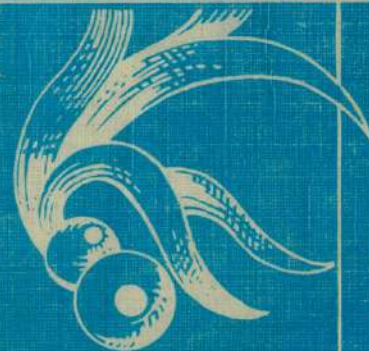


75 коп.

Книга знакомит читателей с проблемами и задачами аквакультуры, биологическими особенностями культивируемых видов, передовыми методами выращивания, состоянием культивирования на сегодняшний день и перспективами для конкретного региона.

# КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ТИХООКЕАНСКИХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ И ВОДОРΟΣЛЕЙ

639  
К 90



КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ТИХООКЕАНСКИХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ И ВОДОРΟΣЛЕЙ

Б-ва Выпуск № 1/87

639  
+ К90

# КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ТИХООКЕАНСКИХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ И ВОДОРΟΣЛЕЙ

364417

364417

МОСКВА ВО "АГРОПРОМИЗДАТ" 1987



ИБМ

Отдел ЦНБ  
при ИБМ ДВО РАН

жк 31232

639.4/6  
ББК 47.4  
К 90  
УДК 639.4/6 (262/266)

Рецензенты: Е. И. Блинова, кандидат биологических наук; И. А. Садыхова, кандидат биологических наук, ВНИРО.

К 90 **Культивирование тихоокеанских беспозвоночных и водорослей** / [Марковцев В. Г., Брегман Ю. Э., Пржеменецкая В. Ф. и др.] . — М.: Агропромиздат. 1987. — 192 с., ил.

В книге рассмотрены методы культивирования приморского гребешка, устриц, мидий, трепанга, травяной креветки, морской капусты и грацилярии.

Описаны технические устройства, применяемые в марикультуре. Приведены практические рекомендации по культивированию наиболее перспективных объектов марикультуры.

Для специалистов, занимающихся вопросами разведения беспозвоночных и водорослей.

К 4002030000 - 303 87-87  
035 (01) - 87

ББК 47.4

### КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ТИХООКЕАНСКИХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ И ВОДОРΟΣЛЕЙ

Зав. редакцией Н. Г. Ланда  
Редактор Н. С. Чернышева  
Художественное оформление С. А. Адамов  
Технический редактор Т. В. Мындру  
Корректор Л. Н. Лещева

ИБ 5210

Подписано в печать 07.05.87. Т-08578. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Гарнитура Пресс-Роман. Усл. п. л. 11,16. Усл. кр.-отт. 11,28. Уч.-изд. л. 13,53. Изд. № 199. Тираж 800 экз. Заказ № 1817 Цена 75 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО "Агропромиздат", 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спаская, 18.

Типография № 9 Союзполиграфпрома Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 109033, Москва, Волочаевская, 40.

© ВО "Агропромиздат", 1987

## ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то что разведение морских организмов, или марикультура, имеет давнюю историю, серьезное внимание специалистов эта отрасль человеческой деятельности стала привлекать лишь в последние двадцать лет.

По оценкам специалистов, к 2000 г. мировая продукция марикультуры должна достигнуть 25 млн. т. Объективной предпосылкой этого является продуктивность хозяйств марикультуры. Например, плантации мидий способны давать до 300 т, морской капусты 100–120 т биомассы с гектара.

В последние годы практикуется искусственное выращивание и разведение креветок на специальных фермах, продукция которых составляет в среднем 3 т/га.

В настоящее время аквакультуре во многих странах уделяется большое внимание: вкладываются значительные средства, разрабатываются долгосрочные планы научных исследований и развития производства, создаются хозяйства.

В нашей стране, несмотря на хорошо развитый океанический и прибрежный промысел, марикультура привлекает все более пристальное внимание. Наиболее перспективными районами развития отечественной марикультуры являются прибрежные зоны Японского, Охотского, Черного, Каспийского, Азовского, Балтийского и Белого морей.

Обилие видов животных и растений — потенциальных объектов культивирования, наличие закрытых бухт и заливов, высокая продуктивность и сравнительная чистота прибрежных вод выдвинули Приморье на одно из первых мест в стране по уровню развития марикультуры.

В середине 60-х годов специалисты ТИНРО и других учреждений приступили к разработке биотехнологий культивирования приморского гребешка и трепанга, в начале 70-х годов — морской капусты и тихоокеанской устрицы. В настоящее время разрабатываются биотехнологии культивирования анфельдии, грацилярии; совершенствуются методы разведения гребешка, устрицы, мидии, ламинарии японской, лососей; исследуются болезни объектов марикультуры и возможности применения биостимуляторов; ведутся работы по созданию замкнутых систем жизнеобеспечения гидробионтов и по технологии водоподготовки на рыбоводных предприятиях.

В результате усилий науки и промышленности стали возможны и первые практические результаты. На трех промышленных плантациях ежегодно выращивается хороший урожай морской капусты, который на отдельных участках может достигать 120 т с гектара. На промышленную основу поставлено культивирование приморского гребешка, создаются плантации устриц и мидий.

Аквакультура рассматривается нами как отрасль хозяйственной деятельности, направленная на производство продукции.

Аквакультура уже в настоящее время производит не только пищевую продукцию, но и техническое сырье. Так, продукция водорослевых плантаций дает сырье для производства агара и альгинатов, используемых во многих отраслях хозяйства. Перспективным направлением в аквакультуре является культивирование объектов — источников медицинских препаратов и эффективных поглотителей загрязняющих веществ в системах очистки.

Итак, основной задачей аквакультуры является производство ценного сырья для других отраслей хозяйства, в том числе пищевой, кормовой и технической продукции.

Не вся получаемая биомасса гидробионтов используется. Полезную часть выращенной биомассы для удобства назовем хозяйственным урожаем [58]. Конечно, это деление достаточно условно, ибо неиспользуемая часть биомассы, например ризоиды морской капусты, таковой является лишь потому, что пока ей не найдено применение. Хозяйственный урожай может включать в себя несколько продуктов различной природы. Так, морская капуста может частично использоваться на пищевые цели и одновременно после переработки для получения маннита и альгината; если на капусте поселяются и вырастают мидии, они служат еще одной разновидностью продукта.

Аквакультура в отличие от рыболовства, где усилия человека направлены на "охоту", т. е. на простое изъятие части биологических ресурсов (хотя и регулируемое установлением квоты, места, сроков добычи и размерного состава промыслового объекта), — принципиально иной род деятельности. Она начинается там, где человек хотя бы на одной стадии жизненного цикла объекта активно управляет его развитием непосредственно или через среду обитания. Самой простой формой аквакультуры (ее можно назвать переходной) является трансплантация организмов в новый район обитания. Отечественная рыбохозяйственная практика имеет множество примеров направленной интродукции видов [30]. В других формах аквакультуры элемент управления играет более существенную роль.

Существует четыре типа разновидности аквакультуры [111]. Первый включает в себя подращивание рыб и других животных в инкубаторах для выпуска в среду обитания с целью повышения коммерческих уловов. Второй тип аквакультуры предусматривает сбор молоди в природе и дальнейшее ее культивирование. Третий тип — получение молоди от диких производителей и выращивание ее до товарных размеров. Он применяется в Японии для разведения креветок, где молодь, полученную от диких особей, выращивают до товарного размера в искусственных условиях. Четвертый тип связан с полным контролем всего процесса в условиях завода, на котором осуществляются и получение молоди, и ее выращивание до товарных размеров.

Известно шесть форм марикультуры: пастбищное выращивание (ранчевание) с искусственным получением молоди; товарное выращивание молоди; полноциклический тип хозяйства, где все стадии находятся под контролем; культивирование в измененных естественных биотопах с использованием нерестилищ, рифов; выращивание в условиях активной регуляции гидрологического и гидрохимического режимов водоема; акклиматизация и трансплантация [60]. Что касается двух последних форм, то вопрос остается спорным.

Возможна классификация предприятий аквакультуры и по степени близости получаемой продукции к ее конечному виду: питомники производят посадочный материал, товарные фермы его выращивают, а в полноциклических хозяйствах упомянутые функции совмещаются [75]. Различают следующие методы культивирования гидробионтов [9]. Наиболее интенсивной формой аквакультуры считается трансплантация организмов с целью предоставления им лучших условий среды. Второй метод связан с искусственным получением жизнестойкой молоди в питомниках с последующим выпуском ее в естественные места обитания. Нагул рыб и беспозвоночных в огороженных участках — суть третьего метода аквакультуры. Выращивание организмов в построенных прудах на естественной кормовой базе, но с применением удобрений — четвертый метод аквакультуры. Пятым является прудовое, или садковое, выращивание с искусственным кормлением. И последний, шестой, метод основан на выращивании организмов с использованием специально изготовленных конструкций (шотов, плавучих садков).

Аквакультура предполагает в целом существенно большую управляемость объектом, чем при облавливание естественных популяций, в то же время лишь при искусственном воспроизводстве промысловых объектов (хотя и не всегда) осуществляется регуляция и условий среды. В зависимости от степени управления процессы культивирования могут быть экстенсивными, интенсивными и смешанного типа. Биотехнологию следует считать экстенсивной, если в системе культивирования регуляция потоков вещества и энергии отсутствует (таково культивирование мидий в естественных водоемах без внесения каких-либо питательных веществ и регуляции энергетических характеристик водной среды), и интенсивной при регуляции упомянутых потоков, когда в субоптимальных условиях реализуются биологические потенции объекта (например, при заводском полноциклическом выращивании устриц и форели). К смешанному типу относятся те процессы культивирования, которые, как это чаще всего бывает, включают в себя элементы интенсивной и экстенсивной биотехнологий.

В процессе получения хозяйственного урожая выделим два этапа, которые всегда присутствуют в аквакультуре: получение посадочного материала, выращивание посадочного материала до товарных размеров. Эти этапы по степени управления могут носить как интенсивный, так и экстенсивный характер.

Полуинтенсивный характер обычно носят процессы культивирования макроводорослей, например морской капусты в двухгодичном цикле: рассаду получают в заводских условиях, регулируя концентрацию элементов минерального питания, температуру и освещенность, затем ее выращивают в экстенсивном режиме на плантации, где регуляция ограничивается лишь перемещением объекта в оптимальный горизонт и прореживанием. Экстенсивный способ получения посадочного материала, или его отлов в естественных условиях с дальнейшим выращиванием в интенсивном режиме, реализуется, например, при выращивании омара в США и при культивировании креветок в Японии и на Филиппинах. При этом молодь помещают в искусственные водоемы, в которых регулируется водообмен и куда вносятся корм.

Наиболее интенсивной формой аквакультуры является полноциклическое культивирование, при котором все стадии развития организма находятся под контролем. Например, разработанная в Японии технология культивирования креветок, при которой молодь получают в управляемых условиях и выращивают далее в бассейнах или прудах [9].

Объектом монокультуры всегда выступает группа особей одного вида — популяция. Можно разделить все популяции на три типа: природные, искусственные природные и искусственные индустриальные [36, 37]. Популяции, сформировавшиеся без антропогенного влияния, называются природными. При всех типах аквакультуры они являются (по меньшей мере вначале) источником посадочного материала, а для наиболее интенсивных методов культивирования поставляют и селекционный материал. Искусственные природные популяции населяют естественные водоемы, размещаясь не только на естественных, но порой и на искусственных субстратах. Их создание на этапе получения и выпуска молоди в естественные водоемы проходит под контролем человека (популяции лососевых и двустворчатых моллюсков на дне). Такие популяции являются основой большинства перечисленных форм аквакультуры.

Признав, что объектом аквакультуры и, следовательно, управления выступают популяции, следует подчеркнуть, что они не могут функционировать обособленно от других физических и биологических компонентов экосистемы, а составляют такие комплексы, свойства которых зависят от типа аквакультуры. Для ее интенсивных форм наиболее характерны микроекосистемы, в которых используются сравнительно небольшие площади; количество трофических уровней и видов на каждой из них невелико. Они более просты по своей структуре и лучше управляемы, однако с общеэкологических позиций наименее стабильны. Задача человека заключается в организации такого контроля среды и организма, чтобы поддержать необходимую устойчивость такой экосистемы.

Мезоекосистемы свойственны экстенсивным формам аквакультуры. На начальном этапе своего развития они включают множество видов

различных трофических уровней и искусственную популяцию культивируемого объекта, который впоследствии может занять доминирующее положение. Если это происходит, наблюдается существенное перераспределение сложившихся ранее потоков вещества и энергии. В данной ситуации для обеспечения высокой эффективности процессов культивирования требуется поддерживать оптимальную скорость этих потоков через культивируемый объект.

Что же касается макросистем морей и океанов, то они не могут рассматриваться как объект управления в аквакультуре, поскольку для этого потребовались бы колоссальная энергия и глобальная перестройка их биологической структуры. Такие системы — предмет исследования экологов, решающих прикладные задачи рационального промысла.

Аквакультура — не только отрасль хозяйственной деятельности, но и междисциплинарная область знаний, появление которой отражает характерную особенность науки в период НТР, а именно ее интеграцию. В аквакультуре можно выделить биологическую, техническую, технологическую и социально-экономическую составляющие.

Биологическая составляющая, или биологические основы культивирования гидробионтов, разрабатывается многими дисциплинами; усилия здесь направлены на выявление условий, при которых реализуются биологические потенции объекта, и на создание более продуктивных и жизнестойких рас и пород. Технический компонент аквакультуры создается в процессе проектирования и строительства сооружений для выращивания объектов в водоеме и заводских систем культивирования. Технологическая составляющая аквакультуры, или биотехнологии, формируется на основе интеграции биологических знаний и технических разработок. Жизнеспособность любой технологии определяется ее экономической целесообразностью.

В настоящее время наиболее предпочтительны интенсивно-экстенсивные методы культивирования. Социальные факторы также влияют на аквакультуру. Исторически сложившиеся пищевые традиции могут определить выбор объекта культивирования. Так, эти традиции способствовали развитию промышленного культивирования водоросли порфиры в Японии. Интенсивные формы аквакультуры обычны в индустриальных странах, а экстенсивные характерны для развивающихся стран в тропической и субтропической зонах, где в избытке имеются дешевые трудовые ресурсы. Социальными факторами следует считать и сложившийся опыт культивирования, и уровень культуры производства.

Таким образом, пройден первый этап, который был периодом становления марикультуры как науки, этапом подготовки как научных кадров, так и специалистов в промышленности, этапом ломки традиционных отношений к морю как к месту охоты и собирательства.

## КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ-МАКРОФИТОВ

В жизни населения прибрежных стран огромную роль играют водоросли-макрофиты. Они имеют важную пищевую и лекарственную ценность, так как в их талломах содержатся белки, жиры и углеводы, витамины и микроэлементы. Более 70 видов водорослей употребляется в пищу (ламинария, ундария, порфира, ульва, грацилярия, родимения, энтероморфа и др.). Ламинариевые и фукусовые водоросли, содержащие в большом количестве иод и другие необходимые для организма элементы, используются как лекарственные и профилактические средства. Лечебными свойствами обладают также и некоторые багрянки (хондрус, гелидиум, птерокладия, дигенея, кораллина). Жители морских побережий издавна применяют ламинарию, алярию, аскофиллум, саргасум, родимению и др. в качестве удобрений и корма для домашних животных. Красные и бурые водоросли, морские травы используются для получения агара, агароида, каррагинина, альгината и др.

В последние годы происходит расширение области использования ресурсов океана, в том числе и растительных, что предполагает и все более интенсивное их изъятие. По подсчетам специалистов, можно добывать около 18 млн. т бурых и красных водорослей ежегодно [126]. Следует, однако, помнить, что нельзя бесконечно увеличивать объем добычи водорослей и морских трав, так как самые богатые запасы морских макрофитов при неумеренной эксплуатации быстро истощаются, появляются нарушения в цепи биоценозов континентального шельфа, что может привести к гибели организмов, населяющих эту зону океана. В связи с этим в мире все шире разворачиваются работы по разведению водорослей на искусственно создаваемых плантациях, а также по интродукции и акклиматизации наиболее продуктивных видов. Выращивание на плантациях водорослей-макрофитов позволит значительно сократить или полностью прекратить их добычу из природных зарослей, что сохранит от разрушения прибрежные биоценозы. Более того, плантации — это дополнительно созданные руками человека новые местообитания для многих видов животных, в том числе и промысловых.

В ряде зарубежных стран в настоящее время осуществляется крупномасштабное промышленное культивирование таких видов, как ламинария, макроцистис, ундария, порфира, грацилярия, зухема, ульва. Особенно широкое распространение культивирование водорослей получило в странах Тихоокеанского бассейна.

На состоявшейся в 1981 г. в Италии Всемирной конференции по аквакультуре отмечалось увеличение мировой продукции аквакультуры (в том числе и водорослей) с 6 млн. т в 1975 г. до 8 млн. т в 1981 г. [132]. В последние годы во многих странах значительно возрос интерес к культивированию морских водорослей — макрофитов, что объясняет-

ся возрастанием потребности в получаемых из них веществах [123]. Большое внимание было уделено поликультуре, поскольку именно при таком ведении хозяйства можно добиться безотходности производства, характерной для природных экосистем, без которой невозможен подлинный и долгосрочный прогресс в аквакультуре.

Для экономически оправданного культивирования любого объекта необходимо, чтобы затраты на его выращивание могли окупиться в сравнительно короткий срок. Вводимая в культуру водоросль должна обладать быстрым темпом роста, нетребовательностью к условиям среды и при этом иметь высокую продуктивность и хорошее качество получаемого из нее продукта — агара, каррагинина, альгината и др. Для успешного выращивания организма необходимо создание комплекса условий, обеспечивающих нормальное прохождение всех стадий цикла его развития. Наиболее важные факторы для роста морских водорослей — оптимальная температура и соленость воды, свет определенной интенсивности, сбалансированная питательная среда (параметры распадаются в порядке значимости). Узловым моментом успешного культивирования водоросли является точное и безукоризненное знание цикла, особенно способов и условий ее размножения. Это предполагает одновременно с экспериментальными работами в аквариальных условиях и на плантациях проводить также постоянное наблюдение за культивируемым видом в природе.

Одной из сложных проблем при крупномасштабном культивировании любого организма в монокультуре является борьба с вредителями и болезнями. При выращивании морских водорослей на плантациях возникает также необходимость борьбы как с эпифитами культивируемого вида, так и с эпибионтами. Последних поселяют на плантационных сооружениях и, не принося прямого вреда выращиваемой водоросли, они влияя на процесс культивирования, уменьшают штормоустойчивость сооружений или являются конкурентами культивируемого вида. Исследования плантации ламинарии японской (*Laminaria japonica*) на водорослевых хозяйствах Приморья показали, что на плантациях создается биоценоз, ведущими компонентами которого, помимо ламинарии, становятся некоторые другие виды водорослей, а также животные. В изобилии появляется костария ребристая (*Costaria costata*), которая в отдельные годы в районах среднего и северного Приморья развивается в массе, достигая 50–60% от общего количества слоевищ на поводе. Из животных наибольшую опасность представляют фитофаги: брюхоногий моллюск (*Epheria turrita*), разноногие раки (*Amphithoe eoa*) и морские ежи (*Strongylocentrotus nudus*, *S. intermedius*) [63]. Из остальных видов животных, поселяющихся на плантации, наиболее многочисленными являются: гребешок приморский (*Patinopecten yessoensis*) и свифта (*Swiftopecten swiftii*), мидия съедобная (*Mytilus edulis*), гидроиды, мшанки, полихеты и др. Большие неудобства на плантации доставляет мидия, в массе поселяющаяся на плантационных сооружениях, утяжеляя конструкции и уменьшая их штормоустойчивость.

Опыт искусственного выращивания ламинарии на плантациях в Приморье позволяет выявить ряд приемов биотехнологии, предотвращающих заболевания и снижающих вредное влияние эпифитов: это прореживание густых посадок, регулирование глубины выращивания растений в зависимости от их возраста, а также своевременный сбор урожая с плантации.

Культивирование водорослей имеет ряд преимуществ перед добычей их в естественных зарослях. Урожай водорослей с единицы площади поднимается в 2–3 раза и более, обеспечивается планомерная заготовка сырья для перерабатывающих предприятий, появляется возможность выращивания водорослей в местах, где отсутствуют естественные заросли. Кроме того, на морских плантациях имеется возможность отбора растений по тем или иным признакам для селекционных работ и выведения продуктивных форм для выращивания.

#### УПРАВЛЕНИЕ РОСТОМ В АКВАКУЛЬТУРЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Общие вопросы управления ростом водорослей. Одной из важных сторон организации аквакультуры водорослей является решение задачи оптимального управления процессом выращивания. В вышеприведенной классификации аквакультуры в качестве критерия была использована степень управляемости продукционным процессом. Это справедливо и для аквакультуры водорослей, где степень управляемости может служить критерием разделения способов культивирования на экстенсивные и интенсивные формы. Для аквакультуры водорослей-макрофитов в целом также можно выделить два этапа в процессе получения хозяйственного урожая: производство посадочного материала и культивирование до товарного качества.

Из шести возможных форм аквакультуры водорослей практически наиболее реализуемы только три.

Экстенсивный способ получения посадочного материала и экстенсивное культивирование водорослей до сбора урожая. Примером может служить культивирование ламинарии в двухгодичном цикле.

Интенсивный способ получения посадочного материала и экстенсивное культивирование водорослей. Культивирование ламинарии в "форсированном" режиме, или в одногодичном цикле, представляет пример этого типа аквакультуры водорослей [107]. В процессе получения рассады контролируются материальные и энергетические потоки в системе культивирования. Перенос рассады в море, где контролируется только местоположение объекта, приводит к существенному изменению степени управляемости объектом культивирования.

Сочетание интенсивного способа получения

посадочного материала с интенсивным процессом культивирования водорослей до сбора урожая. Это наиболее управляемая форма аквакультуры. В этом типе аквакультуры весь жизненный цикл водорослей находится под контролем человека. В промышленной практике этот способ применяется редко, но для многоцелевых процессов, таких, как очистка сточных вод с помощью водорослей и получение из них технологического сырья, он представляется перспективным. В этом случае третья форма выступает экономически целесообразной.

Если сравнить возможные формы аквакультуры водорослей по социально-экономическим критериям, то для Приморья наиболее пригодной является интенсивно-экстенсивная.

Отсюда возникает необходимость разработки теоретических основ управления ростом водорослей как в интенсивной, так и в экстенсивной культуре.

Особенностью аквакультуры водорослей является то, что потоки вещества и энергии разобцены и представляют собой два самостоятельных фактора.

Рассмотрим, какими управляющими факторами располагает человек в интенсивной и экстенсивной аквакультуре водорослей.

При экстенсивном культивировании водорослей используются естественные потоки вещества и энергии. Учитывая то, что продукция прибрежных вод лимитируется содержанием азота, этот фактор может стать одним из управляющих. Очевидно, что он связан с движением воды через системы культивирования. Поскольку энергия света изменяется с глубиной, последний может стать другим лимитирующим фактором. На распределение света и азота между отдельными особями существенное влияние может оказывать плотность посадки. Изменяя плотность посадки и глубину расположения объекта, можно регулировать его продуктивность. Для оптимального управления необходимо найти соотношения между этими параметрами.

Уравнение материального баланса по азоту в системе культивирования, расположенной на глубине, запишем в общем виде

$$dN/dt = FN_0/V - FN/V = Q\mu x, \quad (1)$$

где  $F$  – скорость потока среды через объем ( $V$ ) системы;  $x$  – плотность посадки водорослей;  $N_0, N$  – концентрация азота на входе и выходе системы соответственно;  $Q$  – содержание азота в биомассе;  $\mu$  – удельная скорость роста водорослей.

Между удельной скоростью роста и концентрацией азота в среде существует определенная зависимость, которую можно представить в виде кривой с насыщением [94]. Уравнение Михаэлиса-Ментена для удельной скорости роста водорослей имеет вид [94]

$$\mu = \mu_m^N N / (K_N + N), \quad (2)$$

где  $\mu_m^N$  – максимальная удельная скорость роста, равная скорости роста при насы-

щающих концентрациях азота;  $K_N$  – константа полунасыщения, равная концентрации азота в среде при скорости роста в половину от максимальной.

Содержание азота в биомассе водорослей является варибельным параметром. Изменение этого параметра отмечено по сезонам, с глубиной расположения объекта, а также по длине слоевища [93].

Для одноклеточных водорослей удельная скорость роста определяется содержанием в биомассе лимитирующего элемента. Зависимость между этими параметрами в стационарных условиях может быть представлена в виде [99]

$$\mu = \mu'_m (1 - q/Q), \quad (3)$$

где  $\mu'_m$  – максимальная удельная скорость, т. е. значение удельной скорости роста при высоком содержании лимитирующего элемента в биомассе;  $q$  – минимальное содержание лимитирующего элемента в биомассе, равное его содержанию при нулевой скорости роста.

Отсюда следует, что для таких элементов, как азот и фосфор, параметры  $\mu'_m$  и  $\mu_m$  приблизительно равны [105]. Для водорослей-макрофитов между удельной скоростью роста и содержанием азота в биомассе (отношение азота к углероду) существует зависимость, которую можно представить в виде кривой с насыщением (рис. 1) [98]. Аппроксимация кривой с помощью модели Друпа дала удовлетворительные результаты. Поэтому зависимость (3) можно принять за основу для макрофитов и использовать при построении наиболее общих моделей. С учетом уравнений (2) и (3) балансовое уравнение (1) принимает вид

$$dN/dt = FN_0\mu_m/V - FN_0\mu/V - F\mu K_N/V - \mu_m\mu q x. \quad (4)$$

Из этого уравнения при условии стационарного процесса можно получить выражение для удельной скорости роста

$$\mu = FN_0\mu_m/V (FN_0/V + FK_N/V + q\mu_m x). \quad (5)$$

Отсюда следует, что удельная скорость является гиперболической функцией концентрации элемента на входе в систему культивирования и проточности (рис. 2). Это соотношение показывает, каким образом физиологические параметры объекта культивирования определяют его реакцию на проточность и концентрацию элемента в среде. Так, увеличение минимального содержания азота в биомассе приводит к снижению угла наклона кривой зависимости удельной скорости роста от концентрации азота на входе в систему и проточности. Повышение максимальной скорости роста снижает наклон этой кривой. Между удельной скоростью роста и концентрацией биомассы существует обратная гиперболическая зависимость.

