозяйство». — 2009. — №5. — С. 42–44.
36. Ревков Н.К., Шаляпин В.К. Особенности вертикального распределения личинок *Mytilus galloprovincialis* и формирование поселений мидии в Черном море // Экология моря. — 1999. — Т. 48. — С. 58–62.
37. Скуратовская Е.Н., Алемова А.С. Влияние нефтяных углеводородов на биохимические показатели черноморской мидии *Mytilus*

- galloprovincialis* // Актуальные вопросы биологической физики и химии. — 2022. — Т. 7. — №4. — С. 650–656.
38. Советова М.Г. Вирусингибирующая активность препарата, полученного на основе мидийного гидролизата: Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. к.б.н. — СПб, 2000. — 29 с.
39. Статистические сведения по рыбной промышленности России в 2019–2020 гг. — М.: ВНИРО, 2021. — 90 с.
40. Статистические сведения по рыбной промышленности России в 2020–2021 гг. — М.: ВНИРО, 2022. — 86 с.
41. Статистические сведения по рыбной промышленности России в 2021–2022 гг. — М.: ВНИРО, 2023. — 82 с.
42. Статистические сведения по рыбной промышленности России в 2022–2023 гг. — М.: ВНИРО, 2024. — 84 с.
43. Супрунович А.В., Макаров Ю.Н. Культивируемые беспозвоночные. Пищевые беспозвоночные: мидии, устрицы, гребешки, раки, креветки. — Киев: «Наукова думка», 1990. — 264 с.
44. Терентьев А.С. Сукцессия биоценоза *Mytilus galloprovincialis* в биоценоз *Terebellides stroemi* в результате заиления Керченского предпроливья Черного моря // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона. Мат. V Межд. конф. (08-09.10.2009, Керчь). — Керчь: Изд-во ЮгНИРО, 2010. — С. 44–49.
45. Туркулова В.Н., Солодовников А.А. и др. Результаты и перспективы исследований ЮгНИРО в области марикультуры. // Основные результаты комплексных исследований в Азово-Черноморском бассейне и Мировом океане (Юбилейный выпуск). — Керчь: Изд-во ЮгНИРО, 2008. — С. 9–18.
46. Фащук Д.Я., Куманцов М.И. Рыболовство СССР в Черном море во второй половине XX века: период расцвета (1950–1988) // Известия РАН: серия географическая. — 2018. — №2. — С. 86–102.
47. Федоров А.Ф. Продукционные возможности мидии (*Mytilus edulis* L.) в марикультуре Мурмана. — Апатиты: Кол. фил. АН СССР, 1987. — 102 с.
48. Холодов В.И., Пиркова А.В., Ладыгина Л.В. Выращивание мидий и устриц в Черном море. — Воронеж: «ИЗДАТ-ПРИНТ», 2017. — 508 с.
49. Фокина Н.Н., Нефедова З.А., Немова Н.Н. Липидный состав мидий *Mytilus edulis* L. Белого моря. Влияние некоторых факторов среды обитания. — Петрозаводск: Кар. НЦ РАН, 2010. — 243 с.

50. Шамионова Н.Ш. Ожидаемые последствия вселения мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamark, 1819 (Bivalvia: Mytilida) в Каспийское море. // Вестник науки и творчества. — 2023. — №6 (88). — С. 34–38.
51. Шилин М.Б., Саранчова О.Л. Полярная аквакультура: учебное пособие. — СПб: Изд-во РГГМУ, 2005. — 171 с.
52. Яковлева Ю.В., Гребенников В.А. Биотехника выращивания мидий в ООО «ДОНУЗЛАВ АКВАКУЛЬТУРА» // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации: Мат. V нац. Научно-практической конф. (22-23.10.2020, Калининград). — Саратов: «Амирит», 2020. — С. 236–239.
53. Вести Карелии [Электронный ресурс]: Четвертая ферма по выращиванию мидии заработала в Карелии — Режим доступа: <https://vestikarelii.ru/news/chetvertaja-ferma-po-vyraschivaniju-midij-zarabotala-v-karelii/?ysclid=m9h0or72lk132788381> — (Дата обращения: 24.04.2025).
54. Газета РБК [Электронный ресурс]: Устрично-мидийные активы Приморья пошли в рост — Режим доступа: <https://www.rbc.ru/newspaper/2022/02/11/620517899a79477a47a15952> — (Дата обращения — 21.03.2025).
55. ООО «Северная мидия», официальный сайт [Электронный ресурс]: Фотогалерея — Режим доступа: <https://sevmid.ru/> — (Дата обращения — 26.02.2025).
56. Федеральное агентство по рыболовству, официальный сайт [Электронный ресурс]: Новости — Режим доступа: <https://fish.gov.ru/news/2023/01/17/rosrybolovstvo-u-vyrashhivaniya-midij-v-barenczevom-more-est-perspektivy-kazhdoe-novoe-predpriyatiya-v-akvakulture-shag-k-importozameshheniyu/> — (Дата обращения — 22.03.2025).
57. Черное море [Электронный ресурс]: Главная страница — Режим доступа: http://www.blackmore.ru/img_3.php — (Дата обращения — 24.04.2025).
58. Logostitul.ru [Электронный ресурс]: Изображения — Режим доступа: https://blogger.googleusercontent.com/img/b/R29vZ2xl/AVvXsEh68Sdfqoh1iy-lueKCIWOp7VsIJ6M2epbptZSFmGBWb6Iwgpbm1ITfJ4UEI8fEZKQqTWFJCLyFKeoRriw_fBxu2aY0g9YB2y5MFfUXC58R2nF3x55NFP40Nued9qMsqed0nOkEhh4urk/s1600/8765434567654351.jpg — (Дата обращения — 06.05.2025).

59. Drapeau A. et al. Association between longline design and mussel productivity in Prince Edward Island, Canada // Aquaculture. – 2006. – V. 261. – №. 3. – C. 879-889.
60. Spångberg J., Jönsson H., Tidåker P. Bringing nutrients from sea to land—mussels as fertiliser from a life cycle perspective // Journal of cleaner production. – 2013. – V. 51. – C. 234-244.
61. Food and Agriculture Organisation Official Website [Electronic resource]: *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819), cultured aquatic species fact sheets — URL: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/I1129m/file/en/en_mediterraneanmussel.htm — (Date of treatment — 04.03.2025).
62. Food and Agriculture Organisation Official Website [Electronic resource]: *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758), cultured aquatic species fact sheets — URL: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/I1129m/file/en/en_blue mussel.htm — (Date of treatment — 04.03.2025).
63. ResearchGate [Electronic resource]: Geographic distribution of marine mussels of the genus *Mytilus*. — URL: https://www.researchgate.net/figure/Geographic-distribution-of-marine-mussels-of-the-genus-Mytilus-Approximate-distributions_fig1_303719416 — (Date of treatment — 03.03.2025).
64. World Register of Marine Species [Electronic resource]: *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758 — URL: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=140480> — (Date of treatment — 24.02.2025).
65. World Register of Marine Species [Electronic resource]: *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 — URL: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=140481> — (Date of treatment — 24.02.2025).