Уравнение для продуктивности имеет вид

$$dx/dt = \mu x = N_0\mu_m x / (N_0 + K_N + qN\mu_m/D) \quad (6)$$

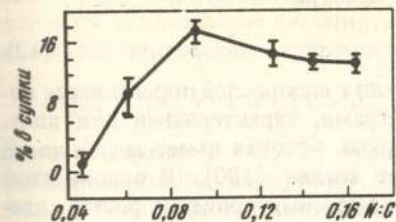


Рис. 1. Влияние содержания азота в сухой биомассе на удельную скорость роста *Neogardhiella baileyi*

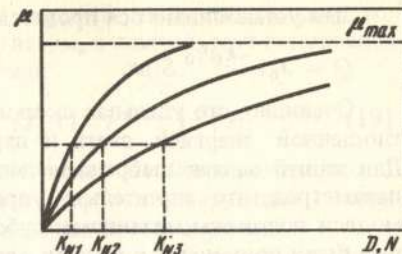


Рис. 2. Влияние скорости потока  $D$  и концентрации питания  $N_0$  на удельную скорость роста водорослей

Отсюда следует, что с увеличением биомассы продуктивность растет до предела, определяемого проточностью и концентрацией элемента на входе в систему. Уравнение (6) для культуры без изъятия урожая за весь период роста будет иметь вид

$$\ln(x/x_0) + q_N\mu_m(x - x_0)/D(N_0 + K_N) = \mu_m N_0 t / (K_N + N_0). \quad (7)$$

Данное выражение представляет собой уравнение логической кривой, из которого можно определить время достижения необходимой биомассы

$$t_y = \ln(x_m/x_0) + q_N\mu_m(x_m - x_0)/D(N_0 + K_N)(K_N + N_0)/\mu_m N_0. \quad (8)$$

Из выражений (7) и (8) видно, что при отсутствии лимитирования, т. е. при больших значениях концентрации элемента на входе и высоких протоках, как частный случай, получается экспоненциальный рост:

$$\ln(x/x_0) = \mu_m t. \quad (9)$$

Данные уравнения позволяют как рассчитывать нагрузки на естественные биотопы с характерными для них проточностью и концентрацией биогенных элементов, так и оптимизировать рост водорослей в интенсивной культуре с помощью подбора соответствующих скоростей потока и концентрацией элементов на входе.

Рассмотрим влияние на продукцию водорослей лучистой энергии. Поглощение света водой подчиняется закону Ламберта-Бера, поэтому на глубине  $h_0$  уровень облученности будет составлять

$$J'_0 = J_0 e^{-k_0 h_0}, \quad (10)$$

где  $k_0$  – удельный коэффициент поглощения воды (для слоев биомассы водорослей как на промышленных плантациях, так и в специальных системах культивирования).

Суммарная поглощенная энергия на единицу биомассы имеет вид

$$Q_J = J_0 e^{-k_0 h_0} S - Q\mu x, \quad (11)$$

где  $Q$  – количество энергии на единицу биомассы.

Для установившегося процесса  $Q = 0$ , тогда

$$Q = J_0 e^{-k_0 h_0} S / \mu x. \quad (12)$$

Очевидно, что удельная скорость роста водорослей определяется поглощенной энергией света и параметрами, характерными для вида. Для нашей задачи выбрана модель Друпа, которая имеет малое число параметров, что значительно упрощает анализ [100]. В основу этой модели положены механизмы субстратного лимитирования роста, которые были применены в модели для питательных веществ. Модель Друпа в общем виде выражается уравнением

$$\mu = \mu_m^J (1 - q_J / Q_J), \quad (13)$$

где  $\mu_m^J$  — максимальная удельная скорость роста при насыщающих световых потоках;  $q_J$  — компенсационное значение энергии света, поглощенной на единицу биомассы, при которой  $\mu = 0$ .

После подстановки  $Q_J$  уравнение для модели имеет вид

$$\mu = \mu_m^J / (\mu_m^J q_J x / J_0' S + 1). \quad (14)$$

Для случая  $J_0' S \gg \mu_m^J q_J x$  это выражение после разложения в степенной ряд и опускания членов второго и последующих порядков будет иметь вид

$$\mu = \mu_m^J (1 - \mu_m^J q_J x / J_0' S). \quad (15)$$

Видно, что удельная скорость роста массы является функцией концентрации биомассы на единицу поверхности. Продуктивность выражается уже квадратичной функцией

$$\mu x = dx/dt = \mu_m^J (x - \mu_m^J q_J x^2 / J_0' S). \quad (16)$$

Для случая, когда поглощаемая лучистая энергия равномерно распределяется по всей выращиваемой биомассе (при активном перемешивании водорослей в фотореакторе), оптимальная по критерию продуктивности плотность посадки для выбранных потоков световой энергии определяется как

$$x_{\text{опт}} = J_0' S / 2 \mu_m^J q_J. \quad (17)$$

Максимальный урожай, т. е. урожай при оптимальной плотности посадки водорослей, составит

$$dx/dt_m = J_0' S / 4 q_J. \quad (18)$$

Для случая, когда водоросли в системе культивирования не перемешиваются, а лежат в виде пласта с определенной плотностью и коэффициентом поглощения света, максимальная продукция скопления

водорослей определяется продукцией верхней части пласта, рост водорослей в которой не лимитируется светом, и нижней, рост водорослей в которой определяется лучистой энергией:

$$dx/dt = \mu_m^J x^1 + \mu_m^J [1 - \mu_m^J q_J x'' / J_H (1 - e^{-ax''})] S x''. \quad (19)$$

Здесь выражение  $1 - e^{-ax''}$  определяет долю светового потока, поглощенного пластом водорослей, где  $a = k/x_p S$  — нормирующий множитель;  $k$  — коэффициент поглощения света пластом водорослей.

Количество биомассы, находящейся в верхней части пласта, определяется выражением

$$x' = \ln(J_0' / J_H) / a. \quad (20)$$

Средняя удельная скорость роста водорослей в нижней части пласта определяется как

$$\mu_J = \mu_m^J (1 - \mu_m^J q_J x'' / J_H (1 - e^{ax})). \quad (21)$$

Для пласта водорослей, полностью поглощающего свет, средняя удельная скорость роста

$$\mu_J = \mu_m^J / 2. \quad (22)$$

Количество биомассы в таком пласте составляет

$$x''_{\text{опт}} = J_H S / \mu_m^J q_J. \quad (23)$$

Отсюда максимальный урожай пласта водорослей, полностью поглощающего поток лучистой энергии, будет определяться

$$dx/dt_m = \mu_m^J (x' + x''_{\text{опт}} / 2). \quad (24)$$

С помощью полученных выражений можно описывать экспериментальные данные, например, представленные на рис. 3. 4 [98], а также рассчитывать режимы культивирования макрофитов с целью максимального использования лучистой энергии.

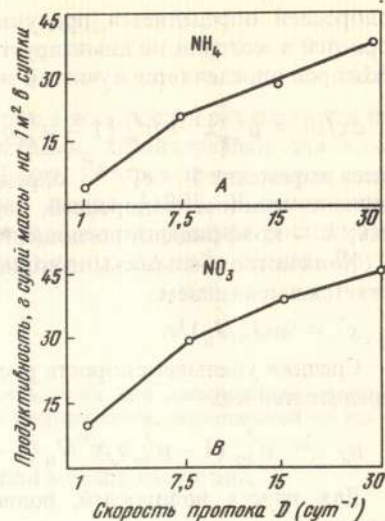
Таким образом, разработаны модели, позволяющие прогнозировать рост водорослей в районах с известными значениями факторов среды: проточность, концентрации биогенных элементов, прозрачность воды, солнечная радиация. На основе этих уравнений можно создавать оптимальную структуру плантаций водорослей в море.

С помощью этих уравнений можно сравнивать конкурентоспособность водорослей в определенных условиях выращивания. Для этого необходимо определить параметры  $k_N$  и  $q_N$  для лимитирования биогенными элементами (для плантаций это верхние слои) и  $q_J$  для светолитмированных условий, т. е. для больших глубин. Виды с меньшими значениями  $k_N$  и  $q_N$  более конкурентоспособны в верхних слоях, а виды с меньшим значением  $q_J$  — в более низких слоях.



Рис. 3. Зависимость удельной скорости роста анфельции от удельной скорости протока среды

Рис. 4. Влияние скорости протока среды на продуктивность *Gracilaria tirvahiae* при лимитировании аммонием (А) и нитратами (В)



В заключение отметим, что предложенные модели носят общий характер, детализация не входила в задачу этого исследования. В частности, рассматриваются усредненные параметры (суммарная поглощенная на единицу биомассы энергия, внутриклеточное содержание лимитирующих веществ). Предложенные соотношения могут явиться основой для дальнейшей конкретизации и построения моделей с учетом пространственных и временных координат.

#### УПРАВЛЕНИЕ РОСТОМ АНФЕЛЬЦИИ В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Экспериментальная проверка введения в интенсивную культуру водорослей-макрофитов была осуществлена на примере морской красной многоклетчатой водоросли *Ahnfeltia tobuchiensis*. В настоящее время она является основным сырьем для получения высококачественного агара на Дальнем Востоке.

При разработке технологии интенсивного культивирования анфельции на первом этапе исследований были выделены оптимальные уровни факторов среды, определяющих ее физиологическую активность, и получен устойчивый рост массы водорослей в искусственных условиях. Было исследовано влияние следующих факторов: концентрации общего неорганического углерода и рН среды; уровня облученности культуры и длительности светопериода; температуры и солености среды; соотношения биогенных элементов и их фоновой концентрации в питательной среде.

Оптимизационные эксперименты по перечисленным факторам проводились при концентрациях биомассы в культиваторах, позволяющих пренебрегать диффузионными эффектами в питательной среде. Было обеспечено равномерное распределение элементов питания и лучистой энергии среди всех талломов исследуемых водорослей. Результаты этих экспериментов позволили оценить потенциальную продукционную возможность анфельции. На втором этапе решалась задача интенсификации процесса выращивания, т. е. получение максимально возможного управляемого прироста биомассы с единицы площади и объема используемых систем культивирования. К факторам, определяющим продуктивность анфельции в интенсивной культуре, наряду с перечисленными выше нами были отнесены: концентрация биомассы в системе культивирования (на единицу освещаемой поверхности и объема культиватора), эффективность перемешивания питательной среды, концентрации биогенных веществ в поступающей в культиватор питательной среде и скорость ее поступления.

Исследование влияния факторов первой группы на рост массы водоросли проводили в маломасштабных установках (МЛК-1, МЛК-2, люминостат) с применением общепринятых методов планирования оптимизационных экспериментов. В результате была получена лабораторная культура анфельции с устойчивым во времени приростом биомассы. Удельная скорость роста массы анфельции составила  $1,9 \pm 0,15\%$  в сутки. По сравнению с природной анфельцией было получено 50-кратное увеличение скорости прироста биомассы. Содержание агара в культивируемой анфельции составляло  $16 \pm 2\%$  к массе сухого вещества.

В экспериментах по определению значений констант модели, описывающей рост массы макрофитов, лимитируемый лучистой энергией и биогенными веществами, использовалась анфельция, взятая с промышленного поля пролива Старка залива Петра Великого в Японском море. Талломы водорослей очищали от обрастателей и многократно промывали стерильной морской водой. Длительность всех экспериментов составляла не менее 45–60 сут. Анфельцию культивировали как в накопительном режиме, так и при периодическом (один раз в 14 сут) отборе до исходной биомассы. При расчете удельной скорости роста массы и урожая с единицы освещаемой поверхности фотореактора время адаптации (14–18 сут) водорослей не учитывалось. Продукционные характеристики анфельции рассчитывались на сырую биомассу (1 г сырой массы). Отношение сырой массы культивируемой анфельции к массе воздушно-сухой водоросли варьировало в пределах 0,4–0,45 ед. Поскольку основные затраты при культивировании автотрофных организмов приходится на обеспечение лучистой энергией культуры, определяющим управляющим фактором выбран поток света на освещаемую поверхность культиватора. Эксперименты с анфельцией проводили при культивировании ее на люминостате в колбах Эрленмейера и в большом лабораторном культиваторе (БЛК). В БЛК вместо фотореакторов труб-

чатого типа использовались разработанные нами фотореакторы плоскопараллельного типа с двойным ложным дном. Эти фотореакторы дают возможность вести процесс выращивания водорослей с использованием как искусственного, так и естественного света, что позволит в дальнейшем проводить в них исследования по оптимизации роста анфельдии при солнечном освещении. Схема фотореактора дана на рис. 5. Отличительной особенностью его конструкции является наличие перфорированного ложного дна, на котором равномерно размещают водоросли. Для предупреждения градиентов концентрации питательных веществ и неравномерности температуры по объему фотореактора последний оснащен распределительным коллектором среды.

На рис. 6 представлена зависимость удельной скорости массы анфельдии от скорости протока питательной среды при концентрации азота 22,18 мг/л. Насыщение прироста биомассы происходит при скорости протока среды, равной 0,01 л на 1 г сырой массы в сутки. Концентрация биомассы анфельдии на единицу освещаемой поверхности была такой, что свет не был лимитирующим фактором. Средний уровень облученности талломов анфельдии составлял 18–22 Вт/м<sup>2</sup> ФАР. Рассчитанные по модели параметры  $k_N$  и  $q_N$  равны соответственно 0,212 мг N на 1 л и 12,12 мг N на 1 г сырой массы. При высоких скоростях протока (выше 0,03 л на 1 г сырой массы в сутки) наблюдается ингибирование роста массы, что связано, по-видимому, с накоплением азота в среде, т. е. верхняя граница применимости модели для азота определяется величиной 665 мкг на 1 г сырой массы в сутки.

График зависимости продуктивности анфельдии от концентрации биомассы на единицу освещаемой поверхности представлен на рис. 7.

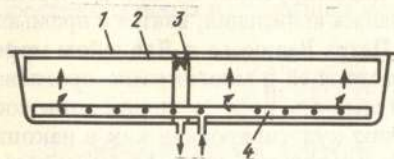


Рис. 5. Схема фотореактора:

1 — кювета фотореактора; 2 — перфорированное ложное дно; 3 — переливная трубка; 4 — распределительный коллектор для подачи питательной среды

Рис. 6. Влияние плотности посадки на удельную скорость роста (А) и продуктивность (В) *Gracilaria* sp. (Deboer, Ryther, 1978)

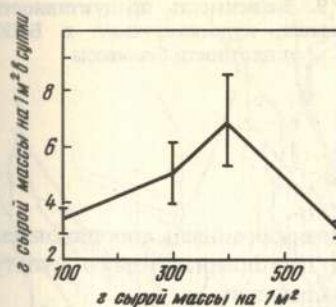
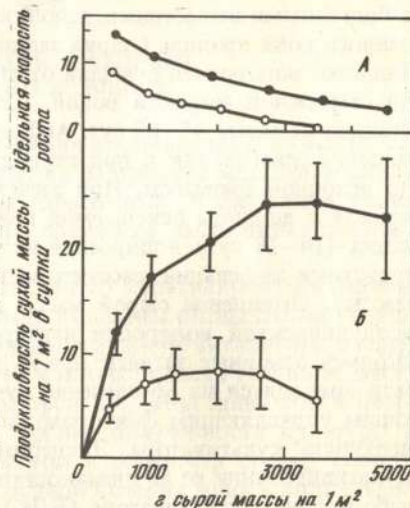
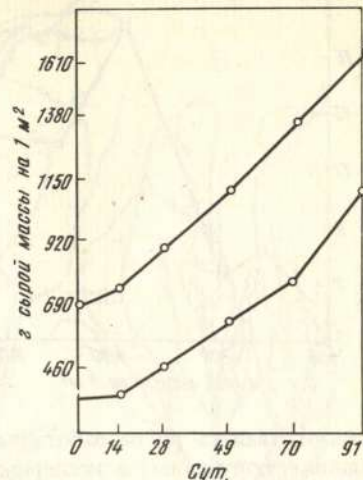


Рис. 7. Зависимость продуктивности анфельдии от плотности биомассы

Рис. 8. Динамика роста анфельдии в БЛК



Поскольку подача веществ на единицу биомассы была одинаковой, скорость прироста массы водоросли определялась лучистой энергией. Для интенсивности света 20–22 Вт/м<sup>2</sup> ФАР оптимальная концентрация биомассы определена в интервале 400–500 г сырой массы на 1 м<sup>2</sup>. Константа  $q_J$  для анфельдии равна  $2 \cdot 10^{-2}$  Вт·сут на 1 г сырой массы;  $\mu_m^J = 26,6 \cdot 10^{-3}$  сут<sup>-1</sup>.

График динамики роста массы анфельдии в БЛК при длительном культивировании дан на рис. 8. Скорость протока питательной среды стабилизировалась на уровне 0,02 л на 1 г сырой массы в сутки. Освещенность на поверхности фотореактора при облучении лампами ЛБ-80 составляла 40 Вт/м<sup>2</sup> ФАР. Закономерности роста культуры водоросли те же, что и при развитии микробной популяции в искусственных условиях. В начальный период (14–28 сут) наблюдается задержка в росте (лаг-период), в дальнейшем скорость роста анфельдии увеличивается и достигает максимальной величины к 60–80 сут. При этом удельная скорость роста анфельдии в фотореакторе различается и составляет 2,1 и 0,9% в сутки, что определяется различной плотностью биомассы. При достижении плотности биомассы в фотореакторе до значения 1380 г сырой массы на 1 м<sup>2</sup> наблюдается снижение скорости роста, которое обусловлено светолимитированием процессов биосинтеза. На рис. 9 представлена зависимость продуктивности анфельдии. Как видно из графика, оптимальная плотность биомассы для получения максимальной продуктивности анфельдии в БЛК составляет 1000–1200 г сырой массы на 1 м<sup>2</sup>. Теоретически рассчитанная оптимальная плотность биомассы при  $J = 40$  Вт/м<sup>2</sup> равняется 1000 г сырого вещества на 1 м<sup>2</sup>. Совпадение оптимальной плотности биомассы, полученной в эксперименте и рассчитанной теоретически, позволяет сделать вывод, что используемая мате-

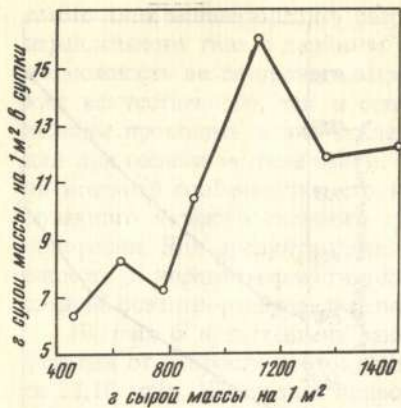


Рис. 9. Зависимость продуктивности анфельдии, культивируемой в БЛК, от плотности биомассы

математическая модель хорошо описывает светолимитируемую культуру анфельдии.

В эксперименте при культивировании анфельдии в БЛК были использованы значения управляющих факторов, которые

рассчитывались по разработанным математическим моделям на основе данных, полученных в экспериментах на люминостане. При этом был получен устойчивый, не лимитированный по элементам минерального питания рост водорослей. На основе этого можно сделать вывод, что используемый набор управляющих факторов и уравнения, связывающие их с продукционными характеристиками культуры водорослей, дают возможность осуществить масштабный перенос при разработке технологии культивирования анфельдии в промышленных масштабах.

Предлагаемый метод управления ростом водорослей дает возможность разработки технологии интенсивного культивирования макрофитов.

#### КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ГРАЦИЛЯРИИ

**Биология грацилярии на Дальнем Востоке.** У дальневосточных берегов Советского Союза произрастает три вида рода *Gracilaria*. Наиболее широко распространена *G. verrucosa* Papenf (Huds.) (рис. 10) — от залива Чихачева (Татарский пролив), где проходит северная граница ее ареала в Тихом океане, до залива Посьета на юге Приморья, на побережье Южного Сахалина и Южных Курильских островов (рис. 11). Другой вид грацилярии, обитающий в Амурском заливе Японского моря, похож на предыдущий цилиндрическим слоевищем и общим габитусом (рис. 12) и отличается некоторыми деталями морфологической структуры, глубиной произрастания, а также некоторыми биохимическими характеристиками. Условно он назван *G. species*. Третий вид относится к видам грацилярии, имеющим плоское слоевище (рис. 13), которая встречается в заливе Петра Великого и определена предварительно как *G. cuneifolia* (Okam.) Lee et Kurogi [46].

*Gracilaria verrucosa* является не только наиболее широко распространенным, но и наиболее массовым видом грацилярии у дальневосточ-

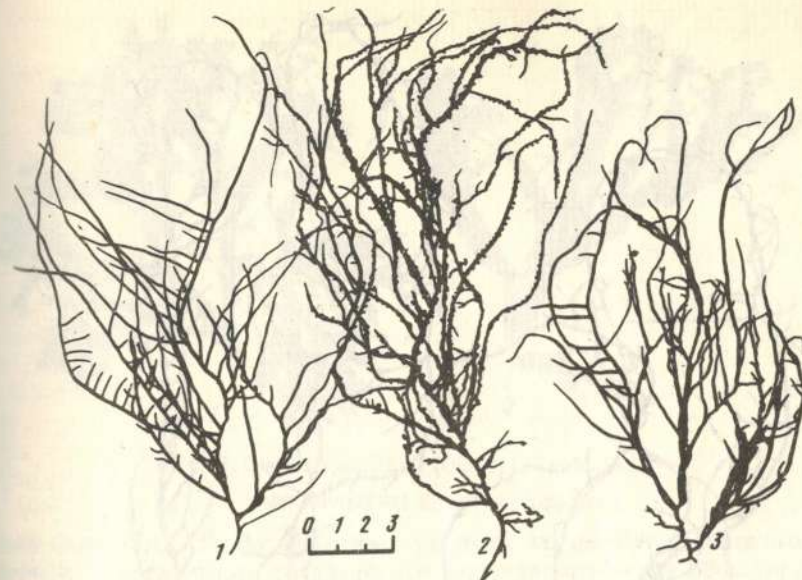


Рис. 10. *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf:

1 — тетраспорофит; 2 — карпоспорофит; 3 — мужской гаметофит

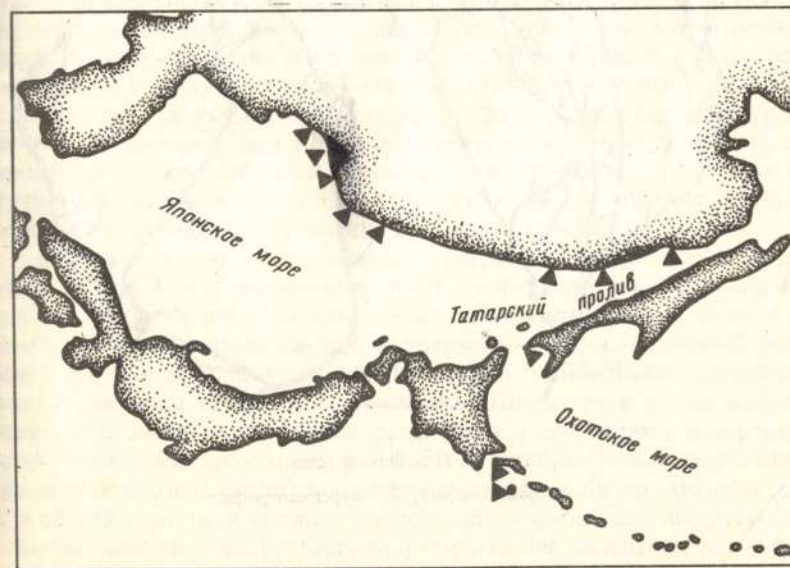


Рис. 11. Распространение *Gracilaria verrucosa* вдоль советских берегов Дальнего Востока



Рис. 12. *Gracilaria* species:  
1 – тетраспорофит; 2 – карпоспорофит

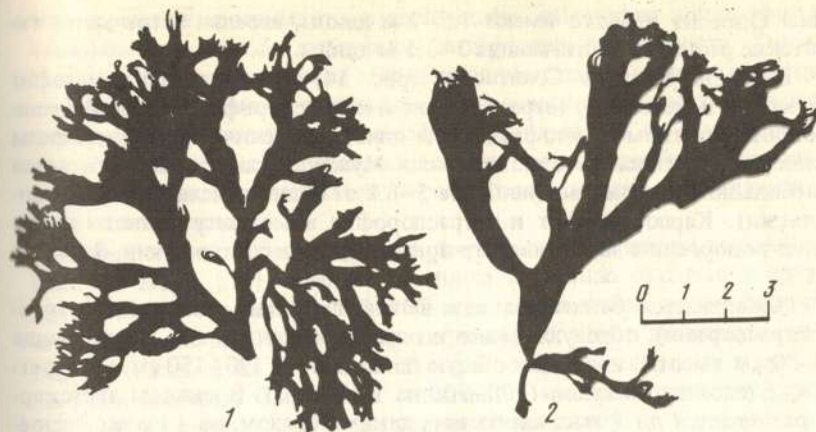


Рис. 13. *Gracilaria cuneifolia* (Okam) Lee et Kurogi:  
1 – карпоспорофит; 2 – тетраспорофит

ных берегов СССР. На некоторых участках залива Петра Великого в период максимального развития – в июле–августе – она образует заросли, измеряемые десятками тонн. Грацилярия бородавчатая обитает на небольшой глубине (от литорали до глубины 2–3 м), в хорошо прогреваемых участках заливов и бухт, на более или менее затленном грунте, прикрепляясь к находящимся в иле мелким камням и раковинам моллюсков. Поселяется обычно вблизи устьев рек или крупных ручьев, поскольку приносимые рекой питательные вещества способствуют лучшему росту и развитию этой водоросли, а опреснение прибрежной акватории, порой значительное до 17–20‰, исключает конкуренцию многих других видов морских водорослей и не дает возможности широко развиваться фитофагам. Грацилярия не только стойко переносит загрязнение местообитания сточными водами, но и успешно использует некоторые компоненты загрязнений для своего питания.

*G. verrucosa* вегетирует в течение круглого года. Только в самое холодное время года при отрицательной температуре воды с конца ноября по март не растет и даже несколько уменьшается в биомассе, расходуя запасные вещества для поддержания жизни. Активный рост происходит с мая по август. Стимулом к его возобновлению является температура воды около 10°C. Высокая температура в конце августа совпадает с завершением цикла развития и разрушением водоросли. Смена поколений происходит в августе–сентябре. Новое поколение, появившись в конце сентября – начале октября, не просто активно растет и развивается, но и начинает плодоносить – около 25–30% растений до конца ноября образует органы размножения, остальные уходят в зиму стерильными [46]. Взрослые полностью развившиеся слоевища *Gracilaria verrucosa* достигают в Амурском заливе 0,7–1 м длины. Слое-

вища *G. species* нередко имеют 1,5–2 м длины, изредка встречаются гигантские растения, достигающие 3–3,5 м длины.

В цикле развития *G. verrucosa* (рис. 14) представлены гаметофит (мужской и женский), тетраспорофит и карпоспорофит, который развивается на женском гаметофите после оплодотворения. Обычно все фазы развития представлены одновременно. Мужской гаметофит появляется в небольшом количестве (не более 5–8% от общего числа растений в популяции). Карпоспорофит и тетраспорофит к моменту полного созревания водоросли в июле–августе представлены в соотношении, близком к 1:1.

Размножается *G. verrucosa* как вегетативно, так и спорами (карпои тетраспорами), образующимися в огромном количестве. На слоевище 25–30 см высоты, имеющем общую длину ветвей 120–150 см, образуется 4–6 тыс. цистокарпов (700–900 на 1 г массы). В каждом цистокарпе развивается до 3 тыс. карпоспор, таким образом, на 1 г массы слоевища приходится 2–3 млн. карпоспор. Количество тетраспор, дающих впоследствии половые растения, посчитать крайне трудно, поскольку они закладываются, созревают и рассеиваются не одновременно. В одно и то же время в коре тетраспорофита можно обнаружить как зрелые и только начинающие развиваться тетраспорангии, так и их пустые оболочки.

В развитии дальневосточной грацилярии наблюдаются различные нарушения, их встречаемость довольно высока – 2–8% в пробе [47].

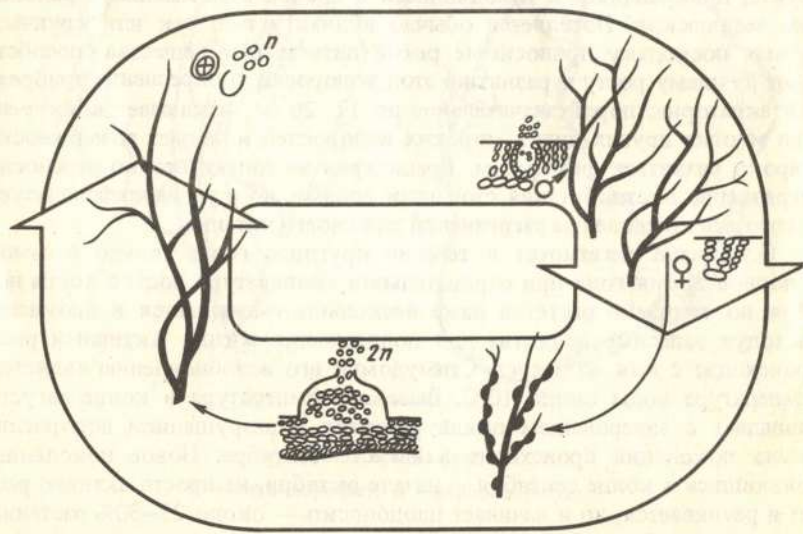


Рис. 14. Цикл развития *Gracilaria verrucosa*

Эти аномалии проявляются в следующем: гаметофит и спорофит представлены на одном слоевище; антеридиальные полости (мужской гаметофит) и цистокарпы (появляющиеся после оплодотворения на женском гаметофите) развиваются по соседству на одних и тех же ветвях растения; ветви тетраспорофита развиваются на гаметофите. Все это свидетельствует, видимо, о высоко развитой способности грацилярии к полиплоидии, что открывает широкие возможности для селекционных работ с этим видом.

*Gracilaria verrucosa* является прекрасным источником высококачественного агара [79]. Зрелые слоевища с хорошо развитыми органами размножения содержат до 27–35% агара, ювенильные растения почти наполовину меньше. Исследование двух других видов грацилярии показали, что каждый из них может быть источником агара, но агар *Gracilaria* sp. и особенно *G. cuneifolia* отличается как по количеству, так и по свойствам от агара *G. verrucosa*, уступаая последнему.

В процессе роста *G. verrucosa* накапливает некоторые микроэлементы, особенно титан, железо и марганец, что является следствием активно протекающих и в ее слоевищах процессов обмена, в которых эти микроэлементы участвуют. Содержание микроэлементов в водоросли на 2–3 порядка выше, чем в морской воде. Степень концентрирования тех или иных элементов значительно варьирует в зависимости от физиологического состояния водоросли. Так, ювенильные слоевища накапливают в повышенных количествах ванадий, титан, медь. Это объясняется тем, что перед началом образования органов размножения у водоросли, возможно, есть запас этих элементов [68]. Повышенное накопление микроэлементов водорослью не столько зависит от их содержания в морской воде, сколько от формы нахождения элементов в воде.

Многолетние наблюдения показывают, что *G. verrucosa* не образует промысловых запасов у советских берегов. В то же время распространение ее и биология, а также практика культивирования грацилярии в мировом масштабе убеждают, что *G. verrucosa* – исключительно перспективный объект для выращивания у дальневосточных берегов СССР.

Практика культивирования грацилярии за рубежом. Для того чтобы водоросль была перспективной для культивирования, необходимо, чтобы затраты на ее выращивание могли окупиться в сравнительно короткие сроки, следовательно, она должна обладать быстрым ростом и высокой продуктивностью при относительно невысокой требовательности к условиям культуры. Грацилярия бородавчатая обладает рядом биологических особенностей, которые позволяют отнести ее к наиболее перспективным для культивирования агароносам: наиболее высокими темпами роста среди всех известных агароносов, таких, как *Gelidium*, *Ahnfeltia*, *Eucheuma* и др.; растет и развивается в широком диапазоне основных параметров среды, определяющих ее рост, таких, как температура, соленость и освещенность; размножается как вегетативным путем, так и посредством спор, которые образуются на слоевищах в большом ко-

личестве; имеет короткий цикл развития; дает высокий выход (27–35%) агара [46, 47, 79, 89, 101, 102, 131, 140, 145].

Эти качества грацилярии уже давно получили признание. В настоящее время наряду с ее добычей в некоторых странах не только проводятся в широком плане экспериментальные работы с различными видами *Gracilaria* по введению их в культуру, но и начато ее промышленное выращивание [139, 140, 145].

При выращивании грацилярии широко используют такие ее биологические особенности, как способность быстро регенерировать при вегетативном размножении и образовывать большое количество спор.

Размножение спорами используют для получения рассады, которую затем доращивают в море или в бассейнах. Для этого простимулированные подсушиванием в течение нескольких часов зрелые слоевища грацилярии укладывают на разбросанные на дне бассейнов черепки, раковины моллюсков и прочий субстрат, которые затем через несколько дней переносят в море для доращивания осевших развивающихся спор. Можно оспаривать и различные нити из искусственных материалов, поскольку споры грацилярии оседают, прикрепляются и нормально прорастают как на натуральном, так и на синтетическом субстрате. В различных странах для культивирования используют около 15 из 160 видов, известных в настоящее время для рода *Gracilaria*.

Способность грацилярии размножаться вегетативно, фрагментами слоевищ, используют при получении агара. Существует много различных способов вегетативного выращивания грацилярии. Так, в Индии фрагменты слоевищ *G. edulis* вплетают в канат, который затем подвешивают в защищенных от прибоа местах. *Gracilaria edulis* обладает крайне ярко выраженной способностью к регенерации, благодаря чему в Индии собирают до трех урожаев этой водоросли, отрезая отросшую часть и оставляя небольшие фрагменты на канате для последующего возобновления. За год с 1 м каната собирают 3,5 кг грацилярии [134].

Широкомасштабное промышленное культивирование грацилярии проводят на о-ве Тайвань, используя для этого мелководные пруды площадью 1 га [140]. Из наиболее важных в экономическом отношении видов грацилярии, произрастающих на о-ве Тайвань, предпочтение при культивировании отдают *G. confervoides*. В апреле по дну прудов равномерно разбрасывают 500 кг водоросли, фиксируя ее старыми сетями во избежание скатывания в валки. Основной уход — это добавка удобрений, борьба с сорными водорослями и регулирование солености. При ее повышении в результате испарения с поверхности мелководных прудов добавляют пресную воду. С июня по ноябрь собирают урожай. На о-ве Тайвань применяется метод как монокультуры, так и поликультуры, когда вместе с водорослями поселяют креветок, крабов и некоторых рыб, которые не только увеличивают товарную стоимость продукции с плантаций, но с их помощью проводится активная борьба с водорослями-сорняками. Урожайность прудов — до 10 т сухой водоросли с 1 га.

В Канаде и США проводятся экспериментальные работы по выращиванию грацилярии в заводских условиях. Интенсивную культуру агароносов в этих странах ориентируют главным образом на такие виды, как *G. foliifera*, *G. species*, *G. tikvahiae* [102, 112, 116]. Выращивают водоросли в проточных танках или лотках различного объема или бетонированных траншеях, вырытых в грунте, в которых также налажен проток или циркуляция воды. Основные вопросы, которые решаются при этом, — плотность посадки и управление культурой, т. е. создание необходимых условий для максимального роста: скорости протока, освещенности, температуры воды, а также влияние добавок различных элементов на скорость роста и биохимический состав водоросли.

Очень важное значение имеет выяснение плотности посадки, от которой зависит расход посадочного материала, не всегда представленного в природе в достаточном количестве. По исследованиям канадских ученых, для большинства видов водорослей-макрофитов максимальный урожай достигается при плотности посадки 2,5 кг/м<sup>2</sup> [130]. При более низких плотностях наблюдается более быстрый рост водоросли, но общая урожайность с единицы площади снижается. Большим недостатком разреженной посадки становится сильное развитие эпифитов. По другим исследованиям, значительный прирост (15–20% в день) дает *G. foliifera* при плотности посадки 2,4–6,1 кг/м<sup>2</sup>. Для других агароносов плотность предусматривается еще больше: для *Chondrus crispus* — 5,9 кг/м<sup>2</sup>, для *Eucheuma* sp. — 12,2 кг/м<sup>2</sup>. Получаемые при этом урожаи достигают больших величин. Так, урожай *Chondrus* — 50 т/га сухой водоросли за шестимесячный период выращивания, *Eucheuma* — 36 т/га и т. д. [110].

**Экспериментальное выращивание дальневосточной грацилярии.** Эксперименты с грацилярией проводились в течение нескольких лет (1977–1983) и показали принципиальную возможность выращивания дальневосточной грацилярии в интенсивной и экстенсивной культуре. Продолжительность экспериментов не превышала 3 мес, чаще проводились 10–20-дневные опыты, направленные на выяснение способности грацилярии давать прирост биомассы при размножении ее вегетативным путем (фрагментами различной длины с верхушечным конусом нарастания и без вершинки). Живой материал, который в любой момент мог использоваться в экспериментах, сохранялся в лабораторных условиях с ноября до июля в танках объемом 150 л, при протоке не более 3–4 объемов в сутки.

Первые лабораторные опыты ставили своей задачей выяснить сравнительный прирост гаметофита и спорофита, поскольку посадочный материал в экспериментальных работах и при промышленном выращивании будет состоять в равной мере как из гаметофита, так и из спорофита, так как в природных популяциях эти две фазы развития представлены в соотношении, близком к 1:1. Результаты экспериментов показали, что значительной разницы в приросте слоевищ той или иной генерации

нет. Несколько быстрее растет мужской гаметофит, но он в популяции представлен в значительно меньшем количестве (2–5%) и после выполнения функции оплодотворения быстро отмирает. Таким образом, при посадке водоросли нет необходимости разделять карпоспорофит и тетрапорофит, что значительно облегчит задачу промышленного выращивания, поскольку требуется большое количество посадочного материала. Следовательно, для промышленных посадок можно рекомендовать природную смесь генераций без предварительной разборки материала.

Прирост растений в длину происходит не только за счет меристемы, находящейся на вершинке слоевища. Фрагменты без апикальных участков также активно прирастают в длину. Грацилярии, вероятно, свойствен диффузионный рост за счет сохраняющейся продолжительное время ростовой активности как клеток коры и подкорового слоя, так и крупных внутренних клеток сердцевин. Это весьма обнадеживающий факт, позволяющий в качестве посадочного материала использовать целиком все слоевище, разрезая его на фрагменты, и не отдавать предпочтение фрагментам с вершинками. Активную меристематическую роль играют подкоровые клетки, в результате деятельности которых фрагменты интенсивно ветвятся и их масса быстро увеличивается.

При вегетативном размножении грацилярии за рубежом используются фрагменты различной длины. Так, в Китае предпочитают фрагменты *G. verrucosa* длиной 20 см, в Индии фрагменты *G. edulis* — 2,5–3, в Шри Ланке фрагменты *G. lichenoides* — 2 см [134, 139]. Наши исследования проводились с фрагментами длиной 2,5±10; 15 и 20 см, в результате которых была обнаружена тенденция к увеличению выхода биомассы при уменьшении их длины. Видимо, меньшие по размеру фрагменты могут полнее реализовывать свою способность к активному росту, чем более длинные. И хотя наиболее оптимальную длину фрагментов еще предстоит выяснить, большинство дальнейших наших исследований основывалось на использовании фрагментов длиной 10 см, что удобнее при работе вручную с большим количеством материала (тысячи фрагментов при экспериментальных работах и астрономическое их число при плантационном выращивании грацилярии для получения агарового сырья).

Следующей серией экспериментов предстояло выяснить влияние определяющих рост и развитие водоросли различных параметров среды: температуры воды, солености, освещенности, протока. В результате экспериментов была определена зависимость прироста биомассы от создаваемых параметров среды, а также установлено, что три фактора (температура, освещенность и соленость) взаимосвязаны и, варьируя ими, можно управлять как приростом биомассы при интенсивном культивировании водоросли, так, возможно, и биосинтезом агара.

Выявление оптимальной солености имеет важное значение для последующих работ по подбору участков акватории для размещения промышленных плантаций грацилярии. Диапазон солености, при которой грацилярия нормально растет и развивается, исключительно широк —

8–50‰, что неоднократно подтверждалось экспериментами [46, 89, 102, 140]. Грацилярия хорошо растет в широком диапазоне солености — от 10–12 до 32–34‰, но наиболее благоприятно на процессах роста скажется пониженная соленость, чем, видимо, и объясняется предпочтительное поселение ее в устьях рек и ручьев. Однако границы оптимальной солености необходимо уточнить после проведения работ по выяснению влияния уровня солености на синтез агара, т. е. все последующие работы должны проводиться при строгом биохимическом контроле.

Рост грацилярии заметно активизируется при повышении температуры до определенных пределов. В октябре–ноябре темпы роста ее в природных условиях заметно снижаются. При перенесении водоросли в конце ноября из моря (температура воды 4°C) в лабораторные условия (температура 8–14°C) ростовая активность возобновляется и в декабре наблюдается прирост биомассы 11–12% в день (на короткое время — до 20%). Затем скорость роста начинает падать, и чтобы вновь ее поднять, требуется уже создание условий, т. е. управление культурой, в частности, подъем температуры до 18–20°C, что активизирует рост фрагментов. Однако дальневосточная грацилярия не требует для своего роста экстремально высоких температур (30–37°C). Особенно показательными в этом плане являются наблюдения за ростом *G. verrucosa* в самой северной точке ее ареала в тихоокеанском бассейне — в Татарском проливе (залив Чихачева). Здесь максимальная температура воды 16–17°C устанавливается на короткое время в августе. Тем не менее слоевища грацилярии достигают длины 50–70 см и дают полноценные споры.

Таким образом, плантации грацилярии вполне можно создавать на участках акватории дальневосточных морей, где температура воды летом достигает 18–22°C и соленость несколько понижена — 25–29‰. Определены и примерные границы параметров среды, необходимые для выращивания грацилярии в интенсивном режиме: освещенность около 8–9 тыс. лк, соленость 10–20‰, температура воды в пределах 10–20°C. Эти параметры, однако, необходимо варьировать в некоторых пределах в процессе выращивания.

**Плантационное выращивание грацилярии.** Методы и способы посадки грацилярии фрагментами на морских плантациях в литературе описываются только в общих чертах, воспользоваться ими в практической работе не представляется возможным. По существу, нами использовалась только идея посадки водоросли на плантациях фрагментами. Все частные вопросы: размеры фрагментов, плотность посадки, субстрат, глубины выращивания и т. д. — должны разрабатываться конкретно для каждого вида и для каждого района.

По результатам лабораторных экспериментов и определению оптимальных условий для выращивания дальневосточной грацилярии в культуре с учетом особенностей ее биологии в начале 1980 г. были составлены предварительные рекомендации по выращиванию грацилярии на

опытных установках, в основу которых был положен опыт существующих в Приморье ламинариевых плантаций. Установка для культивирования грацилярии была разработана в Дальневосточном филиале научно-производственного объединения Промрыболовства. Установка представляет собой раму 3x20 м или 6x50 м из капронового каната (40 мм), закрепленного на якорях на глубине 0,5 м, к которой подвешивают наплава для обеспечения плавучести сооружения. Между канатами прикрепляются капроновые поводцы длиной 3 м и толщиной 6–8 мм, в витки которых вплетаются фрагменты водоросли.

Полевые эксперименты, которые были проведены в различных районах акватории залива Петра Великого: в бухте Миносок (залив Посыета) и бухте Алексева (о-в Попова) – подтвердили перспективность и принципиальную возможность выращивания грацилярии на плантациях у побережья Японского моря. Вместе с тем эти эксперименты показали и непригодность для выращивания грацилярии методов и способов, применяемых для культивирования ламинарии. В июне 1980 г. на установках было высажено 12 тыс. фрагментов *G.verrucosa* длиной 10–15 см и массой 0,1–0,2 г с небольшой примесью *G.species*. Целью экспериментов было получение сведений о характере и темпах роста фрагментов грацилярии на морских плантациях в различных районах акватории. Мониторинг осуществлялся с периодичностью 7–10 сут.

В течение июня–июля наблюдался энергичный рост фрагментов. В первые недели удвоение массы водоросли происходило в среднем за 10 сут, затем темпы роста резко пошли на убыль. Это совпало с интенсивным развитием сорных водорослей *Polysiphonia japonica*, *Ceramium* sp., *Enteromorpha* sp. и быстрым ростом гидроидов, масса которых к концу июля – началу августа составляла  $\frac{1}{4}$  массы водорослей. В августе фрагменты *G.verrucosa* в полном соответствии с циклом ее развития начали интенсивно разрушаться, в то же время фрагменты *G.species* продолжали активно расти даже на этих, как выяснилось впоследствии, неблагоприятных для выращивания грацилярии участках акватории и к середине октября порой достигали высоты 30–40 см и более и массы 20–30 г, сохраняя темный цвет и упругую консистенцию (рис. 15). В сентябре на плантациях наблюдалось массовое оседание личинок *Mutilus edulis* как на самих водорослях, так и на плантационных сооружениях. Отдельные части сооружений были сплошь покрыты "щеткой" мидий, что значительно осложняло мониторинг.

В последующие годы эксперименты в море проводились по более широкой программе. Одна из главных задач – было выяснить минимальное расходование посадочного материала для выращивания грацилярии на плантациях (оптимальную плотность посадки и длину фрагментов, наилучшую глубину выращивания и т. д.). В связи с тем что расход посадочного материала при культивировании водоросли фрагментами очень большой (около 500 кг на 1 га площади плантаций), а запасы водоросли в дальневосточных морях крайне ограничены, на плантации было выса-

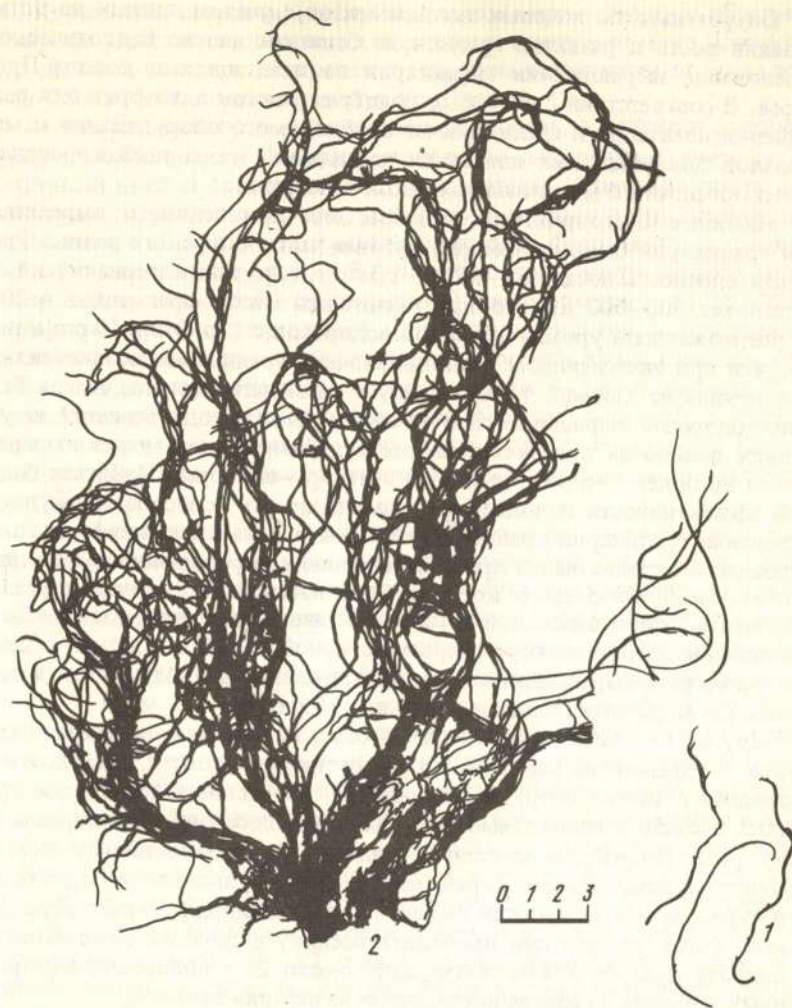


Рис. 15. *Gracilaria species*, выращенная на плантации:

1 – посадочные фрагменты (июнь); 2 – выращенный материал (октябрь)

жено 8,5 тыс. фрагментов (242 трехметровых поводца) *G.verrucosa* и *G.species* по 1, 2 и 3 фрагмента длиной 5, 10 и 20 см через 5, 10 и 20 см на поводце. Мониторинг осуществлялся по таким параметрам, как прирост длины и массы водоросли (через каждые 10 сут), появление и развитие обрастателей, контроль температуры воды на плантации (ежедневно), соленость, pH, содержание кислорода в воде.

По результатам полевых экспериментов с учетом данных по оптимизации роста и развития грацилярии было составлено биологическое обоснование выращивания грацилярии на плантациях в южном Приморье. В соответствии с этим был подобран участок акватории для размещения плантации и сделан расчет необходимого оборудования и материалов для установки плантации площадью 1 га, а также проведен расчет посадочного материала для такой плантации.

Наиболее благоприятным районом для экстенсивного выращивания грацилярии была определена кутовая часть Амурского залива. Расчетная плотность посадки — 55–65 г/м<sup>2</sup>, т. е. расход материала на 1 га составляет 500–600 кг, что при увеличении массы фрагментов в 20–25 раз может дать урожай 1 т сухой водоросли с 1 га. Это в 10 раз меньше, чем при экстенсивном культивировании грацилярии в одногектарных прудах на Тайване [140]. Следует учитывать, однако, что на Тайване водоросль выращивается в течение круглого года, в наших же условиях водоросль при экстенсивном культивировании может выращиваться не более 5–6 мес (с мая по сентябрь–октябрь). Добиться большей эффективности поводцевого "ламинариевого" способа при культивировании грацилярии крайне сложно. Поэтому на ближайшие годы планировалось использование при плантационном выращивании грацилярии сетей с ячейей 15×15 см, в которую вплетаются те же 10-сантиметровые фрагменты, как это делается в Японии. Главные же усилия должны быть направлены на разработку совершенно новой технологии, которая подходила бы для выращивания водоросли именно этого вида с учетом особенностей ее развития в дальневосточных морях.

Другой не менее важной задачей было изучение спорогенеза грацилярии — завершение работ по споровой продуктивности, исследование динамики развития спор, их рассеивания, прорастания и развития проростка в связи с необходимостью получения посадочного материала из спор [46]. Природные заросли грацилярии у дальневосточных берегов крайне скудны, запасы ограничены. По результатам исследований в Амурском заливе имеется около 400 т грацилярии. Таким образом, в мае, когда необходимо проводить посадку водоросли на плантации, в природе едва ли можно обнаружить около 20 т водоросли в разрозненных зарослях на различных участках акватории залива.

Получение посадочного материала из спор и разработка новой технологии выращивания грацилярии фрагментами — наиболее актуальные задачи на ближайшие несколько лет.

#### БИОЛОГИЯ И КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ЛАМИНАРИИ ЯПОНСКОЙ

**Биология развития.** Ламинария японская (*Laminaria japonica* Aresch) произрастает от побережья КНДР до северной части о-ва Хонсю (до 50° с.ш.), а также у Южного и Юго-Восточного побережья Сахалина и у Юж-

ных Курильских островов [61]. В Японском море ламинария образует обширные заросли на каменистых и галечных грунтах от мыса Поворотного до мыса Бычьего. Ее заросли в основном встречаются от уреза воды до 25 м. Обычно промысел ведут с глубины 5–12 м.

Ламинария японская — двулетняя водоросль, в развитии которой чередуются бесполое (спорофит) и половое поколение (гаметофит). Жизненный цикл ее сводится к следующим этапам. Осенью на пластине ламинарии созревают зооспоры, которые выходят в воду, оседают на подходящем субстрате и прорастают к январю–февралю через стадию гаметофита в молодые спорофиты, достигающие к июлю первого года жизни 2–3 м длины и 20 см ширины. С прогревом воды до 18–20°C спорофиты начинают разрушаться от вершины пластины к основанию. С осенним охлаждением воды пластины водоросли вновь начинают отрастать и к лету второго года достигают длины 4–5 м и ширины 25–40 см. Осенью на второгодних пластинках созревают зооспоры, которые затем выходят в воду, чтобы дать жизнь новому поколению. После этого материнские слоевища отмирают, жизненный цикл завершается (рис. 16).

Спорофиты ламинарии продуцируют множество зооспор. Так, одно взрослое растение ламинарии, покрытое спороносной тканью на 70%, в первой декаде октября содержит около 80 млрд. зооспор, которые по мере созревания выходят из спорангиев в воду. Зооспоры очень малы — 3–5 мкм. Они способны активно двигаться за счет двух жгутиков. Зооспоры созревают в спорангиях — овальных образованиях длиной 70–75 мкм и шириной 10–12 мкм. Спорангии в совокупности создают спороносный слой, который на пластинках ламинарии выглядит как утолщение до 1 мм. Спороносная ткань на второгодних талломах начинает образовываться с июля–августа, максимального развития по площади и зрелости достигает с конца сентября до середины октября и разрушается в зависимости от мест произрастания ламинарии и гидрологических условий к ноябрю–декабрю. Созревшие зооспоры выходят через отверстие в спорангии, которое образуется к моменту созревания зооспор. При отсутствии опреснения, действия прямого солнечного света, температуре воды 10–15°C зооспоры сохраняют двигательную способность около 24–28 ч. Траектория их движения и активность характеризуются несколькими стадиями: I — движение хаотичное, очень активное; II — спиралеобразное, менее активное; III — по окружности — от 20 до 50 об/мин; IV — вращательное движение свободной части зооспоры вокруг закрепленной и одновременно колебательные движения. После этого прикрепившаяся зооспора теряет жгутики и округляется, у нее появляется оболочка и зооспора превращается в эмбриоспору.

Направление движения зооспор определяется интенсивностью света. При высокой освещенности зооспоры проявляют отрицательный фототаксис [137]. Самостоятельно, только лишь за счет своей активности зооспора может преодолеть расстояние в 3,5 м. Благодаря приливно-от-

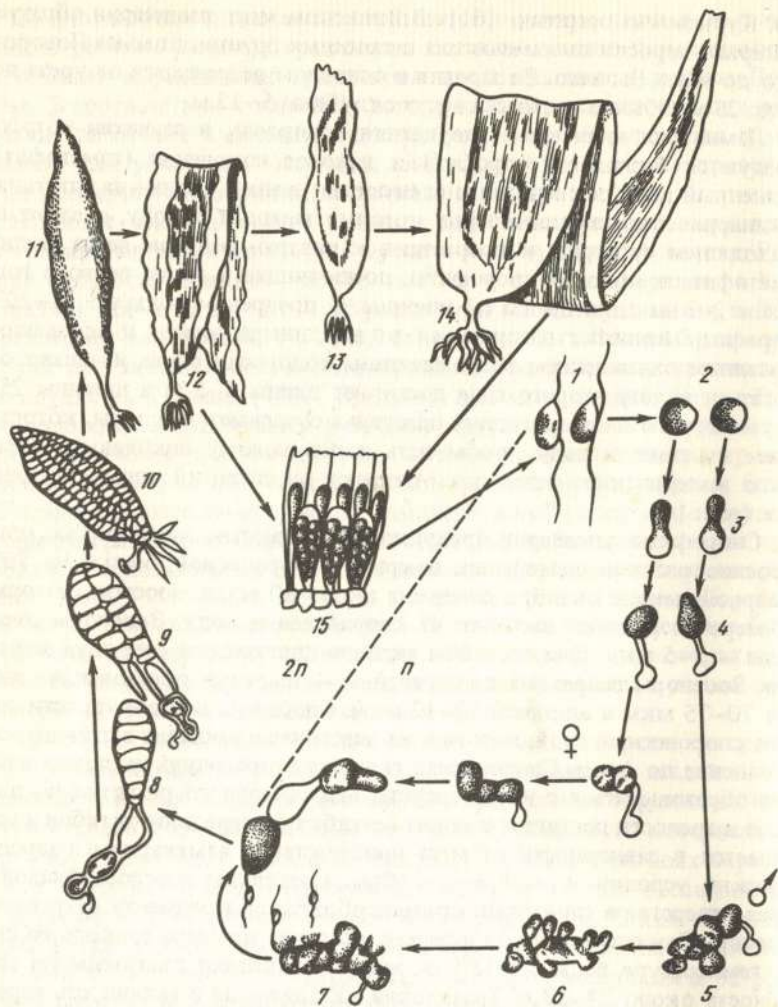


Рис. 16. Жизненный цикл ламинарии японской:

1 — зооспоры; 2 — эмбриоспоры; 3 — прорастание зооспор; 4 — одноклеточные гаметофиты; 5 — мужские и женские гаметофиты; 6 — образование гаметангиев; 7 — зрелые гаметофиты; 8 — нитчатый спорофит; 9 — однослойный спорофит; 10 — многослойный спорофит; 11–13 — первоегоднее слоевище; 14 — второегоднее слоевище; 15 — спороносная ткань

ливным и постоянным морским течениям они распространяются на значительные расстояния. Так, зооспоры ламинарии обладают движением при температуре воды от 2 до 18°C. При 20°C гибнут женские зооспоры, при 22°C — мужские [96]. В природе массовый выход зооспор в женские и мужские гаметофиты. Женские гаметофиты обычно состоят из нескольких клеток, а мужские — многоклеточные. Если гаметофиты попадают в хорошие условия, то они продуцируют минимальное количество клеток и на них образуются половые органы, после чего происходит оплодотворение. Из оплодотворенных яйцеклеток развивается спорофит — сначала однослойный, а затем многослойный.

Обычно в природе от момента выхода зооспор до появления видимых глазом проростков проходит 90–120 сут. Такой длительный период уходит на развитие потому, что гаметофиты плохо растут при резких перепадах температуры и освещенности, недостатке питательных веществ в море. При одногодичном культивировании ламинарии в первую очередь добиваются сокращения сроков выращивания гаметофитов и ранних спорофитов за счет подбора оптимальных условий для их роста в бассейнах на берегу.

Рост спорофитов ламинарии проходит активно. Особенно интенсивно они растут в зимне-весенний период, когда температура воды равна 2–14°C и в воде имеется достаточное количество биогенов. К концу мая растения, еще не достигшие однолетнего возраста, уже имеют длину до 3–5 м. С летним прогревом воды до 18–20°C и снижением концентрации биогенов начинается процесс разрушения слоевищ от вершины к основанию и он тем сильнее, чем выше температура воды. Так, в северных районах Приморья, где температура летом не бывает выше 14–18°C, слоевища лишь приостанавливаются в росте и затем с осенним охлаждением до 15–14°C начинают вновь отрастать, поэтому в северном Приморье ламинария достигает наибольших размеров. В южном Приморье, где температура поднимается выше 20°C, пластины разрушаются до основания, а при плантационном выращивании у поверхности воды — до ризоидов, т. е. полностью. Осенью пластины начинают отрастать и к лету второго года жизни в зависимости от мест произрастания достигают длины 1–5 м, ширины 10–40 см, массы 200–1500 г.

На первоегодних слоевищах часто можно наблюдать спороносную ткань, однако большая часть их остается стерильными. Все второегодние слоевища продуцируют спороносную ткань в тех или иных объемах, стерильных особей нет. Однако индивидуальная способность слоевищ к спорообразованию различна: к сентябрю–октябрю 8–10 слоевищ из 100 покрываются спороносной тканью до 60–80%, остальные — до 50%. После созревания спорангиев и выхода зооспор жизненные функции второегодних слоевищ затухают; ризоиды теряют свою крепость, слоевища полностью разрушаются.

**История культивирования ламинарии.** Ведущими странами по выращиванию водорослей являются Япония, КНР, КНДР и Южная Корея.

В этих странах ламинарию выращивают в промышленных масштабах с применением разнообразных способов: сбрасывание на дно районов культивирования камней, устройство террас, удобрение, пересадка, ярусное культивирование, установка запретных зон промысла, очистка дна и др. [95].

Первые опыты по разведению ламинарии японской начали в Китае. В 30-е годы нашего столетия из Хоккайдо, Аомори, Ивате и других префектур Японии в район порта Дальний были доставлены спороносящие маточные слоевища ламинарии и прикреплены к камням. Зооспоры проросли, и через несколько лет в этих местах появились довольно густые заросли морской капусты. Однако целенаправленное разведение ламинарии в Китае начато только с 1942 г., но уже к 1944 г. были получены урожай в 300 т. С 1955 г. выращивание капусты в Китае стало рентабельным, и к настоящему времени плантации ламинарии расположены вдоль всего побережья страны, создавая своеобразный водорослевый пояс. Плантации ламинарии расположены даже в самых южных районах Китая (до 26° с.ш.), где температура воды на поверхности достигает 24–28°C, что является крайне неблагоприятным для ее роста. Умение выращивать ламинарию при таких высоких температурах свидетельствует о большой селекционной работе, проведенной китайскими водорослеводами. В настоящее время в Китае с плантаций ежегодно добывают более 1,4 млн. т [136].

С 1962 г. ламинарию начали культивировать и в КНДР. За короткий период водорослеводство в этой стране достигло огромных масштабов: в 1970 г. урожай составил около 300 тыс. т [14]. В настоящее время в этой стране осваивается выращивание ламинарии в одногодичном цикле.

В последнее время ламинарию японскую также начали интенсивно культивировать и в Японии. Здесь до 1970 г. морскую капусту преимущественно добывали из естественных зарослей. В настоящее время практически все северное побережье Японии (у о-ва Хоккайдо и северной части о-ва Хонсю) используется для разведения ламинарии. Площадь ламинариевых плантаций в прибрежных водах о-ва Хоккайдо составляет более 1700 га [77]. Большое внимание в Японии уделяется выращиванию ламинарии по одногодичному циклу, для чего форсированным путем в бассейнах на берегу при оптимальных температуре, освещенности, подкормке за короткий срок получают рассаду и в море на плантации доводят ее до товарных размеров за 8–10 мес [107].

В нашей стране экспериментальное культивирование ламинарии японской было начато в 50–60 годах на о-ве Сахалин. Испытывалось несколько способов выращивания: на дне, на камнях, заранее сброшенных в море, и у поверхности воды на "плавучих рейках". Оба опыта дали положительные результаты [69]. В Приморье проводились экспериментальные работы в полупроизводственном масштабе. В 1972 г. была установлена водорослевая плантация на базе рыбозавода "Валентин" площадью 1 га. Эксперимент дал положительный результат, и

осенью 1973 г. здесь была заложена первая плантация на площади 26 га. В дальнейшем район расположения плантаций был значительно расширен: в 1976 г. появились опытные плантации в Северном Приморье, в районе рыбозавода "Каменский" и Южном Приморье — у пос. Анна. К настоящему времени общая площадь ламинариевых плантаций в Приморье достигает 100 га, а средняя продуктивность составляет около 70 т/га.

Результаты научных исследований и накопленный опыт выращивания ламинарии японской позволяют в настоящее время осуществить крупномасштабные мероприятия по созданию высокопродуктивных морских хозяйств на дальневосточном побережье СССР.

**Культивирование ламинарии в двухгодичном цикле.** Наиболее удобными местами размещения плантаций ламинарии являются полузакрытые бухты, ограниченные далеко выступающими в море мысами. Эти бухты имеют хороший водообмен, поскольку связаны с открытым морем, что обеспечивает постоянный подток биогенов для роста ламинарии, и в то же время мысы прикрывают плантацию от волнения, что необходимо для ежедневного выхода рабочих-водорослеводов на плантации для работы по уходу за ламинарией.

Основу конструкций водорослевых плантаций составляет система последовательной установки П-образных элементов параллельными рядами с интервалом 8 м. В зависимости от волнений, течений и других факторов определены оптимальная длина рабочих горизонтальных канатов, способ их установки относительно влияния основных действующих нагрузок. Наиболее удачным является длина горизонтальных канатов 40–50 м, поставленных перпендикулярно береговой черте.

Биотехнологическая схема выращивания ламинарии японской в двухгодичном цикле включает пять основных этапов:

получение спор и оспоривание субстратов зооспорами зрелых маточных слоевищ;

выращивание рассады на посадочно-выростных субстратах в море; прореживание и пересадка спорофитов на новые выростные подводки;

контроль за выращиванием ламинарии до товарных размеров; сбор урожая (рис. 17).

При двухгодичном цикле все этапы культивирования ламинарии — от сбора спор до получения товарной пищевой продукции — находятся в прямой зависимости от условий среды. Вегетативной зрелости на плантациях спорофиты достигают на втором году жизни, через 17–18 мес после осадения зооспор ламинарии на искусственный субстрат.

При двухгодичном цикле для получения стабильной продуктивности морской капусты с плантаций необходимо ежегодно получать большое количество рассады (посадочного материала) на подводках-субстратах — основы будущего урожая. Количество спорофитов, получаемых на субстратах в природных условиях, во многом зависит от ка-

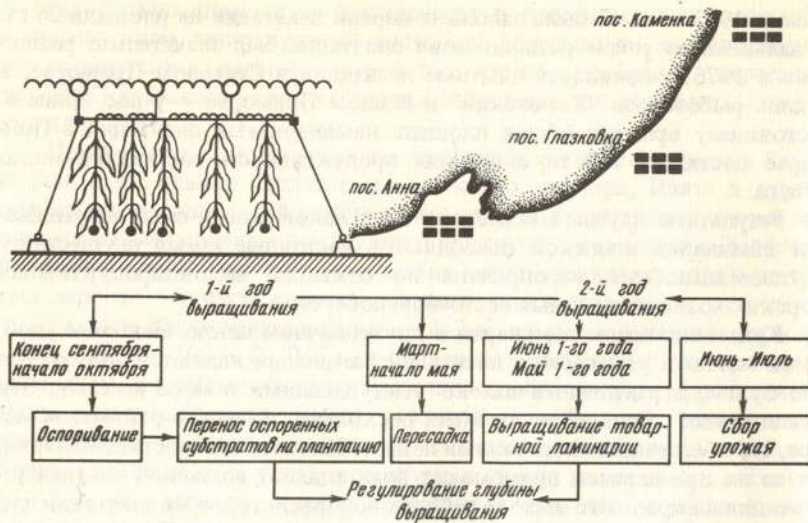


Рис. 17. Биотехнология культивирования ламинарии японской в двухгодичном цикле

чества отбора зрелых маточных слоевищ, правильно выбранных сроков оспоривания, глубины размещения субстратов с зооспорами в море на установках, службы ухода и контроля за ними, освещенности, ледовой обстановки.

Заготовка и доставка на берег зрелых маточных слоевищ. Качественный сбор спор в период оспоривания поводцов-субстратов является одним из важнейших моментов при разведении и выращивании ламинарии. Для оспоривания лучше использовать только второгодние слоевища из естественных зарослей. Первогодние растения обычно не используют: они дают мало спор или споры из них не созревают. В отличие от двулетних однолетние спорофиты имеют удлиненное клиновидное основание (место соединения черешка и пластины). Признаком хорошей зрелости маточных слоевищ является сильно выраженная темно-бурая окраска. Созревшие второгодние растения имеют овальную форму.

Заготовку маточных слоевищ лучше проводить рано утром. С мелководья (глубины 0,5–4 м) слоевища добывают с помощью канзы (приспособление для сбора морской капусты из естественных зарослей), с больших глубин – с помощью водолазов. У добытых слоевищ обрезают ризоиды, сортируют, отбирая самые крупные, здоровые, без механических повреждений и обрастаний растения с хорошо развитой репродуктивной тканью, площадь покрытия которой должна составлять не менее 50–80%, или  $\frac{2}{3}$  длины слоевища.

Наиболее благоприятным периодом промышленного получения

спор для водорослевых хозяйств в Приморье является вторая половина сентября – начало октября. В эти сроки большинство двулетних слоевищ имеют хорошо развитую и зрелую репродуктивную ткань. Состояние и качество слоевищ как маточных производителей очень хорошее.

Добытые слоевища укладывают на дно лодки и транспортируют на берег без воды, под влажным брезентом. Стимулирование, или подсушку, маточных слоевищ можно проводить в любом чистом и хорошо проветриваемом без доступа солнечных лучей помещении. К 10–12 ч слоевища должны быть полностью развешаны (на расстоянии 20–30 см) и начато их стимулирование.

Стимулирование маточных слоевищ. Для искусственного оспоривания субстратов важно, чтобы споры выходили одновременно, быстро и в массовом количестве. Для этого проводят стимулирование слоевищ путем их подсушивания. Время подсушки не одинаково и зависит от состояния морской капусты, температуры и циркуляции воздуха в помещении и влажности.

Оптимальными условиями для стимулирования маточных слоевищ являются температура 14–18°C и влажность воздуха не более 80–85%. Продолжительность подсушки при таких условиях составляет 4–5 ч. В плохо проветриваемом помещении при более низких температурах (8–12°C) максимальная подсушка может продлиться до 1 сут. Во время сушки слоевищ при низких температурах выход спор и дальнейшее их прорастание в море происходят нормально.

Контроль за выходом спор из спорангиев в период стимулирования слоевищ должен осуществляться постоянно, чтобы не пересушить водоросли, иначе споры могут погибнуть. Первая контрольная проверка интенсивности выхода спор из спорангиев проводится через 2 ч, затем – через каждые полчаса. Для этого на пластины (не менее 8–10 слоевищ) наносят несколько капель морской воды. Через 15–20 мин глазной пипеткой берут каплю воды с поверхности пластин, помещают ее на предметное стекло и рассматривают под микроскопом при 120-кратном увеличении. Если в поле зрения находится менее 10 зооспор, подсушка продолжается, если 30–50 спор – маточные слоевища пригодны для оспоривания субстрата.

Оспоривание субстрата. Емкостями, в которых проводят оспоривание, могут служить лодки, баки, чаны (4x3x0,5 м), пластмассовые лотки. Используемые емкости должны быть чистыми и не протекать, чтобы субстрат все время находился в воде и не осушался. Субстрат (капроновые веревки длиной 5,4 м, диаметром 5–6 мм) предварительно вымачивают 5–7 дней в морской или проточной воде для удаления вредных химических веществ, затем просушивают на воздухе для удаления спор водорослей и личинок морских животных.

Закладка в емкости поводцов-субстратов и маточных слоевищ обычно проходит в вечернее время суток (18–19 ч). В емкость послойно кладут подсушенные слоевища, чередуя их с субстратом, до 5–6 слоев.

После укладки слоевищ и субстрата в емкости заливают насосом морскую воду, уровень которой над уложенными слоевищами устанавливается 10–15 см.

Когда маточные слоевища сохнут, спорангий вследствие потери воды высыхает, сжимается. Если слоевища снова поместить в воду, то спорангии начинают впитывать воду и из-за повышения тургорного давления стенки клеток разрываются и происходит выход зооспор. Споры, вышедшие из спорангов в течение 2–3 ч, вначале активно плавают, затем начинают оседать на субстрат.

Для определения степени прикрепления спор на субстраты между рядами (слоями) кладут предметные стекла, которые периодически просматривают под микроскопом при 120-кратном увеличении. Если в поле зрения более 30–50 осевших спор, оседание можно считать хорошим. Для прикрепления спор к субстрату требуется 8–9 ч. Максимальная задержка субстрата в емкостях при температуре воздуха не выше 10–12°C может составить сутки.

Размещение оспоренных субстратов в море на плантации. В 6–7 ч утра следующего дня (чтобы избежать большого освещения) субстраты с прикрепившимися на них спорами транспортируют под влажным брезентом в море на установки. Все горизонтальные канаты в это время находятся на поверхности воды.

Прорастание зооспор и развитие гаметофита (микроскопические растения мужские и женские) идут на глубине 2 м, поэтому канаты с вывешенными на них поводцами необходимо сразу заглубить.

Весь процесс от начала стимулирования маточных слоевищ до опускания субстрата в море занимает 24 ч: до 10–12 ч дня подвозят маточные слоевища и развешивают в помещении; в 18–19 ч стимулирование заканчивается, и в течение 8–9 ч (до 2–3 ч ночи) происходят выход спор из спорангиев и прилипание их к субстрату; на рассвете следующего дня субстрат с прилипшими зооспорами развешивают в море на горизонтальных канатах на расстоянии 0,5 м друг от друга.

Уход за оспоренными поводцами. Основная работа — уход за прорастанием зооспор и образованием женских и мужских гаметофитов. В течение 10–15 дней гаметофиты очень чувствительны, поэтому оспоренные поводцы не трогают. В естественных условиях в осенне-зимний период происходит сильное обрастание субстратов диатомовыми и нитчатыми микроводорослями, оседают взвешенные частицы детрита. В отдельные годы микроводоросли покрывают всю поверхность выростных субстратов, толщина которых в зимний период бывает значительных размеров. Они, как известно, подавляют рост и развитие гаметофитов и ювенильных стадий спорофита. Поэтому для улучшения светового режима поводцы необходимо чистить от диатомовых водорослей, илстых наносов путем их встряхивания. Чистка поводцов проводится периодически, не реже 1–2 раз в месяц, с ноября по февраль включительно.

Прореживание и пересадка. В период развития гаметофитов, когда температура воды в море в течение 15–20 дней не опускается ниже 8–10°C (для образования гаметофитов оптимальной является 10–12°C), его развитие протекает нормально. Спорофиты размером 1–5 мм появляются и становятся видны невооруженным глазом во 2–3 декадах декабря, через 75–90 дней (микроскопическая стадия развития морской капусты приурочена к зимнему периоду) после осадения зооспор. На одном пятиметровом поводце прорастает более 3–4 тыс. спорофитов.

При плохих погодных условиях (появление льда), когда оспоривание субстратов проводится во 2–3 декадах октября (в эти сроки температура воды в море в отдельные годы резко понижается до 4–6°C), прорастание зооспор, развитие гаметофитов и ювенильных спорофитов замедляется, они появляются в конце февраля–марте, через 90–110 дней.

С появлением маленьких спорофитов (размером 10–15 см или несколько больше) необходимо провести подъем канатов с поводцами на глубину 0–0,5 м для ускорения роста появившейся рассады.

Для дальнейшего товарного выращивания при достижении растениями размеров 50–80 см проводятся работы по прореживанию (разреживание). В густых посадках рост молодых спорофитов затормаживается, происходит саморазрежение, к моменту сбора урожая при таком способе выращивания много мелких, нетоварных слоевищ. Кроме того, в летний период в густых посадках наблюдаются различные грибковые заболевания (позеленение, гниль, пятнистость).

Метод прореживания заключается в снятии с субстратов лишних растений через 20 см по всей длине поводца (оставляя в каждом пучке не более 4–6 экз.). Надо снимать более крупные спорофиты, мелкие размером 15–30 см, следует оставлять на поводцах (норма на одном поводце — не более 140–150 экз.). Эти оставшиеся растения будут расти и развиваться до следующего года, т. е. до сбора урожая.

Снятую с поводцов рассаду аккуратно укладывают в деревянные чистые ящики ризоидами в одну сторону, накрывают влажным брезентом и транспортируют на берег в заранее подготовленное помещение для пересадки.

Метод пересадки заключается в пересадке снятых спорофитов на новые поводцы. На новые веревки растения высаживаются по 4–6 шт. в каждом пучке на расстоянии 20 см по всей их длине. На процессе пересадки занято два человека: один раскручивает веревку, другой вставляет в пряди веревок растения ризоидами. На одном посадочно-выростном субстрате должно быть не менее 30–32 пучков (гнезд) растений (150 экз.).

После пересадки рост и развитие первогодних спорофитов на поводцах в море происходят хорошо на глубине 4–5 м. Поэтому, как только канаты заполнятся, их надо заглубить, иначе растения побелеют и погибнут.

Работы по прореживанию и пересадке рассады на новые поводцы проводятся в марте—мае.

Контроль за выращиванием товарной ламинарии и и. В процессе культивирования ламинарии большое значение придается товарным ее качествам. Качество, размерно-массовые показатели, содержание сухих веществ, альгиновой кислоты, маннита и т. д. зависят от того, в какие сроки и на какой глубине пойдет дальнейшее развитие двулетних спорофитов. Если поводцы с растущей ламинарией в зимне-весенний период расположены на глубине 4—5 м (в летний период все однолетние растения для предохранения от разрушений находятся на глубине 4—5 м), то растения сильно заливаются, на пластины оседают взвешенные частицы (ил) или обрастают гидроидами, диатомовыми и другими гидробионтами. Внешний вид и качество таких растений к сбору урожая недостаточно высокие, пластины тонкие, светло-оливкового цвета, хрупкие за счет высокого содержания влаги (до 93%).

Поэтому, чтобы ламинария имела хорошие товарные качества, слоевища на втором году развития требуют улучшения светового режима. В связи с этим горизонтальные канаты следует переводить постепенно к поверхности: в октябре—ноябре на глубину 1—1,5 м; в феврале—марте — 0,5 м. Благодаря улучшению водообмена, освещенности двулетние талломы быстрее набирают массу, улучшается качество культивируемого сырца. К сбору урожая цвет пластин от светло-оливкового (в марте) переходит в коричневый или темно-коричневый (в мае), слоевища становятся эластичными. В результате своевременного подъема канатов к поверхности и чистки их от обрастаний (в марте—апреле) возможно получение товарной кондиционной продукции в конце апреля — начале мая.

В мае—июле двулетние слоевища имеют наилучшие размерно-массовые показатели: длина 2—4,5 м (максимум 7 м); масса 700—1100 г (максимум 3000 г); ширина 20—35 см (максимум 52 см); толщина 2,5—3,5 мм (максимум 5,5 мм).

Выращиваемая у поверхности ламинария японская (морская капуста) в течение 3—4 мес по качеству сырца приближается к водорослям, заготавливаемым из естественных зарослей. По внешнему виду (пластины чистые, без заплесней и обрастаний, имеют темно-коричневую, глянцевую поверхность), содержанию сухих веществ (18—20%), йода, альгиновой кислоты она отвечает требованиям кондиционного сырья для получения "лекарственного препарата" и высокомолекулярного альгината натрия.

**Сбор урожая.** Одним из основных условий выполнения объема производства этой ценной в пищевом отношении водоросли является быстрая уборка выращенного сырца с плантаций. Уборка урожая является и самым важным видом работ из всех имеющихся биотехнологических процессов. Необходимость уборки в кратчайший срок сказывается как на количестве, так и на качестве выращенного сырца.

Известно, что при культивировании ламинарии важными проблемами являются заболевания и обрастания ее различными эпифитами, которые интенсивно развиваются и покрывают пластины на 80—100% в том случае, когда сбор урожая запаздывает на месяц и больше. Они ухудшают товарные качества морской капусты, снижают выход готовой продукции, делают ее непригодной для пищевых целей. Кроме того, в летний период с повышением температуры воды свыше 16°С начинается интенсивное разрушение пластин ламинарии, что ведет к потере урожая.

Для того чтобы не снизилось количество и не ухудшилось качество выращенного сырца, массовый сбор урожая ламинарии с плантаций следует проводить своевременно, быстро и без потерь (в течение 2—3 мес). На юге Приморья основная уборка — в мае—июне. В эти сроки ламинария имеет высокие морфометрические показатели и хорошие товарные качества. В первой декаде июля ламинария должна быть полностью убрана, так как начинается обрастание мелким известковым ракушечником — спириорбисом, что делает ее непригодной для пищевых целей.

Массовый сбор урожая в северном Приморье следует проводить с третьей декады мая по июль включительно. В первой декаде августа весь урожай должен быть убран.

**Культивирование ламинарии японской в одногодичном цикле.** В свете современных зарубежных достижений культивирование ламинарии в двухгодичном цикле является малоэффективным. В Японии, КНР и КНДР разработаны технология, нормативы и технологическое оснащение выращивания этой водоросли в одногодичном цикле, при котором товарная продукция, не уступающая по размерам и качественным характеристикам двухгодичной ламинарии, выращивается за 11—12 мес. Методы культивирования ламинарии в одногодичном цикле в противоположность двухгодичному основаны на ряде принципиальных переделок этапов ее жизненного цикла и сводятся в основном к получению зооспор на слоевищах в более ранние сроки (в КНДР). И затем выращиванию из них рассады форсированным методом за счет применения трофических, температурных и световых стимуляторов в цехах на берегу к началу октября, т. е. на 3—4 мес раньше, чем в природе и при двухгодичном культивировании. К концу 80-х годов в Японии накоплен значительный опыт по выращиванию ламинарии [136].

Технологические приемы выращивания ламинарии в одногодичном цикле в каждой стране различны, поскольку разработаны с учетом особенностей местных эколого-климатических условий.

В КНДР выращивание рассады в цехах проводят из зооспор, полученных к концу июля путем стимулирования созревания спороносной ткани. Оптимальные условия для созревания спороносной ткани к концу июля создают, регулируя глубину выращивания маточных слоевищ. Для этого при достижении температуры воды в море 8—10°С, что происходит в Желтом море в апреле, отбираются крупные двулетние слоевища ламинарии и подвешиваются на глубине 0,5—1 м в зоне повышенной

освещенности (порядка 5000 лк). На этой глубине слоевища находятся 20–30 дней, затем их опускают на глубину 3–4 м, где освещенность равна примерно 1000–2000 лк и температура 16–18°C, что является оптимальным для спорообразования. На этой глубине слоевища находятся 30–40 дней, в течение которых и происходит созревание спороносной ткани.

Полученными зооспорами проводят оспоривание субстратов — плоских рамок с намотанными на них нитями. Оспоренные рамки помещают в выростные бассейны цеха, где в течение 20–30 дней создаются условия, тормозящие развитие гаметофита: не вносится подкормка, освещение поддерживается на низком уровне порядка 1000–3000 лк (над поверхностью воды). Эта мера вызвана тем, что благоприятная температура воды для молодых проростков ламинарии в условиях побережья Кореи будет только в конце октября. При таких условиях в бассейнах цеха зооспоры начинают прорастать на второй день после оспоривания, но одноклеточный гаметофит появляется только на 20-й день, многоклеточный — на 30-й день, затем через 2–3 дня развиваются гаметангии на гаметофитах и лишь на 40-й день происходит оплодотворение. Только через 85–90 дней от момента оспоривания появляются спорофиты от нескольких миллиметров до 1 см. После 20 дней выращивания вносится простая подкормка, содержащая соли азота и фосфора. Система протока в бассейнах — полузамкнутая с периодической сменой воды. Рамки прямоугольные (60x40 см), размещаются в бассейнах вертикально в два ряда на расстоянии 10 см друг от друга. Каждые 3–4 дня рамки переворачивают на 180° для равномерного освещения. В результате такого выращивания к началу октября получают спорофиты длиной в среднем 3 мм, максимально 1 см, минимально 1 мм.

В Японии оспоривание субстратов для одногодичного культивирования проводят в более позднее время — в конце августа — начале сентября зооспорами, полученными от слоевищ естественного созревания. Однако, несмотря на позднее оспоривание, благодаря хорошему техническому оснащению цехов, позволяющему создавать оптимальные условия для развития гаметофитов и ранних спорофитов, рассаду длиной до 1 см получают также к началу — середине сентября. При этом оспоривают треугольные рамки (призматические), которые устанавливаются в баки-культиваторы с морской водой. Для охлаждения морской воды используется артезианская вода, проходящая через бассейны с баками-культиваторами. Освещение проводится люминесцентными лампами (от 1500–2000 до 6000 лк). Для создания тока воды применяется аэрация. На всех стадиях развития вносится питательная среда.

В Приморье с 1979 г. начато освоение выращивания ламинарии по одногодичному циклу. Сначала в северном Приморье на водорослевом участке рыбозавода "Каменский" был построен небольшой цех, где проводилось опытное ускоренное выращивание гаметофитов и ранних спорофитов. На плантациях этого участка проводилась отработка мето-

дики получения ранних зооспор. Успешное завершение этих разработок позволило составить биологическое обоснование культивирования ламинарии японской по одногодичному циклу в условиях Приморья. На основе достигнутых положительных результатов в поселке Глазковка заложен большой производственный цех по выращиванию рассады ламинарии для одногодичного культивирования. В 1982–1985 гг. в этом цехе выращивалась рассада в полупромышленном масштабе и проводились наблюдения за ростом рассады на плантации. В результате этих работ составлен первый вариант инструкции по биотехнологии выращивания ламинарии в одногодичном цикле в Приморье.

*Биотехнология состоит из трех этапов:* получение ранних зооспор стимулированием созревания спороносной ткани; выращивание рассады в цехе; выращивание товарной ламинарии на плантации.

**Стимулирование созревания спороносной ткани маточных слоевищ ламинарии.** Технологическая схема стимулирования созревания спороносной ткани маточных слоевищ ламинарии рассчитана на 5 мес и включает следующие этапы: отбор слоевищ, имеющих предрасположенность к раннему спорообразованию; выращивание маточных слоевищ у поверхности воды; подкормка.

**Отбор слоевищ.** В начале января на промышленной плантации с двухгодичной ламинарией проводится подъем одного-двух горизонтальных канатов с глубины 2 м на 1 м, в феврале — с 1 м на 0–0,5 м, которые затем поддерживаются в этом положении до июля. В начале марта с этих канатов проводится отбор слоевищ в число маточных. Отбор ведется по формуле, которая получена в результате статистической обработки морфометрических признаков спороносящих в разное время слоевищ [38],

$$y = 0,1l + b - 3C + 25,$$

где  $y$  — индекс созревания;  $l$  — длина слоевищ, см;  $b$  — ширина слоевищ, см;  $C$  — длина черешка, см.

При значении  $y$  больше 55 имеется гарантия отбора слоевищ с признаками раннего спорообразования с достоверностью, близкой к 100%. Например, взято слоевище длиной 250 см, шириной 25 см и длиной черешка 5 см. Подставив значения длины, ширины слоевища и длины черешка в формулу, получим

$$y = 0,1 \cdot 250 + 25 - 3 \cdot 5 + 25 = 60.$$

Очевидно, что такое слоевище будет нести информацию о расположении к раннему спорообразованию. Для облегчения отбора предлагается предпочтение отдавать слоевищам, имеющим длину и ширину свыше 250 см и 25 см соответственно и короткий черешок длиной менее 5 см.

**Выращивание маточных слоевищ у поверхности воды.** Отобранные слоевища с признаками раннего споро-

образования выращиваются на обычных поводцах. Расстояние между слоевищами оставляется 25–30 см, в одном гнезде находится не более 2–3 слоевищ.

Маточные слоевища находятся у поверхности воды до конца июля. Этот горизонт воды является наиболее благоприятным для роста водорослей, поскольку он наиболее богат биогенами. При соблюдении рекомендуемых условий отбора и выращивания маточные слоевища уже к середине мая достигают хорошей биомассы — порядка 1000–1200 г.

На протяжении всего периода выращивания слоевищ проводится контроль за их состоянием: по мере их роста подвязываются дополнительные плавучести к горизонтальному канату для постоянного поддержания слоевищ на поверхности воды; проверяется прочность прикрепления поводцов и оттяжек, очищение от обрастателей слоевищ и поводцов, распуывание поводцов и др.

Особенно важно следить за тем, чтобы подъем слоевищ к поверхности воды был плавным (постепенно) — в январе на 1 м (с глубины 2 м), в феврале — на 0,5 м.

**П о д к о р м к а.** Спорообразование у водорослей наступает в тот момент, когда они приобретают репродуктивную зрелость, что связано с накоплением определенного запаса органических веществ. Для того чтобы заставить слоевище приобрести репродуктивную зрелость в более ранние сроки, их подкармливают азот- и фосфорсодержащими солями. Эту операцию осуществляют со второй декады мая до середины июня путем замачивания слоевищ в растворе солей. Замачивание проводится на плантации в подходящих емкостях (например, деревянных лодках). Для этого поводцы со слоевищами отвязывают от горизонтального каната и переносят в лодку с раствором. В одну лодку с морской водой объемом 1 м<sup>3</sup> помещают не более двух поводцов с общим количеством слоевищ 40 экземпляров. На 1 м<sup>3</sup> морской воды вносят 100 г азота и 14,4 г фосфора. Время замачивания слоевищ 30 мин.

Последовательность операций при подкормке следующая:

в лодку заливается 1 м<sup>3</sup> морской воды;

вносится заранее приготовленный концентрированный раствор азот- и фосфорсодержащих солей;

раствор размещивается для равномерного распределения по всему объему морской воды в лодке;

поводцы с маточными слоевищами отвязываются от горизонтального каната и переносятся в лодку с раствором;

маточные слоевища в лодке прижимаются грузом (например, веслами) для полного погружения их в раствор;

после подкормки поводцы с маточными слоевищами привязываются к горизонтальному канату.

Подкормка слоевищ проводится ежедневно в утреннее время в течение 20 дней. Применяются любые азотсодержащие соли (мочевина, азотнокислый натрий). Предпочтительно применять соли, содержащие

азот в виде аммония. Фосфор вносится в виде фосфорнокислого натрия.

Создание оптимальной освещенности для спорообразования. В день последней подкормки (10–15 июня) слоевища затеняются световыми экранами с целью создания оптимальной освещенности для спорообразования. Световые экраны представляют собой холщовые мешки, крепящиеся с верхнего края к металлическому кольцу диаметром 60 см. К нижнему краю мешка привязывается несколько грузиков (применяемых при подвязке поводцов) для удержания мешка в вертикальном положении. Световые экраны на поводцы с маточными слоевищами помещаются следующим образом: поводцы с маточными слоевищами отвязываются от горизонтального каната и продаются через присборенный мешок внутрь его. Затем поводец привязывается к горизонтальному канату так, чтобы кольцо находилось у горизонтального каната, а грузики растягивали присборенную ткань мешка вокруг слоевищ. Маточные слоевища находятся внутри мешков 30–40 дней — до 20–25 июля, после чего мешки снимают, и через неделю, к началу августа, происходит окончательное созревание споронной ткани.

Особенно важно следить за состоянием световых экранов. При обрыве необходима немедленная замена или частичное подновление. Если этого не делать, то спорообразование у подкармливаемых слоевищ произойдет в конце августа — сентябре, как и у слоевищ естественного произрастания. На этом этапе также следует проводить контроль за состоянием слоевищ: очищать от обрастателей, предохранять от переувлажнения, обрыва и т. д.

**Выращивание рассады в цехе.** Подготовительные работы по приведению в готовность цеха по выращиванию рассады, субстратов, рамок, наматыванию на них нитей и т. д. выполняются в период июнь–июль. В качестве субстрата для выращивания рассады применяются капроновые нити диаметром 1 мм. Нить до начала операции по оспориванию вымачивается в чистой морской воде в течение 7 сут для удаления вредных химических веществ и затем высушивается до полного просыхания. Затем проводится наматывание нити на рамку в один ряд плотно виток к витку. На одну рамку наматывается 400 м нити.

Рамки изготавливаются из прутка нержавеющей стали диаметром 6–8 мм. Рамки прямоугольные размером 60x40 см. Если при намотке нитей на рамки возникает прогиб рамок, то посередине рамки приваривается подпорка из того же материала.

В качестве маточных слоевищ используется второгодняя ламинария с хорошо развитой споронной тканью, покрывающей слоевище не менее чем на 30%, оптимально — на 50% и более. Споронная ткань должна покрывать листовую пластину сплошным слитным пятном, а спорангии иметь V стадию зрелости. Бракуются слоевища, у которых споронная ткань располагается у зоны роста (вблизи черешка). Для оспоривания отбираются экземпляры со споронной тканью, которая находится в

верхней, наиболее зрелой части. Не обязательно (хотя желательно) двустороннее покрытие слоевищ спороносной тканью.

Заготавливаются слоевища рано утром и доставляются в помещение для оспоривания, пока солнце стоит низко над горизонтом или в пасмурные дни во избежание попадания солнечных лучей. Во время транспортировки их покрывают влажным материалом — мешковиной, брезентом. В цехе промывают чистой морской водой, имеющей одинаковую температуру с водой моря. Желательно, чтобы слоевища не имели повреждений во избежание попадания слизи в споровую суспензию. Затем проводится второй более тщательный отбор.

Отобранные слоевища подвешивают на вешала в помещении температурой 16–18°C и влажностью не более 70–80% на 0,5–1 ч для просыхания от воды. Затем каждое слоевище в отдельности завертывают рулоном в бумагу, складывают в картонные ящики с крышками и ставят в темное место на 12–24 ч. Температура внутри ящиков должна быть не выше 18°C и не ниже 16°C, влажность — 60–80%. Количество рулонов в одном ящике должно быть таким, при котором рулоны сильно не давят друг на друга.

По истечении 12–24 ч слоевища вынимают из ящиков, освобождают от бумаги и помещают в заранее приготовленные емкости с чистой морской водой температурой 15–16°C. В течение 30–60 мин происходит массовый выход зооспор. Слоевища вынимают из емкостей, после чего споровую суспензию процеживают через двойной слой марли и разбавляют до концентрации 5–10 зооспор в поле зрения микроскопа при 120-кратном увеличении. В разбавленную суспензию помещают рамки с нитями.

Рамки при оспоривании в емкостях должны быть покрыты водой не менее 10 см над верхним краем и расположены так, чтобы между ними было расстояние не менее 5 см.

Оседание зооспор на субстраты начинается через 1–2 ч и продолжается до суток. Одновременно с рамками в емкости помещают предметные стекла, по которым ведут контроль за оседанием зооспор. Достаточным считается наличие 5–10 зооспор в поле зрения микроскопа при 120-кратном увеличении.

После того как достигнуто хорошее оседание зооспор, рамки переносят в бассейны для выращивания и размещают на расстоянии 20 см одна от другой. В процессе выращивания их ежедневно переворачивают на 180° для равномерного освещения всей поверхности. Одновременно в бассейны переносят оспоренные стекла, по которым можно вести наблюдение за развитием гаметофита и рассады. Стадия гаметофита начинается с момента внесения рамок в бассейны и длится от 5 до 12 дней.

Начальная температура воды в бассейнах цеха равна 14–15°C. Ежедневно проводится постепенное снижение температуры воды на 0,3–0,5°C, и к 10 сут выращивания температура воды должна быть 11–12°C. При таком температурном режиме гаметофиты образуют минимум

клеток, и на 10 сут выращивания происходят массовое оплодотворение и образование первых клеток спорофитов.

Для нормального развития гаметофитов и оплодотворения яйцеклеток требуется небольшая освещенность (порядка 1500–2000 лк) над поверхностью воды. Подается белый дневной свет от люминесцентных ламп (типа ДРЛ). Продолжительность освещения — не менее 14 ч в сутки (с 7 ч утра и до 21 ч вечера).

В первые 1–2 дня аэрация не применяется во избежание смыва зооспор с субстратов. После истечения этого времени включают слабую аэрацию с образованием небольших пузырьков воздуха диаметром 1–1,5 см (до 10–15 шт. в минуту) и поддерживают ее на протяжении всего периода гаметофитной стадии. Проток также первые 1–2 дня минимальный — не более 2–3 объемов в сутки, а затем его увеличивают до 16–20 объемов в сутки.

На стадии гаметофита основными факторами являются температура и освещенность. Правильное и строгое выдерживание их нормативов обеспечивает минимальное время для прохождения стадии гаметофита. Фактор питания приобретает большое значение на стадии спорофита. Поэтому в период выращивания гаметофита питательный раствор (состав приводится ниже) подается в выростные бассейны на третий день после помещения рамок в бассейны (одновременно с подключением аэрации) в соотношении 1:100, в биофильтр — в течение не менее 1 ч. Стадия раннего спорофита начинается с момента деления зиготы и образования первых клеток спорофита. Ее длительность 30–35 дней до получения рассады в среднем 1–2 см. Выделяют две фазы — однослойный и многослойный спорофит. Однослойный спорофит содержит не более 7 клеток, многослойный — от 8 и более. В этой фазе температуру воды поддерживают на уровне 11–12°C на протяжении всего времени выращивания. После завершения массового оплодотворения (что происходит на 10–12-й день выращивания) освещенность увеличивают до 4000 лк, а через 5–6 дней — до 6000 лк и поддерживают на этом уровне до окончания выращивания.

При достижении спорофитами размеров 500–600 мк увеличивают аэрацию до появления на поверхности воды пузырьков размерами 1–3 см при скорости 15–20 шт. в минуту.

Аэрация необходима для стимулирования развития ризоидов у спорофитов. В культуре развитие ризоидов проходит очень медленно, и если не проводить усиление аэрации до указанных размеров, то ризоиды будут слабыми, и спорофиты после выноса в море смоются с нитей.

На стадии развития раннего спорофита потребность в питательных веществах резко возрастает в связи с общей значительной активизацией обмена веществ. Поэтому через каждые 7–10 дней при каждой замене воды вносится питательный раствор ЕС1. При таком внесении концентрация питательных веществ поддерживается на высоком уровне, многократно превышающем концентрацию солей воды в море, что в со-

четании с оптимальной температурой, освещенностью и аэрацией обеспечивает ускоренное развитие спорофитов.

Первая замена воды в выростных бассейнах проводится полностью на свежую, заранее подготовленную необходимой температуры. Проводится она после завершения развития стадии гаметофита, что происходит при точном соблюдении всех перечисленных выше нормативов на 10–12-й день выращивания. Точная дата устанавливается контрольным анализом предметных стекол.

В последующем замена воды проводится регулярно через 7–10 дней на  $\frac{1}{2}$ – $\frac{1}{3}$  объема выростных бассейнов. При этом необходимо проводить термоподготовку свежей воды так, чтобы ее температура была всегда одинаковой.

Внешплановая замена воды проводится в тех случаях, когда имеется зарастание выростных бассейнов сорными микроводорослями, особенно диатомовыми. Она должна быть обязательно полной.

Регулярно вносимый питательный раствор ESI строго сбалансирован и подобран таким образом, что включает соли ряда металлов, не несущих собственно трофических функций, но играющих роль мощных стимуляторов развития и роста гаметофита и спорофита.

Питательный раствор ESI приготавливается из трех составных растворов, которые смешиваются перед употреблением и добавляются в морскую воду в соотношении 1:100 при выращивании гаметофита и 1:50 при выращивании спорофита.

#### Раствор А

Дистиллированная вода, л	0,5
То же, г	3,5
$\beta$ -глицерофосфат Na, г	0,5
KU, г	0,004
ТРИС, г	5

#### Раствор В

Дистиллированная вода, л	0,25
Соль Мора, г	0,175
Трилон В, г	0,165

#### Раствор С

Дистиллированная вода, л	0,25
Трилон В, л	0,25
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , г	0,012
$\text{H}_3\text{BO}_3$ (кристаллическая), г	0,286
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , г	0,036
$\text{ZnCl}_2$ , г	0,0026
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , г	0,001

Всего получается 1 л основного раствора. Практически количество заготавливаемого раствора определяется исходя из количества морской воды, используемой при выращивании (при этом учитывается объем воды выростных бассейнов, фильтра, теплообменника, труб и пр.), т. е. всей воды в системе.

Раствор не подлежит длительному хранению, так как быстро стареет и поэтому приготавливается не ранее чем за два-три дня до использования. Хранят раствор в темном месте при температуре не выше 5°C. Вносят в биофильтр в течение не менее 1 ч.

**Адаптация рассады к условиям моря.** Прежде чем выносить рассаду в море, необходимо провести ее адаптацию к условиям моря. Необходимость данного этапа обязательна, так как весь жизненный цикл рассады проходит в идеальных парниковых условиях и перевод ее в море без предварительной подготовки может привести к смыванию спорофитов в результате резкого изменения температуры, освещенности, усиления динамических процессов. Благоприятным временем для перевода рассады в море является период, когда в море в результате осеннего похолодания устанавливается температура не выше 14–15°C. В условиях северного Приморья такая температура устанавливается с середины — конца сентября. Поэтому за неделю до этого периода в выростных бассейнах температуру необходимо поднять до ее значений в море. Уравнивание температур проводится постепенно по 0,5°C в сутки. Одновременно или несколькими днями раньше необходимо начать выравнивание концентраций питательных солей в выростных бассейнах с концентрацией солей в районе плантаций в море. Делается это путем слива части воды из выростных бассейнов и добавления вместо нее такой же порции морской воды так, чтобы к моменту перевода рамок в течение периода адаптации вода в выростных бассейнах была полностью заменена на морскую. Ко времени начала адаптации необходимы ежедневный гидрохимический контроль морской воды на разных глубинах, а также контроль воды в выростных бассейнах. Одновременно начинается усиление аэрации для стимулирования развития ризоидов с доведением диаметра пузырьков воздуха до 4–5 см (до 20–25 шт. и более в минуту) с увеличением скорости потока до 20 объемов в сутки.

**Адаптация рассады в море.** После адаптации рассады в цехе проводят ее адаптацию в море. Для этого нить с рассадой с рамок перематывается на другие рамы, большего размера — рамы предварительного выращивания. Эти рамы четырехугольные, размером 1x2 м изготавливаются из металлических прутьев диаметром около 10 мм или полихлорвиниловых труб диаметром 30 мм. Для устранения прогиба сторон рам делаются поперечные подпорки (одна или две). Во избежание контакта нити с ржавеющим в воде металлом, если рама изготовлена из металлических прутьев, проводится обмотка прутьев полихлорвиниловой лентой.

Выростные нити с рассадой наматываются на раму так, чтобы каждый виток отстоял от другого на расстоянии 1 см для свободного обмывания морской водой рассады. На одну раму наматывается около 200 м нити с рассадой. После этого рамы подвешиваются на 7–10 дней на горизонтальные канаты плантаций на глубину 4–5 м. Вынос рамок в море перед пересадкой на плантацию из цеха обязателен, поскольку при

этом происходит вымывание больных, ослабленных спорофитов, а также обростаний, которые поселились на рамки за время выращивания в цехе.

**Посадка рассады на выростные субстраты.** Пересадку рассады на поводцы лучше всего проводить в море. Для этого рамы с намотанной на них нитью с рассадой снимают с мест адаптации и крепят к бортам шлюпок, мотоботов и др. так, чтобы они были погружены в воду, и доставляют в таком состоянии на промышленную плантацию. Затем нить небольшими порциями разматывается с рам, разрезается ножницами на кусочки длиной 2,5–3 см, которые помещаются в ведра или иные емкости с морской водой, имеющей одинаковую температуру с водой в море.

Кусочки нити с рассадой вставляются по 1 шт. в пряди поводцов своей серединной частью так, чтобы нити выходили за пределы поводцов (для прикрепления ризоидов с обеих сторон поводца). Вплетение кусочков проводится обычно двумя рабочими: один расплетает поводец, а второй вставляет кусочек в образовавшееся отверстие в поводце. Вплетение кусочков нити проводится через 10–12 см. При выполнении данной операции необходимо соблюдать большую осторожность, чтобы не нанести повреждений нежным росточкам.

Начинают работу по посадке рассады с нижнего конца поводца, постепенно погружая его в море по мере вставления следующих кусочков нити. С верхнего края поводца оставляют незасаженными около 50 см для привязки поводца к горизонтальному канату.

В условиях Приморского побережья часто бывают волнения, поэтому в море трудно проводить пересадку рассады на выростные поводцы. В связи с этим эта операция проводится на берегу. При этом соблюдают следующие условия: рассада должна как можно меньше находиться на воздухе (при транспортировке рамок с плантации на берег ее накрывают влажной мешковиной), готовые поводцы с рассадой немедленно помещают в ведра с водой или другие емкости, после чего сразу же вывозят в море и привязывают на плантации.

**Прореживание и пересадка спорофитов в море.** К середине марта многие слоевища ламинарии достигают длины 100–200 см. К концу марта число экземпляров длиной 200 см и более увеличивается. Все они располагаются на поводцах пучками соответственно тому, как в октябре были вставлены в них нити с рассадой. В пучках вырастает много слоевищ (обычно к марту в среднем до 12, максимально — 40), большинство которых имеет длину менее 1 м. В результате скученности слоевищ скорость их роста резко уменьшается. Именно в этой связи проводятся прореживание спорофитов и пересадка их на новые поводцы в период с середины марта до середины апреля. В Японии и Корее эти операции проводятся в третьей декаде декабря — первой половине января, однако у нас в этот период невозможно проводить прореживание и пересадку из-за отрицательных температур воздуха. Опытные работы по пересадке слоевищ в марте и апреле в условиях Приморья по-

казали, что ризоиды хорошо прикрепляются в первой декаде мая или раньше, и масса пересаженных слоевищ к июлю не уступает массе слоевищ, растущих без пересадки при небольших плотностях.

При прореживании поводцов с фрагментами нити на одном поводце оставляют не более 100 слоевищ, при этом в каждом пучке должно находиться не более 2–3 самых крупных слоевищ, хорошо прикрепившихся к поводцу. Остальные слоевища снимают и используют для пересадки.

Прореженные слоевища пересаживают на новые поводцы так же, как и при двухгодичном выращивании: в пряди поводца вставляют по 2–3 слоевища через 12–15 см. При этом наиболее крупные спорофиты пересаживают в верхние части поводцов — в зону наиболее благоприятных световых и гидрологических условий.

При прореживании необходимо следить за тем, чтобы ризоиды, ткани пластин и особенно зона их роста не повредились, так как повреждения вызывают болезненное и угнетенное состояние, приводящее к остановке в росте на длительное время и в конечном итоге — к снижению урожайности. Во избежание этого прореживание рекомендуется проводить ножницами с закругленными концами.

Одновременно с прореживанием и пересадкой слоевищ ведутся работы по уничтожению обростаний и текущему ремонту плантаций. После пересадки в середине марта — первой половине апреля горизонтальные канаты поднимают с глубины 2 м на 1 м. С начала до середины мая проводится вторичный подъем горизонтальных канатов на глубину 0,5 м, т. е. к поверхности воды, в зону повышенных скоростей течений, активного ветрового и волнового перемешивания. Необходимо напомнить, что перевод горизонтальных канатов с ламинарией сразу к поверхности воды, без предварительной адаптации, т. е. перевод с 2 м на глубину 1 м и затем к поверхности, вызывает побеление и омертвление тканей слоевищ. У поверхности воды горизонтальные канаты находятся вплоть до уборки урожая, для чего по мере роста слоевищ подвязывают дополнительные плавучести.

В настоящее время получены удовлетворительные результаты по выращиванию товарной одногодичной ламинарии с проведением прореживания и пересадки весной. Однако более перспективным представляется проведение осенней пересадки, как это практикуется в Китае. В наших условиях для этого рассаду в цехе необходимо получить не позднее 10–15 сентября и в этот же период вынести ее в море, не пересаживая с рамок. На рамках рассада будет находиться до тех пор, пока не достигнет длины 15–20 см, что должно произойти к 15–20 октября. В период с 15 октября по 15 ноября, когда температура воздуха еще имеет положительные значения, спорофиты пересаживают на поводцы по типу пересадки, принятой при двухгодичном культивировании. Для этого рассаду снимают с рамок и вставляют в пряди поводца по 2–3 экз. через 15–20 см. При осенней пересадке в отличие от весенней существенно удлиняется срок вегетации слоевищ (с ноября по июль–август при оптимальных плотностях).

Уборка урожая. К началу августа выращенные по описанному режиму слоевища достигают хорошей биомассы — в среднем около 800 г. длины — 400 см, ширины — 20 см, сухих веществ — 15–20%. Наибольшей массы достигают слоевища, растущие в верхней и нижней частях поводца, которые к началу июля имеют массу до 1500 г. Наименьшую массу имеют слоевища, растущие в середине поводцов, — около 400 г.

Рост слоевищ продолжается до конца августа. Уборку урожая начинают проводить в июле. В это время лучше проводить ее выборочно — убираются только те слоевища, которые имеют длину 4–5 м и более. Поскольку слоевища такой длины встречаются почти в каждом пучке, выборочной уборкой, продолжающейся в течение всего июля, достигается одновременное прореживание в пучках и, следовательно, создается улучшение условий для роста и созревания оставляемых слоевищ. В результате такой уборки достигается максимально возможное однообразие состава растений по качеству и размерным характеристикам, и к концу августа — началу сентября сбор урожая завершается.

Нарушения указанных нормативов — выращивание растений на поводцах в загущенном состоянии, помещение поводцов на глубину 4–6 м, а также сочетание выращивания в загущенном состоянии с глубиной 4–6 м — приводят к резкому снижению товарных качеств ламинарии. К периоду сбора урожая (июль–август) такие слоевища имеют массу около 300–500 г и содержат до 95–97% влаги.

Необходимо отметить, что одногодичное культивирование ламинарии проводится у нас в стране впервые и поэтому многие моменты биотехнологии еще отрабатываются.

## КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ

Двустворчатые моллюски: приморский гребешок (*Patinopecten yessoensis*, Jay), тихоокеанская устрица (*Crassostrea gigas*, Thunberg) и мидия обыкновенная (*Mytilus edulis*, L.) широко распространены в прибрежной зоне Японского моря.

При культивировании двустворчатых моллюсков необходимо учитывать их биологические особенности:

фильтрационный способ питания, близость к начальным звеньям трофической цепи;

короткий жизненный цикл (в условиях Южного Приморья);

быстрый рост во всей толще воды;

устойчивость взрослых моллюсков (особенно устриц и мидий) к колебаниям температуры, солености и других факторов;

высокая плодовитость как адаптация к неблагоприятным условиям среды, вызывающим значительную смертность личинок в естественных условиях;

высокая морфологическая вариабельность моллюсков в разных скоплениях.

Гребешки, устрицы и мидии весь необходимый кислород и пищу, основным компонентом которой являются крошечные организмы фито- и зоопланктона, получают из окружающей среды, пропуская ее через внутреннюю (мантийную) полость тела, где пищевые частицы задерживаются ресничками жабр и направляются в ротовое отверстие, а кислород через тончайшие стенки тех же жабр проникает в гемолимфу, выполняющую функцию крови. Фильтрационный аппарат этих моллюсков работает очень эффективно, он позволяет удалять почти все взвешенные в воде частицы размером от 2 мкм и более [144].

Таким образом, рассмотренные моллюски при обитании в естественных водоемах не нуждаются в кормлении. В этом плане двустворчатые моллюски выгодно отличаются от других объектов марикультуры, например хищных рыб, стоящих на более высоком трофическом уровне и требующих дорогостоящих кормов. В то же время устрицы и мидии (а также гребешки в подвесной культуре) в условиях южной части Приморья имеют короткий жизненный цикл; у первых двух моллюсков половозрелость наступает уже на первом году жизни, у третьего — на втором — в начале третьего, а товарную продукцию получают соответственно за 15–22, 10–22 и 30 мес.

Весьма важно, что коллекторы с осевшей молодью и садки технически несложно размещать над дном во всей толще и тем самым в этом случае моллюскам, по крайней мере, взрослым, хищники (морские звезды, крабы, устричное сверло и т. д.) не страшны, а рост происходит быстрее, чем на естественных субстратах. Так, приросты мидий и уст-

риц, заселяющих искусственные субстраты, расположенные в толще воды, в 1,2–2,4 раза, а весовые приросты и относительная масса мягких тканей в 1,5 раза больше, чем у этих же моллюсков в популяциях, обитающих на дне [67]. По нашим наблюдениям, и гребешки в подвесной культуре растут быстрее, чем на дне, достигая товарных кондиций на год-полтора раньше.

При глубоководном (свыше 10 м) содержании мидий и гребешков пониженная освещенность, вероятно, не сказывается отрицательно на росте. Более того, например у мидий, вариabельность роста в темноте существенно ниже, чем на свету; что же касается пищи, то и ее достаточно за счет оседающих частичек детрита (полуперегнившие остатки растительных и животных организмов), являющихся компонентом рациона моллюсков-фильтраторов [52]. Можно полагать, что наблюдаемая интенсификация жизнедеятельности связана как с более благоприятными гидродинамическими и, следовательно, трофическими условиями, так и с меньшим волновым воздействием на моллюсков. В результате у моллюсков возрастают уровень обмена и скорость потребления пищи, что приводит к ускорению роста и полового созревания.

В верхних горизонтах прибрежной мелководной зоны (в литорали и сублиторали) условия среды отличаются непостоянством, соответственно для обитающих там устриц и мидий характерна адаптивная эврибионтность. Так, диапазон температур переживания для первых составляет приблизительно минус 1,7–30°C, для вторых – минус 1,7–20°C; оба моллюска хорошо переносят опреснение до 15–18%, мидии даже нулевую соленость выдерживают почти две недели. Хорошо известна и способность мидий длительное время существовать в анаэробных (т. е. в бескислородных) условиях. Рассматриваемые моллюски имеют определенную устойчивость и к обсыханию. Так, при температуре 15–18°C и относительной влажности в тени, равной 90–100%, для мидии она составляет 10, для гребешка – 2,5, а для устриц – 7–8 сут. Устойчивость целых моллюсков к перечисленным факторам зависит не только от адаптивных возможностей организмов, но и от степени изолированности внутренних органов раковины. У мидий и устриц она очень высока, а у гребешков хорошая изоляция невозможна из-за неплотного смыкания створок в области ушек.

В период нереста половые продукты мидий, гребешков и устриц выбрасываются в окружающую среду, где и происходит так называемое наружное оплодотворение и личиночное развитие. Каждая самка выделяет огромное количество (до 25–100 млн.) яиц. Столь высокая плодовитость является адаптивной реакцией на возможные неблагоприятные условия в период прохождения самых уязвимых стадий индивидуального развития.

Известно, что значительная часть личинок погибает из-за нехватки субстратов, оседания и деятельности донных хищников. При культивировании действие этих факторов в значительной мере ослабляется ис-

пользованием искусственных субстратов (коллекторов), размещаемых в толще воды, и регуляцией плотности осевших личинок, или спата. Эти операции являются основными и наиболее важными в конхокультуре.

Однако высокие биологические потенции двустворчатых моллюсков в значительной мере можно реализовать лишь в условиях специальных заводов (инкубаторов), что, например, все шире используется в устрицеводстве в США и Великобритании [104].

В естественных условиях моллюски, как и другие организмы, встречаются отдельными скоплениями особей. Если они свободно скрещиваются между собой, это означает, что соответствующие скопления образуют так называемую популяцию, имеющую свою наследственно закрепленную специфику, или генофонд. Относительная консервативность генофонда нередко сочетается с лабильностью внешних (морфологических) признаков скоплений и составляющих их особей, а именно: размерно-возрастной и половой структур, линейно-весовых соотношений тела, темпов роста и т. д. Конечно, неоднородность признаков может быть следствием неидентичности соответствующих наследственных основ, однако достаточно часто они возникают и под влиянием изменения условий среды, хотя генофонды могут и не различаться.

По внешним признакам гребешки, устрицы, мидии неодинаковы в разных районах Приморья. Чтобы рационально разместить плантации и правильно производить отбор производителей для селекции, необходимо знать причину морфологического разнообразия – является ли она результатом влияния экологических факторов или следствием генетических различий. В первом случае безразлично, какое из скоплений брать за основу при культивировании, а важны определенные внешние факторы, которые надо учитывать при создании морских хозяйств. Во втором случае необходимо учитывать генофонд скоплений. Упомянутый круг вопросов решается в рамках популяционной биологии того или иного вида.

*Популяционная биология приморского гребешка.* Приморский гребешок встречается от побережья п-ова Корея с перерывами до залива Де-Кастри (Хабаровский край), от Западного к Южному и до Восточного побережья о-ва Сахалина, от о-ва Кунашир до японских о-вов Хоккайдо и Хонсю (рис. 18).

Размерная структура скоплений различна (рис. 19): в некоторых районах (бухта Западная, оз. Второе, залив Ольги) мелкие и крупные (соответственно молодые и взрослые) особи встречаются совместно, причем в различном численном соотношении, в других представлены преимущественно крупные моллюски.

Размерные параметры гребешков разные. При одинаковой длине тела наиболее глубокие раковины отмечаются у гребешков в бухтах Преображение, Мелководная и в оз. Втором. Соотношение массы мускула к массе раковины максимально в бухте Западная, несколько ниже

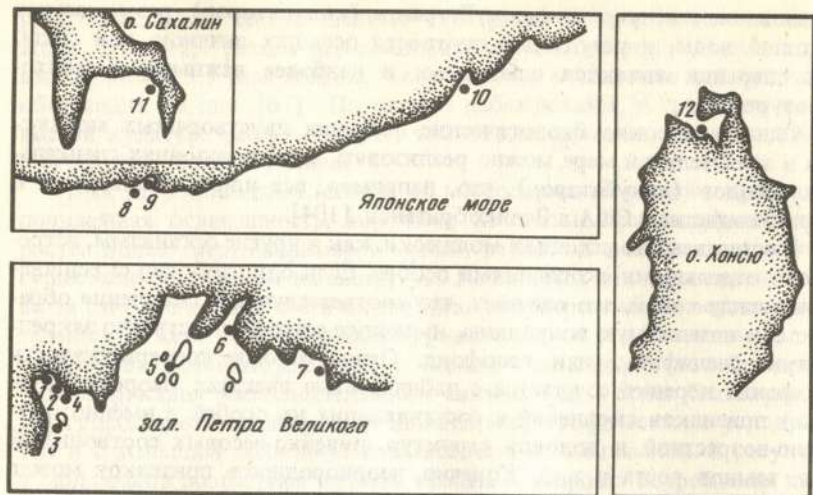


Рис. 18. Ареал приморского гребешка (показан частично) и место отбора проб: 1 – бухта Клыквова; 2 – бухта Миноносок; 3 – бухта Западная; 4 – бухта Троицы; 5 – бухта Шкота; 6 – бухта Андреева; 7 – оз. Второе; 8 – бухта Мелководная; 9 – бухта Преображения; 10 – залив Ольги; 11 – оз. Буссе; 12 – залив Муцу

в районе о-ва Шкота, бухтах Клыквова, Андреева и наименьшее на остальных станциях (рис. 20).

Итак, по данным морфометрии, гребешки в разных скоплениях имеют различный внешний облик; причиной этого явления, как показал анализ биохимических особенностей мышечных белков [44], служит разнотипность экологических условий отдельных районов при генетической идентичности моллюсков разных скоплений. Вместе с тем гребешки советского Приморья и Японии генетически различны.

Рассматривая популяционную биологию тихоокеанских устриц, нужно отметить, что для этого моллюска характерно большое разнообразие формы тела. Среди сотен устриц даже из одного и того же биотопа почти невозможно найти двух одинаковых по форме особей. Форма раковин их меняется от круглой или шаровидной до сильно вытянутой, клиновидной. Вероятно, такая морфологическая вариабельность дала повод для описания трех видов устриц из залива Петра Великого [66]. Позднее один из видов был разделен на три подвида и лишь в 1960 г. все виды и подвида были объединены в один подвид [21, 70]. Единая наследственная основа устриц Приморья была подтверждена результатами электрофоретического изучения белков [57].

Что же касается мидии обыкновенной, то популяционная биология этого моллюска в Приморье почти не исследована. В то же время на ос-

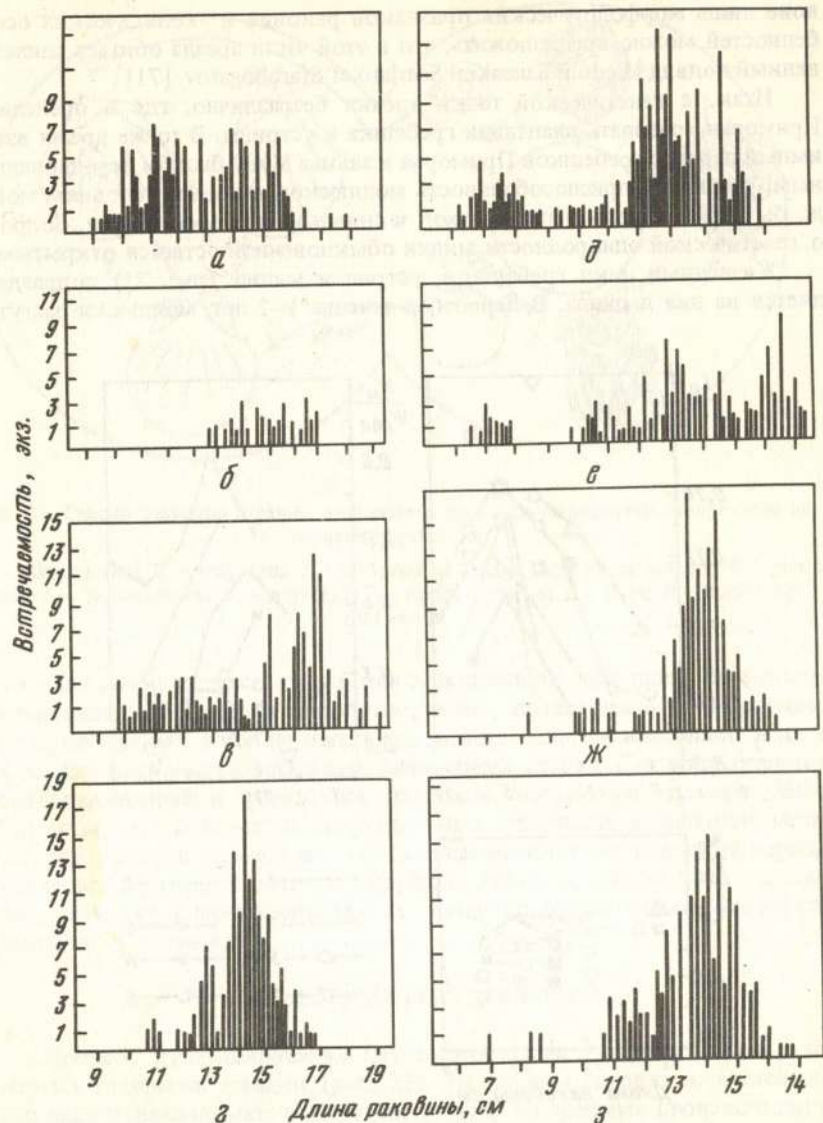


Рис. 19. Размерная структура скоплений приморского гребешка: а – бухта Клыквова; б – о-ва Шкота; в – бухта Западная; г – бухта Андреева; д – оз. Второе; е – залив Ольги; ж – бухта Мелководная; з – бухта Преображения

нове лишь морфологических признаков раковин и экологических особенностей можно предположить, что в этой части ареала обитает единственный подвид *M. edulis Kussakini Scarlato et Starobogatov* [71].

Итак, с генетической точки зрения безразлично, где в пределах Приморья создавать плантации гребешка и устрицы. В то же время взаимный перенос гребешков Приморья и залива Муцу был бы нерациональным, так как неприспособленность моллюсков к новым условиям могла бы вызвать повышенный отход и снижение продуктивности. Вопрос о генетической однородности мидии обыкновенной остается открытым.

Жизненный цикл гребешков, устриц и мидий (рис. 21) подразделяется на два периода. В первом, в течение 1–2 лет, моллюски растут,

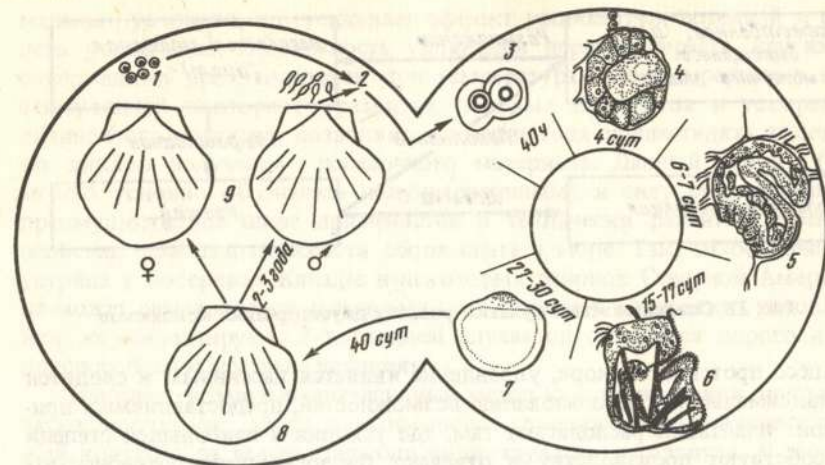


Рис. 21. Стадии развития и схема жизненного цикла двусторчатых моллюсков на примере гребешка:

1 – яйцеклетка; 2 – спермии; 3 – эмбрион на стадии двух бластомеров; 4 – гастрюла; 5 – конхостома; 6 – велигер; 7 – продиссоконх; 8 – спат; 9 – половозрелые особи

созревают и нерестятся на дне или в подвешенном состоянии. Во втором выметанные яйцеклетки оплодотворяются, превращаясь в эмбрионов, которые там же, в толще воды, или в пелагиали, за несколько недель проходят ряд последовательных личиночных стадий. Личинки питаются фитопланктоном и разносятся течением. Достигнув размера 250–300 мкм, они оседают на искусственных субстратах и проходят метаморфоз, превращаясь в спат, чем и заканчивается пелагический период жизненного цикла. После метаморфоза личинки, называемые спатом, быстро растут и через несколько лет начинают размножаться. Таким образом цикл замыкается.

#### МЕТОДОЛОГИЯ КОНХОКУЛЬТУРЫ

Процесс культивирования двусторчатых моллюсков связан с четырьмя главными этапами (рис. 22). На первом находят естественные или искусственные маточные банки (стадо) со зрелыми производителями. На втором получают от них посадочный материал (приплод, молодью или, в нашем случае, спат). На третьем выращивают его до товарных кондиций. На четвертом собирают урожай, оставляя его часть для пополнения маточного стада.

Применяющиеся в мировой практике способы реализации приведенной схемы различны. Так, в наиболее распространенном случае весь

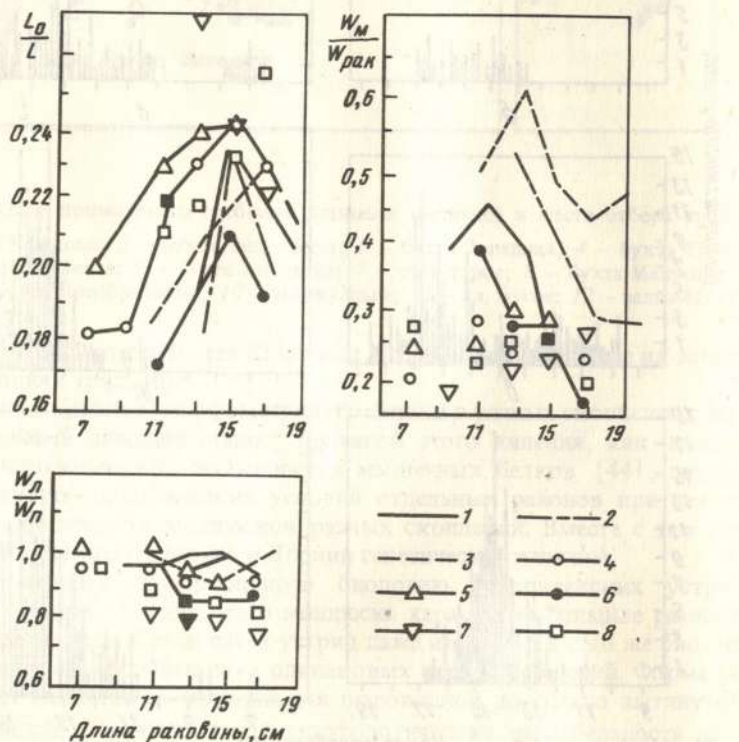


Рис. 20. Возрастная изменчивость некоторых индексов гребешка  $\frac{L_0}{L}$  – относительная глубина правых створок;  $\frac{W_m}{W_{рак}}$  – масса мускула;  $\frac{W_l}{W_p}$  – масса левой створки;  $\frac{W_p}{W_r}$  – масса правой створки; 1 – бухта Клыкова; 2 – о-в Шкота; 3 – бухта Западная; 4 – бухта Андреева; 5 – оз. Второе; 6 – бухта Мелководная; 7 – бухта Преображения; 8 – залив Ольги



Рис. 22. Основные этапы культивирования двустворчатых моллюсков

процесс протекает в море, управление является пассивным и сводится к максимальному использованию возможностей, предоставляемых природой: плантации располагают там, где условия в наибольшей степени способствуют производству и отвечают биологическим потребностям моллюсков; плотности посадки подбирают так, чтобы они соответствовали трофическим ресурсам и скорости водообмена; ежегодно прогнозируют оптимальные сроки выставления коллекторов и ожидаемые объемы спата; при необходимости проводят регуляцию численности обрастателей и хищников. Этот метод связан с большими затратами труда и материалов, носит экстенсивный характер, производство же зависит от стихийных явлений и сопровождается чередованием урожайных и неурожайных лет. Например, в 1978 г. морские звезды, в массовом количестве осевшие на коллекторы, на 80% уничтожили спат гребешка на плантациях в заливе Посьета. В 1980 г. там же наблюдалось сильное цветение микроскопического организма — ночесветки и, возможно, по этой причине была низкая численность личинок гребешка в планктоне (при норме 250 экз. на коллектор приходилось в среднем 6–26 экз.). В том же году в заливе Посьета при достаточно высокой численности личинок устриц в планктоне они практически не осели на коллекторы. Значительная межгодовая изменчивость численности и выживаемости личинок весьма характерна для двустворчатых моллюсков [88]. Данный метод применяется там, где климатические условия благоприятствуют размножению разводимых объектов (страны Юго-Восточной Азии, Япония).

В другом случае спат получают в результате стимуляции нереста (гребешков) или искусственного оплодотворения (устриц) и дальнейшего выращивания личинок на суше в специальных заводах, где осуществляется полная регуляция всех процессов [133]. Однако товарное выращивание, как и прежде, должно производиться в море. Подобная технология позволяет выбирать производителей с желательными наследственными особенностями и дополнительно интенсифицировать процесс. Это достигается за счет реализации биологических потенций вида, причем самые уязвимые (личиночные) стадии развития протекают при опти-

мальных условиях, что усиливает эффект упомянутых потенций и степень управления. Возможность удлинения периода нереста, например содержанием производителей при температурах ниже нерестовых или стимуляцией повторного развития половых продуктов и ускорения личиночного развития, позволяет в течение года осуществлять несколько циклов получения посадочного материала. Данный метод (его можно условно обозначить полунтенсивным) в силу рассмотренных преимуществ все шире применяется в технически развитых странах, особенно при невозможности сбора спата в море. Так, тихоокеанская устрица у побережья Канады и некоторых районов Северной Америки не может размножаться, и поэтому спат получают в заводских условиях или же импортируют. В последнем случае он обходится дорого и не приспособлен к местным условиям.

Наконец, возможен интенсивный метод культивирования двустворчатых моллюсков, когда в оптимальных условиях осуществляется полный контроль за всеми стадиями индивидуального развития. В настоящее время при промышленном культивировании рассматриваемых моллюсков он не применяется и используется лишь в экспериментальных работах, например для выведения более продуктивных и устойчивых к заболеваниям рас устриц [120]. Однако по мере совершенствования биотехнологии, что в первую очередь связывается с применением высокоэффективной управляемой поликультуры, и усиления вредного антропогенного влияния на морские экосистемы (загрязнение воды, разрушение донных биоценозов в ходе гидротехнического строительства и т. п.) этот метод будет становиться все более экономичным [143].

В морских хозяйствах Приморья применяются экстенсивные биотехнологии культивирования двустворчатых моллюсков. Их суть заключается в ежегодном сборе с помощью искусственных субстратов (коллекторов) спата естественного происхождения, в его выращивании на тех же коллекторах (с регуляцией плотности) до товарных кондиций (устрицы, мидии) или же до размера 20–25 мм (гребешки) с дальнейшим содержанием молоди в подвесных садках до размера 30–40 см и затем с меньшей плотностью в них же на грунте. Одновременно разрабатывается полунтенсивный метод производства спата гребешка. В результате показана возможность на 1–1,5 мес раньше, чем в морских хозяйствах, получения жизнестойкого спата размером 10–12 мм с 2%-ным выходом от числа ранних эмбриональных стадий. Эти показатели, несомненно, могут быть улучшены.

#### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА АКВАТОРИИ

Правильная оценка потенциальной нагрузки на акватории, т. е. определение максимально допустимой плотности размещения культивируемых объектов, при которой на данной площади (или в данном объ-

еме) сохраняется экономически оправдываемый прогноз (выход) полезной продукции, важна, по крайней мере, по двум причинам: во-первых, она позволяет дать заключение об экономической целесообразности культивирования в том или ином районе; во-вторых, она выявляет максимальную продуктивность морского хозяйства и, следовательно, позволяет планировать его развитие. Превышение допустимых норм посадки приводит к возрастанию смертности моллюсков и снижению продуктивности плантаций, что, например, наблюдалось у приморского гребешка в заливе Муцу [146].

Поставленная задача может быть решена несколькими способами.

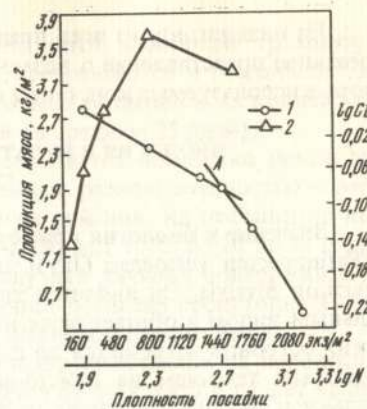
**Первый способ.** Можно определить общее количество органического вещества, синтезируемого в данной бухте всеми первичными продуцентами и внесенного туда же водотоками и течениями, затем эту сумму уменьшить в 10 раз (поскольку фильтраторы находятся на втором трофическом уровне) и затем еще на 70% (в предположении, что степень изъятия органического вещества моллюсками из биотического круговорота не более 30%). Полученная величина делится на среднегодовую величину рациона одного моллюска. Таким образом, было установлено, что трофические ресурсы мелководной части залива Посьета в расчете на углерод составляют 43 тыс. т, что достаточно для одновременного культивирования 60–70 млн. шт. товарного гребешка в течение года [20]. Этот метод трудоемок, основан на ряде спорных допущений и не учитывает влияния пищевых конкурентов, однако может применяться для ориентировочных оценок.

**Второй способ.** Размещая моллюсков со все большей плотностью, можно определить такую, при которой в данном районе за цикл культивирования будет достигнута максимальная продукция. Результаты использования такого метода в качестве примера даны на рис. 23. Можно видеть, что если бы длительность выращивания гребешков составляла всего год, то оптимальная плотность посадки в бухте Миноносков находилась бы в пределах 500–800 экз. на 1 м<sup>2</sup>, что при средней высоте эксплуатируемого слоя, равной 8 м, и расстоянии между смежными садками по вертикали 20 см обеспечило бы приблизительно 0,5 кг мяса с 1 м<sup>3</sup> воды. Разумеется, эта величина предельная, и ее нельзя достичь в реальных условиях промышленной культуры, так как стала бы сказываться нехватка трофических ресурсов.

**Третий способ.** Зная площадь сечения подвесной плантации ( $A, м^2$ ), перпендикулярную течению, ее среднюю скорость ( $v, м/ч$ ), объем воды ( $N, л/ч$ ), проходящей за единицу времени ( $N = vA \cdot 10^3$ ), среднюю концентрацию взвешенных частиц ( $n, мг/л$ ) или сестона, достигающего первой хребтины ( $T_1$ ) ярусной конструкции с садками, число моллюсков на хребтинах ( $M, экз.$ ), скорость фильтрации [ $F, л/(ч \cdot экз.^{-1})$ ] и считая, что сестон распределен равномерно, скорость течения одинакова в каждой точке и оно ламинарное, можно рассчитать все необходимые показатели [117]. Например, концентрация частиц у любой хребтины

Рис. 23. Влияние плотности посадки ( $N, экз./м^2$ ) гребешков:

1 — линейный рост (двойной логарифмический состав); 2 — продукция мяса; А — 500 экз./м<sup>2</sup>, бухта Миноносков, первый год жизни



$$n_k = n (N - FM/N)^{k-1}, \quad k = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$$

Определить показатель, где концентрация сестона наполовину меньше начальной, можно по формуле

$$k = 1 - \ln [2 - (N - FM)/N].$$

Необходимую скорость течения для плантации заданного размера можно вычислить по формуле

$$v = FM/A \cdot 10^3 \left(1 - \sqrt[k-1]{n_k/n_1}\right).$$

Поскольку все хребтины одной длины и несут одинаковое количество садков (или коллекторов), занимающих один и тот же горизонт и содержащих равное число моллюсков, то легко рассчитать их суммарное количество, при котором у последней хребтины концентрация сестона будет вдвое меньше, чем на входе в установку.

**Четвертый способ.** Предполагается, что доступный для потребления сестон содержится в том объеме воды, который заменяется в бухте в результате приливно-отливных течений. Например, в бухте Новгородской содержание углерода взвешенного органического вещества ( $C_B$ ) в среднем составляет 0,2 мг/л, суточный водообмен равен приблизительно 20%, или  $18 \cdot 10^6 м^3$ , следовательно, в заменяемом объеме воды содержится около 3890 кг углерода; в бухтах Миноносков и Рейд Паллады среднее содержание  $C_B$  равно 0,13 мг/л, заменяемый объем достигает  $117 \cdot 10^6 м^3$  и количество углерода в нем — 15 400 кг [48]. Определив расчетным путем или экспериментально пищевые потребности товарных моллюсков и молоди за год, зная численное соотношение возрастных групп, можно вычислить максимально допустимое количество моллюсков в бухте. Так, суточные пищевые потребности для товарных устриц и гребешков составляют соответственно 226 и 146, для их молоди — 25 и 12 мг углерода на экземпляр [41]. Следовательно, в бухте Новгородской можно в течение года содержать около 42 млн. шт. устриц, в том числе 14 млн. шт. товарных, а в бухте Рейд Паллады — не менее 100 млн. шт. гребешка, из которых около 70% будет приходиться на молодь.

На наш взгляд, из всех приведенных способов третий дает наиболее реальное представление о возможной нагрузке на акватории, хотя некоторые используемые константы и допущения требуют уточнения.

### БИОЛОГИЯ И КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА

**Значение и биология приморского гребешка.** Приморский гребешок [*Ratiporecten yessoensis* (Jay)] относится к классу двустворчатых моллюсков *Bivalvia*. Он является тихоокеанским приазиатским нижнебореальным видом и обитает чаще всего на глубине 1–80 м, однако у японских островов встречается до глубины 211 м. Обычно селится в местах с быстрым течением на илисто-песчаном и илистом грунте с примесью гальки и ракушки, а также на гальке, крупном песке и среди камней. Избегает сплошной каменистый грунт, подвижный песок и жидкий ил.

Гребешок начинает нереститься при температуре воды у дна 7–9°C. При дальнейшем прогреве воды интенсивность нереста возрастает, а заканчивается он при 14–15°C. Общая продолжительность нерестового периода – около 1 мес. В мелководных прогреваемых бухтах нерест протекает раньше, чем в открытых, мористых районах. Например, в бухтах Рейд Паллады (залив Посьета) нерест наблюдается с 15–20 мая до 10–15 июня. В более открытых районах того же залива (у о-ва Фуругельма) или севернее (залив Восток) нерест происходит позже на 10–15 дней, а у о-ва Сахалин еще позже на целый месяц. Так как на нерест влияет не только температура воды, но и другие, связанные с ней факторы, иногда отмечаются задержки нереста при нерестовых температурах.

Половые железы гребешков перед нерестом окрашены в ярко-оранжевый цвет у самок и в белый у самцов, имеют серповидную форму, упругую консистенцию. После выметывания половых продуктов они уменьшаются в объеме, бледнеют и поэтому определить пол невооруженным глазом становится невозможно.

При оценке динамики (быстрый или растянутый) и характера (полный или неполный) нереста гонады гребешка исследуют визуально и по величине гонадного индекса.

По величине гонадного индекса (отношение массы гонады к массе мягких тканей с гонадой, выраженное в процентах) оценивается полнота вымета половых продуктов. Нормальный нерест сопровождается снижением величины гонадного индекса с 28–32 до 8–12%, а при аномальном нересте в конце периода эта величина достигает 20–24% (рис. 24). В этом случае гонады уже начинают изменять цвет, но продолжают оставаться довольно большими. При нересте, когда большая часть гребешков нерестится в сжатый срок и гонадный индекс резко снижается, личинок в планктоне всегда больше, чем при растянутом аномальном нересте.

Через 1–3 сут после нереста появляются плавающие трохофоры, которые в процессе развития и роста превращаются в оседающие личинки. От начала нереста гребешка до оседания личинок на коллекторы в заливе Посьета проходит 22–30 дней (в среднем 25 дней).

В течение планктонного периода отмечается несколько пиков численности личинок (рис. 25), обусловленных разновременностью нереста гребешка и приносом личинок из других районов. Их оседание на коллекторы в заливе Посьета начинается в период с 10 до 20 июня и продолжается до 15–20 июля, в редких случаях личинки обнаруживаются в планктоне до конца месяца. Интенсивное оседание происходит в середине указанного срока – с конца июня до первой декады июля.

Личинки оседают обычно в июне преимущественно на водоросли; при длине около 10 мм спат открепляется от субстрата и падает на дно. По мере роста гребешки, особенно в открытых районах, перемещаются все глубже и рассредоточиваются, однако перед нерестом взрослые особи скапливаются в более мелководной зоне. Миграция гребешков происходит путем выталкивания струй воды при захлопывании створок (с помощью реактивной тяги). Гребешки встречаются при самых различных температурах воды – диапазон выживания лежит в пределах приблизительно от минус 1,7 до 25°C; их рост протекает при температурах от 0 до 20–22°C, личинок – при 7–18°C, однако оптимум для первых отмечен при 12–16°C, для вторых – при 15°C.

Приморский гребешок является стеногалинным и предпочитает высокую соленость воды в диапазоне 32–33‰; для личинок диапазон шире, так как верхний предел солености равен 37‰. Наибольшая смертность гребешка отмечена на ювенильных стадиях. Так, за первые полгода жизни спата в естественных условиях отход достигает 82–100%, что свя-

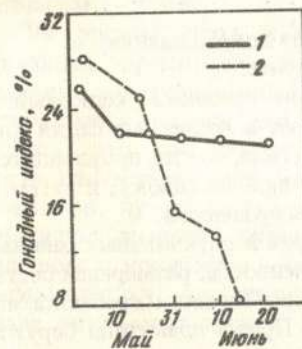


Рис. 24. Динамика гонадного индекса приморского гребешка:

1 – аномальный нерест; 2 – нормальный нерест

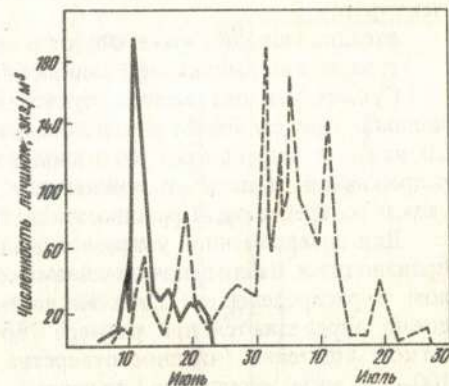


Рис. 25. Динамика численности личинок приморского гребешка в планктоне бухты Мияносок

зано с малой устойчивостью личинок и спата к колебаниям (особенно резким) температуры и солености, заиливанию и пониженному содержанию растворенного кислорода. Например, уже при концентрации ила в воде, равной 0,05%, у молоди размером менее 20 мм очень быстро забиваются жабры и фильтрация прекращается; у более крупных особей скорость снижается приблизительно на 60%; при снижении содержания кислорода до 1,5–1,8 мл/л ( $\frac{3}{4}$  полного насыщения) при 13–16°C спат прекращал фильтрацию уже через 13–27 мин, а более крупные моллюски — через 25–53 мин. Что касается уровня освещенности, то отношение к нему на разных этапах жизни у гребешка разное: планктонные личинки обнаруживают положительную (до известного предела освещенности) фототоксичность; для молоди и взрослых моллюсков, обладающих множеством светочувствительных глазков, очевидно, существует минимально необходимый порог освещенности, поскольку, например затемнение гребешка рукой, вызывает защитную реакцию — захлопывание створок и, следовательно, служит сигналом опасности. Вместе с тем для взрослых особей свет, возможно, является тем фактором, который “запускает” гормональные механизмы гаметогенеза ранней весной, когда при увеличении светового дня и освещенности начинается активное образование половых клеток, хотя температура воды остается отрицательной.

Средняя продолжительность жизни гребешков 10 лет. В процессе роста, наиболее быстрого в первые 6 лет жизни, гребешки могут достигать 22 см по высоте раковины, массы тела — более 1 кг и мускула — до 150 г.

**Биотехнология промышленного культивирования гребешка.** Культивирование гребешка осуществляется по следующей схеме:

прогнозирование сроков оседания личинок и выставление коллекторов;

отсадка молоди с коллекторов в садки для подращивания;

товарное выращивание в садках или на грунте.

Существует два метода культивирования гребешка: садковый и донный. При садковом методе спат помещают в подвесные садки (по 20 экз.) и выращивают до весны второго года, когда производится разреживание (плотность уменьшают до 10 экз. на садок), и затем в садках же гребешок выращивается до товарных размеров.

Для своевременной установки коллекторов в оптимальных районах производятся наблюдения за динамикой численности, размерным составом и распределением личинок на акватории. Личинки гребешка надежно определяются при размере 150 мкм. Пробы планктона берутся сеткой Апштейна (входное отверстие 25 см, капроновое сито с ячейей 100–150 мкм) ежедневно или через 1–2 дня в одной-двух реперных точках. Проба полностью просматривается под микроскопом при увеличении 8х2 в камере Богорова, личинки гребешка подсчитываются и измеряются. При обнаружении личинок размером 200–225 мкм необхо-

димо срочно (за 2–3 дня) выставить коллекторы. В стадии оседания личинки гребешка хорошо различаются по черному пигментному “глазку” в центральной части раковины.

Коллектор представляет собой устройство для сбора личинок и подращивания спата гребешка и состоит из оболочки и наполнителя. Оболочка изготавливается из трикотажной капроновой дели с ячейей 3–5 мм или из полиэтиленовой мононити. Из сетного полотна шьется мешочек размером 70х30 см, в который помещается сетный полиэтиленовый рукав с ячейей 7–12 мм и длиной 1,5 м. Рукав складывается в виде гармошки для придания мешочку объемной формы. Готовые мешочки привязываются последовательно друг за другом. Таким образом 10 коллекторов-мешочков образуют гирлянду.

Между количеством личинок размером 250–275 мкм в планктоне и спата на коллекторах существует прямая зависимость. При концентрации личинок в планктоне 20–30 экз./м<sup>3</sup> на одном коллекторе обнаруживается от 100 до 400, при 50–100 экз./м<sup>3</sup> — от 500 до 1500 экз. спата (рис. 26). Максимальная численность личинок гребешка, отмеченная для бухты Миносок (залива Посьета), за ряд лет составляет 600 экз./м<sup>3</sup>.

Наибольшее количество личинок гребешка в бухтах закрытого типа Миносок (залив Посьета), Северной (залив Славянского) встречается в планктоне и оседало на коллекторах в слое воды 6–10 м, в открытых районах обильное оседание отмечалось на больших глубинах — в горизонте 10–15 м [22].

Через месяц после оседания личинок на коллекторах большая часть спата достигает размеров около 10 мм, однако в силу растянутости периода оседания встречаются и экземпляры размером 1–2 мм.

За ростом спата и плотностью сопутствующих организмов осуществляется постоянный контроль, необходимый для выбора оптимальных сроков его отсадки. Следует сказать, что при благоприятной ситуации, когда отсутствуют или мало обростателей и хищников, нужно всегда стремиться к максимально поздней отсадке. Однако при большом количестве осевших морских звезд отсадку приходится делать раньше, иначе они могут выесть до 80–90 % спата

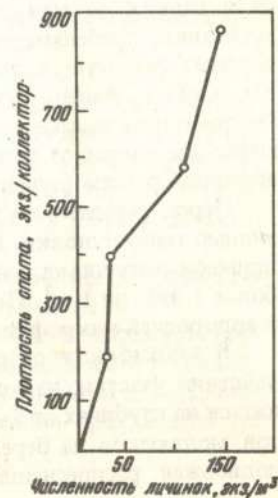


Рис. 26. Эмпирическая зависимость между численностью планктонных личинок гребешка (перед оседанием) и плотностью спата на коллекторах

гребешка; мидии скрепляют биссусом гребешков, стенки оболочки, наполнитель, что сильно затрудняет очистку коллекторов и уменьшает темпы роста молоди, потери в этом случае достигают 20–30%.

Обычно съем спата начинают, когда 70–80% особей достигнут 8–10 мм и могут содержаться в садках, не просыпаясь через ячею.

Плотность спата на коллекторах ежегодно сильно варьирует — в одном коллекторе может быть от 10–20 до 1500–2000 экз. гребешка. Среди обростателей коллекторов по численности и биомассе преобладают моллюски (мидия обыкновенная, японский гребешок), асцидии, гидроида. При интенсивном оседании количество моллюсков достигает нескольких тысяч экземпляров на коллектор, асцидий — до десятка экземпляров, а вместе с гидроидами и водорослями биомасса обростателей достигает 3–5 кг на гирлянду. На коллекторах в заливе Посьета нами обнаружено 59 видов животных.

Отсадка производится со специальной понтон-площадки, закрепленной между канатами установки. Понтон снабжен леерным ограждением, лебедкой и тентом. Гирлянды коллекторов снимают с каната, их содержимое сортируется, и гребешок отсаживается в круглые или квадратные садки конусовидной или пирамидальной формы, с площадью дна 0,12 м<sup>2</sup>. Садок делается из опинкованной или покрытой пластиком проволоки, которая обтягивается делью с ячеей 5–7 мм. При садковом выращивании спат отсаживается по 20 экз., при комбинированном — по 250 экз. на садок. Садки по 10 шт. связываются в гирлянды, расстояние между садками — 20 см. Осенью после заполнения установки садками они притапливаются якорями на 1,5–2 м от поверхности. Длина якорных поводков для каждой установки определяется так, чтобы нижние садки находились от дна на расстоянии не менее 1 м.

При комбинированном способе выращивания гребешок содержится в садках до мая следующего года. Весной производится подъем установки, гребешок освобождается из садков и помещается в транспортные емкости, в которых отвозится к местам отсадки на грунт. Емкостями обычно служат перфорированные алюминиевые ящики, в которые помещается около 5 кг спата слоем до 10 см. Спат при перевозке защищают от солнца и через каждые 30 мин поливают водой из пожарной помпы (лучше постоянное орошение).

Перед расселением участки дна обследуются водолазами или с помощью телеустановки. Грунт должен быть илисто-песчаным, допустимы примеси ракушняка, гальки, гравия. Количество звезд должно быть не более 1 экз. на 1 м<sup>2</sup>. Непригодны грунты с густыми зарослями zostеры и водорослей-макрофитов.

В зависимости от рельефа дна и береговой линии, волнового воздействия участки, на которых можно расселять гребешка, могут находиться на глубинах от 5–10 до 20–30 м, при этом не должно быть выбросов моллюсков на берег штормами. Район расселения не должен быть подвержен распреснению и загрязнению бытовыми или промышлен-

ными стоками. Оптимальная плотность гребешка при выращивании на дне — 5–7 экз./м<sup>2</sup>, однако с учетом смертности первоначальная плотность молоди должна быть выше — 10–15 экз./м<sup>2</sup> [112].

Длительность товарного выращивания составляет три года для подвесного способа и четыре года для донного. На втором году в мае гребешок пересаживают в садки по 10 экз. и при такой плотности содержат до конца выращивания. При пересадке гребешка используются новые или очищенные от обростаний садки, а старые подвергаются чистке.

При выращивании гребешка на дне осуществляют водолазный контроль за его численностью и регулируют количество морских звезд. Товарный гребешок добывается водолазами или драгой.

При садковом выращивании смертность за весь период не превышает 15%, при донном — может достигать и 70%. Тем не менее, экономический расчет показывает, что донный способ культивирования гребешка обходится в два раза дешевле, чем садковый. Это связано с меньшими затратами труда и материалов. Товарным гребешок считается при длине не менее 10 см. Масса такого гребешка около 180 г, а мускула — 20–25 г.

Современное состояние и перспективы культивирования гребешка. Первое опытно-промышленное морское хозяйство в Приморье было организовано в 1971 г., где культивированию гребешка с самого начала уделялось основное внимание. Объемы сбора молоди колебались в значительных пределах — от 20 тыс. экз. в 1973 г. до 20 млн. экз. в 1983 г., причем в неурожайном 1980 г. спат собрать не удалось. Большая часть молоди гребешка использована для восстановления в заливе Петра Великого подорванных промыслом запасов этого моллюска, около 17 млн. передано рыбхозам и рыбколхозам, что, по предварительным расчетам, может обеспечить добычу гребешка в количестве 300–400 т живой массы. В настоящее время площадь подвесных плантаций в заливе Посьета достигла 5 га, а донных — около 100 га.

В 1978 г. при рыбхозах "Славянка" и "Попов" были созданы экспериментальные участки по культивированию моллюсков с общей площадью гребешковых плантаций (в 1983 г.) соответственно 8 и 13 га. С этих участков в 1980–1982 гг. реализовано более 100 тыс. гребешков. Плантации рыбколхозов (общей площадью около 8 га) размещены на грунте; с одной из них (в заливе Славянский) в 1983 г. добыто 12 т гребешка.

В условиях южного Приморья средние величины продуктивности подвесных плантаций составляют 26, а донных 8 т сырца с 1 га.

Согласно генеральной схеме размещения хозяйств марикультуры планируется значительно расширить существующие плантации и создать новые (в бухте Андреева, Рифовал, в заливах Восток, Ольги, Владимира), что позволит уже в ближайшие годы ежегодно производить не менее 1,5 тыс. т гребешка (сырец).

**Значение и биология устрицы.** Во многих странах устрицеводство является ведущей отраслью марикультуры. Практически весь объем потребляемых устриц во всем мире получают за счет культивирования. В настоящее время мировая продукция устрицы превысила 1 млн. т в год. Предполагается, что в 2000 г. потребность в устрицах резко возрастет и годовая продукция превысит 2 млн. т [104].

Тихоокеанская, или японская, гигантская дальневосточная устрица *Crassostrea gigas* по объему выращиваемой продукции стоит на первом месте не только среди других видов устриц, но и среди беспозвоночных. Этот вид устрицы культивируется теперь практически во всех странах, где только имеются для этого условия. Годовая продукция тихоокеанской устрицы пяти стран (Япония, Франция, США, Австралия, Канада) превышает 100 тыс. т. Рассматриваемый моллюск является единственным дальневосточным видом устриц, образующим крупные скопления в заливе Петра Великого. Необходимость и целесообразность развития устрицеводства на Дальнем Востоке нашей страны обоснованы давно [66]. Однако лишь в середине 70-х годов была заложена первая опытная плантация устриц в бухте Новгородской (залив Посьета) и была доказана возможность получения высоких урожаев в короткий срок.

Тихоокеанская устрица является приазиатским субтропическо-низкобореальным видом. До начала XX в. этот вид был распространен только у берегов Японии, Кореи, северного Китая и на юге Приморья и о-ва Сахалина, в заливе Де-Кастри (Татарский пролив). В настоящее время его ареал сильно расширился главным образом из-за транс- и межконтинентальных трансплантаций как с целью акклиматизации и культивирования, так и непреднамеренно, например на днищах судов с балластной водой. В настоящее время тихоокеанская устрица распространена во многих районах Мирового океана, у берегов всех континентов (кроме Антарктиды) как в северном, так и в южном полушариях. По широте границы ареала находятся в пределах 11–52°; наиболее интенсивно культивирование проводится между широтами 30° и 50°.

Залив Петра Великого (42–43° с.ш.) входит в оптимальную для культивирования зону. Здесь тихоокеанская устрица встречается почти повсеместно — от эстуариев рек до островов в центральной части залива. Однако в открытых районах этот моллюск никогда не образует больших скоплений, так же как и в сильно опресненных реках и лагунах с соленостью в придонном слое ниже 10–15‰. Выделяются две крупные группировки в заливах Посьета и Амурском и несколько менее крупные — в заливе Славянском, бухте Новик и северной части Уссурийского залива. Отдельные небольшие скопления наблюдаются в бухтах Сидими, Воевода, Алексева и в заливах Стрелок, Восток и Америка. Основные скопления сосредоточены в хорошо прогреваемых мелководных бухтах и лагунах. Именно эти районы и пригодны для культивирования устриц.

Площадь устричников точно не определена, но в целом в заливе Петра Великого она составляет несколько сотен гектаров. Западная половина залива, где сосредоточены основные скопления устриц, наиболее пригодна для создания устричных плантаций.

У берегов Приморья, северо-восточнее залива Петра Великого, тихоокеанская устрица не встречается. За мысом Поворотным отмечается разрыв ареала до залива Де-Кастри и Южного Сахалина. Очевидно, это связано с очень низкими температурами воды летом, при которых невозможно или ограничено размножение устриц. Мощное холодное Приморское течение препятствует выносу личинок из залива Петра Великого на северо-восток, а также затрудняет распространение личинок в открытых районах залива. По этой же причине восточная половина залива обеднена устричниками; у островов и сильно выступающих в море мысов устрицы очень мало и обитает она только в литорали.

Таким образом, устрицы залива Петра Великого находятся на периферии ареала, где существуют жесткие условия естественного отбора. По морфологическим признакам выделяют несколько локальных популяций устриц, между которыми обмен личинками сильно ограничен. К ним относятся скопления устриц в заливах Посьета, Амурском, Уссурийском и др. Они находятся на большом расстоянии друг от друга, отделены сильно выступающими в море полуостровами и мысами. В периоды, когда личинок устриц в планктоне мелководных бухт очень много, температура воды в открытых районах залива еще низка, и вынесенные из бухт личинки устриц, скорее всего, погибают. Выносу личинок препятствуют также доминирующие ветры южного и юго-восточного направлений.

Для тихоокеанской устрицы характерно большое разнообразие форм раковины. Среди сотен устриц даже одного и того же биотопа практически невозможно найти две одинаковые по форме особи. Форма раковины меняется от округлой или шаровидной до сильно вытянутой, клиновидной. Она часто искажается выростами, неровными складками и ребрами. Окраска раковин бывает различной и особенно хорошо выражена у молодежи. Чаще всего на внешней стороне створок имеются три радиальные фиолетовые, иногда красноватые или желтоватые полосы. У старых особей раковина обычно белая или серая, иногда зеленоватая за счет микроводорослей, черная — от ила или коричневая — от окислов железа.

Внутренняя поверхность раковины не окрашена, за исключением отпечатка мускула, который может быть белым, фиолетовым, желтым, коричневым. Сверлящие губки и полихеты, поселяющиеся внутри раковины, сильно нарушают ее структуру, становясь причиной утолщения створок. У старых моллюсков макушка раковины и лигамент (связка, объединяющая две створки) частично разрушены.

Устрицы — раздельнополые животные. Для тихоокеанской устрицы отмечены случаи функционального гермафродитизма. Для них характер-

но явление смены пола, причем чаще всего встречается начальная мужская фаза. Зрелые гаметы обнаружены у месячных особей размером около 1 см. У годовиков процент самцов несколько выше, чем самок, однако с возрастом соотношение самцов и самок выравнивается. Устрицы, растущие в неблагоприятных условиях, обычно имеют повышенное количество самцов. Плодовитость устриц зависит от размеров моллюсков. Для взрослых самок она составляет несколько сот миллионов яиц.

Сроки нереста (начала, пика и окончания) сильно колеблются в зависимости от термических условий года. Нерест устриц в заливе Петра Великого начинается обычно в период времени от первой декады июня до конца июля. Пик нереста обычно приходится на первую половину июля. Полностью нерест заканчивается в начале сентября. У тихоокеанской устрицы из залива Петра Великого нерест отмечен при достижении температуры воды  $18 \pm 1^\circ\text{C}$ . Если температура снижается, нерест прекращается и возобновляется при  $18^\circ\text{C}$ . Неустойчивый температурный режим летом в заливе Петра Великого часто приводит к перерывам в нересте устриц. Оплодотворение у них наружное, развитие происходит с метаморфозом. Эмбриональное развитие в зависимости от температуры воды заканчивается через несколько часов или 2–3 сут с момента оплодотворения. Продолжительность личиночного развития также зависит от температуры воды и может составлять от 10–12 до 30–31 сут. Личинки устриц типично планктонные и хорошо идентифицируются благодаря своей асимметричной форме и целому ряду других признаков, характерных для личинок этого вида.

Численность личинок в планктоне подвержена сильным колебаниям, что связано с особенностями нереста, развития и роста, а также с гидрологическими условиями в районе их обитания. В районах культивирования устриц (залив Петра Великого) плотность их личинок колеблется в пределах от нескольких тысяч до десятков тысяч штук в  $1 \text{ м}^3$ , а для развития стадий она составляет не менее  $500 \text{ экз./м}^3$ . Такие плотности личинок достаточны для ежегодного промышленного сбора спата. Личинки концентрируются обычно в закрытых бухтах, вблизи крупных скоплений устриц. В открытых районах залива плотность личинок значительно ниже.

В динамике численности личинок устриц в планктоне наблюдается от одного до трех-четырёх пиков. Их появление связано с периодическим характером нереста устриц и изменчивостью условий роста личинок. Темпы их роста зависят также от стадии развития. Кроме резких изменений температуры и солёности, по-видимому, и другие факторы среды могут влиять на выживаемость личинок устриц. Например, несмотря на довольно высокую численность личинок устриц в планктоне в 1980 г., превышавшую в заливах Посьета  $1400 \text{ экз./м}^3$ , Славянском –  $3500 \text{ экз./м}^3$ , оседающих устриц оказалось очень мало, что и привело к относительно небольшой плотности спата на естественных и ис-

кусственных субстратах. На коллекторах, выставленных своевременно в бухте Новгородской и лагуне бухты Наездник, она составила в среднем лишь 3–5 экз./ $\text{дм}^2$  и не превышала  $25 \text{ экз./дм}^2$ . Тогда же предполагалось, что резкое снижение численности личинок устриц в планктоне как-то связано с впервые наблюдавшимся интенсивным цветением ноктилюки незадолго до начала размножения устриц. Однако это предположение оказалось, скорее всего, неверным, так как аналогичная ситуация в 1982 г. не привела к таким же отрицательным последствиям. Причем корреляции между численностями ноктилюки и личинок устриц в планктоне не обнаружено. Было также выяснено, что наблюдавшееся цветение имеет другую природу, чем так называемые "красные приливы" в прибрежных водах многих стран, связанные с цветением перидиниевых водорослей. Перидиниевые не скапливаются плотным слоем на поверхности воды, как ноктилюка, а распределяются в довольно большом слое воды, в том числе и там, где находятся личинки. Поэтому причины снижения численности личинок устриц перед оседанием в 1980 г. остались невыясненными.

Личинки устриц встречаются главным образом в верхнем 10–12-метровом слое воды, а максимальная плотность отмечается в горизонте от 0,5 до 3,0 м.

Период и интенсивность оседания личинок связаны с их численностью и возрастом. Обычно оседание в заливе Петра Великого начинается во второй половине июля. Максимум интенсивности оседания, наблюдаемый при высокой плотности личинок в планктоне, достигает нескольких десятков личинок на  $1 \text{ дм}^2$  субстрата за сутки. Личинки оседают практически на любой субстрат, однако предпочитают раковины двустворчатых моллюсков, особенно устриц. Размеры оседающих личинок колеблются от 300 до 380 мкм.

Темп роста спата в несколько раз выше, чем личинок, например, через 2–3 дня после оседания размеры спата в два раза превышают первоначальные. Максимальный рост спата наблюдается в сентябре, среднесуточный прирост раковины в высоту достигает у отдельных особей 1,0–1,2 мм. Личинки, осевшие сначала, обычно намного опережают по темпам роста личинок, осевших в конце периода оседания. К концу октября, когда рост моллюсков практически прекращается, спат вырастает до 3–5, иногда 8–10 см, т. е. отдельные особи достигают товарных размеров.

Зимой устрицы практически не растут. Рост прекращается при температуре менее  $8-10^\circ\text{C}$ . Он возобновляется обычно в мае следующего года. По мере прогревания воды темпы роста увеличиваются. Во время нереста они снижаются и вскоре возобновляются, достигая максимума в сентябре. Через 15–20 мес от момента оседания личинок большинство устриц достигает товарных размеров и массы. В это время их средние размеры обычно колеблются от 10 до 15 см, а максимальные достигают 22 см. Масса отдельных особей колеблется в среднем от 55 до 150 г.

Темпы роста культивируемых устриц обычно в два-три раза выше темпов роста устриц в природе. Наибольшую опасность для тихоокеанской устрицы в заливе Петра Великого представляют брюхоногие моллюски — сверлильщики (*Tritonalia japonica*, *Boreotrophon candelabrum*, *Rapana venosa*). На коллекторах, находящихся в толще воды, эти хищники обычно не встречаются. Значительно меньший вред приносят морские звезды и крабы. От хищников страдает преимущественно молодь устриц.

У тихоокеанской устрицы обнаружено много видов паразитов. Некоторые из них являются причиной серьезных заболеваний устриц, например сверлящая губка *Gliona* sp. Несколько реже встречается сверлящая полихета *Poliaoga* sp. У края мантии устриц часто можно обнаружить эктопаразитических брюхоногих моллюсков из рода *Odostomia*. Внутренние органы иногда поражены грибок, церкариями трематод, паразитическими копеподами.

В результате изучения сообществ животных и растений, поселяющихся на устрицах и вблизи них, в конце XIX в. было введено понятие "биоценоз". Раковины устриц служат прекрасным субстратом для прикрепления многих организмов, убежищем и кормовой площадкой для них. Устрицы выделяют огромное количество биоотложений, которые накапливаются между створок и служат кормом или убежищем для илолюбивых животных. На раковинах устриц прикрепляются многие виды зеленых, бурых и красных водорослей, которые, в свою очередь, служат субстратом и источником пищи для других организмов. С устрицами связаны многие представители губок, мшанок, многощетинковых червей, баянусов, гидроидов, ракообразных, иглокожих и других видов моллюсков. Многие из них являются пищевыми конкурентами устриц. Некоторые относятся к промысловым (трепанг, японский гребешок, мидии, арки, морские ежи) и могут культивироваться совместно с устрицами в поликультуре.

**Биотехнология промышленного культивирования устриц.** Биотехнология (биотехника), как известно, представляет комплекс мероприятий, направленных на получение товарной продукции полезных человеку животных. Что касается устриц, то существует не менее десяти методов промышленного культивирования их и еще больше разновидностей. Мировой практикой устрицеводства показано, что наиболее рентабельные методы культивирования заключаются в сборе природного спата на коллекторах и выращивании моллюсков в толще воды. В этом случае наиболее полно используются пространство и пищевые ресурсы водной толщи. Выращивание устриц в толще воды дает приблизительно в 10 раз больше продукции, чем выращивание на дне, и, кроме того, позволяет получать урожай в 1,5–2 раза быстрее.

Культивирование устриц, мидий и ряда других беспозвоночных на плотках относится к интенсивной форме аквакультуры в связи со значительными капитальными и трудовыми затратами, что иногда позволяет достигать весьма высокой продуктивности, например в заливах

Испании получают до 300 т мяса мидий (*Mytilus edulis*) с гектара [9].

Экстенсивная форма культивирования устриц, основанная на выращивании моллюсков в двухмерном пространстве, в настоящее время для тихоокеанской устрицы практически не применяется. Посадочный материал в основном получают в естественных условиях, а в питомниках лишь там, где устриц в природе нет или они не могут размножаться. Осенью, зимой и в начале весны питомники бездействуют, так как выращивание спата при пониженных температурах воды неэффективно из-за низких темпов их роста и сниженной выживаемости. Из-за больших энергетических, материальных и трудовых затрат строительство устричных питомников широкого распространения не получило. Устрицеводы предпочитают приобретать спат естественного происхождения, даже если его приходится импортировать.

Весь цикл культивирования тихоокеанской устрицы занимает в среднем 15–22 мес. При выращивании устриц в поликультуре, когда возникает необходимость получения урожая других видов моллюсков и иглокожих, продолжительность выращивания может быть растянута до 3–4 лет, для того чтобы получить наибольший экономический эффект. Биотехнология культивирования тихоокеанской устрицы включает три основных этапа: сбор спата, выращивание, сбор урожая с его первичной обработкой.

**Сбор спата.** Объем продукции и судьба будущего урожая устриц во многом зависят от правильности выполнения первого и основного этапа биотехнологии — сбора спата. Ему предшествует подготовительный период, когда изготавливаются коллекторы и монтируются устричные установки, прогнозируются сроки оседания личинок на коллекторы и его интенсивность, опытным путем выбираются конкретные места культивирования устриц.

Устричные установки — специальные устройства, служащие для подвешивания гирлянд коллекторов в толще воды для сбора спата и его выращивания. Существует три основных типа устричных установок — гибкие, полужесткие и жесткие. Их применение зависит главным образом от глубины, защищенности акватории от штормов и продуктивности вод. Например, жесткие установки размещают обычно на глубинах от 1,5 до 5 м, иногда до 10–12 м в бухтах, хорошо защищенных от штормов. Гибкие (ярусные) установки лучше подходят для открытых бухт с глубинами свыше 4–5 м. На устойчивых к штормам гибких установках объемы выращиваемой продукции с единицы занятой площади в несколько раз меньше, чем на полужестких и жестких установках. В отличие от жестких (свайных) установок полужесткие (плоты) конструкции мобильны, в случае необходимости их можно легко переставлять в новые районы или вытаскивать на берег для ремонта. Преимущество жестких установок состоит в том, что они выдерживают гораздо большие нагрузки, чем конструкции на плаву. Поэтому в районах высоко развитого устрицеводства часто используют все три основных типа устричных установок.

Коллектором называется структурная единица из материала естественного или искусственного происхождения, предназначенная для улавливания личинок. Для тихоокеанской устрицы коллектор обычно служит и для дальнейшего выращивания их до товарных размеров. Наибольшая эффективность сбора спата характерна для коллекторов, являющихся раковинами крупных двусторчатых моллюсков (устриц, гребешков). Они и самые дешевые, так как являются отходами производства пищевых моллюсков.

Для более компактного и равномерного распределения коллекторов в толще воды их собирают в гирлянды тем или иным способом: вплетая в пряди плетеных веревок, прикручивая к веревкам с помощью проволоки или скоб, нанизывая на проволоку. Последний способ — наиболее простой. Для этого только нужно вблизи центра тяжести каждого коллектора сделать небольшое отверстие.

В зависимости от условий сбора спата коллекторы иногда выставляют на установках в сетчатых мешках, вставляют в расщепленные концы палок, просто разбрасывают на дно и т. п. В заливе Петра Великого эти способы менее эффективны, чем сбор на гирляндах коллекторов, подвешенных в море.

Монтаж установок производят на берегу или в море. Например, на берегу оснащают тросы или ярусы кухтылями, собирают шлоты, подготавливают якоря и оттяжки. Эти подготовительные работы желательно проводить зимой и весной. Согласно биотехнологии окончательный монтаж различных установок проводят в море за 1–2 мес до начала сбора спата, т. е. в мае–июне. Устричные установки, рассчитанные на многолетнее использование, весной приводят в порядок: подтягивают крепления, очищают обрастания, заменяют плавучести и т. д.

**Прогнозирование времени и интенсивности оседания личинок.** От правильного и своевременного выполнения этих работ зависит судьба будущего урожая, так как период интенсивного оседания личинок устриц бывает очень коротким (иногда всего несколько дней). Существует три вида биологических прогнозов: долгосрочные, краткосрочные и текущие.

Долгосрочные прогнозы составляют на основе многолетних биологических, гидрометеорологических и фенологических наблюдений. Знание среднесезонных и экстремальных дат начала оседания и его наибольшей интенсивности позволяет определить наиболее вероятную дату оседания личинок устриц. Существует несколько методов, которые необходимо использовать в совокупности. Графический метод выполняется путем построения номограмм для каждого района. При построении сетки тепловых ресурсов залива или бухты используют среднепериодные температуры воды, вычисленные по среднедекадным многолетним данным. Номограмма получается при наложении на сетку тепловых ресурсов кривой продолжительности личиночного развития устриц в зависимости от температуры воды. При пересечении кривой развития

личинок в планктоне и линии среднепериодных температур воды можно найти даты, когда будет происходить оседание личинок устриц на коллекторы.

Метод сумм эффективных температур основан на расчете продолжительности той или иной стадии личиночного развития  $n$  (сут) по уравнению

$$n = A/T_{\text{ср}} - B,$$

где  $A$  — константная сумма эффективных температур, определяемая для каждой конкретной стадии, градусо-дни;  $T_{\text{ср}}$  — средняя температура воды за период, °С;  $B$  — константный нижний порог эффективных температур, равный для залива Петра Великого 18°С.

Методы долгосрочных прогнозов дают иногда большие ошибки, их точность зависит от объема собранного за много лет материала.

Краткосрочные прогнозы охватывают период от нескольких суток до нескольких недель, до начала оседания личинок. Из природных популяций делают выборку половозрелых устриц для биологического анализа: оценивают степень зрелости половых продуктов, изменения в индексе кондиции, способность к искусственному индуцированию нереста, что позволяет определить сроки нереста и по длительности развития личинок — примерные сроки их оседания.

Более точные прогнозы дают регулярный (через 1–2 дня) сбор проб планктона и определение в них численности и стадий развития личинок устриц. Пробы планктона начинают собирать вскоре после достижения температуры воды 15–16°С. Появление в планктоне личинок устриц в стадии оседания (размеры 300 мкм и более) свидетельствует о том, что оседания следует ожидать в ближайшие 1–3 дня (в зависимости от хода температуры воды). Плотность личинок в планктоне позволяет оценить ожидаемую интенсивность оседания. Если плотность личинок в стадии оседания превышает 100 экз./м<sup>3</sup>, то следует ожидать интенсивного оседания.

Текущие прогнозы выполняются после начала оседания личинок устриц на коллекторы. Основной метод — сбор планктонных проб с целью изучения динамики численности личинок. В случае появления в планктоне личинок новых генераций можно рекомендовать дополнительный сбор спата или принимать меры, предохраняющие коллекторы от избыточного оседания личинок устриц.

**Выставление коллекторов и контроль за оседанием личинок.** К началу июля все устричные установки и гирлянды коллекторов должны быть готовы к сбору спата. Необходимое количество спата на коллекторах может появиться за 1–2 сут. Запаздывание с выставлением коллекторов ведет к недостаточному полному сбору спата и его плохому росту. Преждевременное выставление коллекторов может привести к появлению различных обрастателей, препятствующих нормальному оседанию личинок и дальнейшему росту спата. Сроки выставления коллекторов определяются в соответствии с прогнозом времени и интенсивностью оседания личинок устриц.

Места выставления коллекторов определяют задолго до начала промышленного культивирования устриц. С этой целью изучают горизонтальное распределение личинок устриц в планктоне, пути их переноса, плотность осевших личинок на контрольных коллекторах, физико-географические особенности района, местоположение естественных устричников. Имеет значение и удаленность выбранного места от береговых баз.

Горизонт (глубина) выставления коллекторов относительно стабилен для всего залива — от поверхности воды до 5—6 м. В каждом районе имеется свой оптимальный горизонт. Если водоем замкнут и имеет большой речной сток, то в период выпадения атмосферных осадков в поверхностных слоях наблюдается сильное распреснение; в этом случае коллекторы необходимо выставлять ниже 0,5—1,0 м от поверхности воды. При нормальной солености верхние коллекторы могут находиться у самой поверхности. В целом оптимальный горизонт находится в слое от 0,5 до 3,0 м.

Выставляют коллекторы с борта лодки, понтон-площадки (конструкция Дальтехрыбпрома) или плота. Гирлянды коллекторов подвязывают к устричным установкам с помощью поводцов соответствующей длины (обычно 0,5—1,0 м) из капронового сеточника диаметром около 3—4 мм. Если предполагается выращивать спат до товарного размера без перевешивания гирлянд, диаметр сеточника должен быть около 6 мм. Концы поводцов необходимо оплавить. Поводцы подвязывают выбленочными или беседочными узлами. На гибких установках, для того чтобы избежать сильного прогибания тросов, гирлянды желателно подвязывать под наплавами (кухтылями). Перед погружением подвязанной гирлянды в воду при необходимости ее нужно выпрямить, чтобы она висела вертикально в воде. Проверяется также качество закрутки верхней петли гирлянды.

Плотность выставления коллекторов зависит от типа применяемых устричных установок, длины гирлянд с поводцами, защищенности установки от штормов. На гибких установках между соседними разреженными гирляндами оставляют промежутки около 1,0 м, а между уплотненными гирляндами — около 0,5 м. На плотках и свайных установках гирлянды должны находиться на расстоянии не менее 0,3 м друг от друга при сборе спата и 0,5 м при выращивании. В районах, где наблюдается сильное волнение воды, гирлянды необходимо располагать на одном горизонте, чтобы избежать их спутывания. Под 1 м<sup>2</sup> установок должно находиться не более 4—5 гирлянд коллекторов. Контроль плотности спата проводят в течение всего периода оседания личинок путем регулярного (через 1—2 дня) изъятия нескольких коллекторов, подсчета и измерения спата. Плотность спата на коллекторах колеблется в больших пределах. В конце периода сбора спата, во второй половине августа, на каждом коллекторе должно находиться в среднем не менее 10 шт. Верхние пределы промышленной плотности спата не ограничены. Максимальная

плотность на отдельных коллекторах может достигнуть нескольких сотен экземпляров на коллектор. Нормальная плотность составляет приблизительно 20—50 (оптимум 25—30) шт. спата на коллектор (раковину гребешка).

**Разреживание спата.** Проводится лишь тогда, когда к концу периода оседания личинок на каждом коллекторе будет находиться свыше 100—150 шт. одноразмерного спата. Разреживание спата можно совместить с очисткой коллекторов от массовых обрастателей. Разреживание спата проводят с помощью металлических скребков или ножей, которыми соскабливают часть спата, не снимая гирлянды коллекторов с установок. Инструментом проводят несколько продольных и поперечных полос, оставляя около 50—70 шт. наиболее крупного спата. Окончание периода сбора спата обычно приходится на вторую половину августа. К этому времени размер спата — около 1—2 см, его плотность в ходе внутривидовой конкуренции стабилизируется, мелкие и ослабленные особи погибают, а оставшиеся приобретают повышенную жизнестойкость. Наступает новый этап, связанный с выращиванием спата до промысловых размеров.

**Транспортировка спата.** Осуществляется, если выращивание проводится в других районах, в том числе с целью акклиматизации. На небольшие расстояния в пределах залива спат можно перевозить на палубе непосредственно на гирляндах коллекторов в течение 1—3 сут, предохраняя от воздействия прямых солнечных лучей и сильного обсыхания. При температуре 17°C продолжительность транспортировки не должна превышать 4—5 сут, а при 12°C — 8—10 сут. Для транспортировки спата на дальние расстояния коллекторы со спатом упаковывают в термоизоляционные ящики, перекладывая их поролоном, смоченным морской водой, или влажной зоостерой. Для стабилизации температуры в ящики помещают лед в полиэтиленовых пакетах. Выживаемость спата после транспортировки оценивают путем подсчета живых и погибших устриц через 1—2 дня после выдержки контрольных коллекторов в морской воде.

**Подращивание спата и молоди.** Период подращивания спата длится 1—2 мес с момента оседания личинок. В первой половине этого периода плотность спата резко возрастает за счет интенсивного оседания личинок, а во второй половине снижается в результате естественной смертности.

Смертность спата после достижения максимальной плотности зависит от условий окружающей среды и составляет 50% и более. Для дальнейшего выращивания устриц высокая смертность спата не вредна, если в результате этого плотность спата на коллекторах не упала ниже нормы.

Обрастания на коллекторах появляются одновременно с оседанием личинок устриц. Видовой состав обрастаний широкий, но в зависимости от сезона доминируют 1—2 вида. Ими могут быть полихеты-серпулиды

(черви, живущие в известковых трубках), гидроида, асцидии, морские желуди (балянусы), мидии, бурые водоросли. Пока практически невозможно определить заранее их появление. На обрастания может приходиться до 20% от общей биомассы устриц и других организмов, находящихся на коллекторах. Очистка устриц от обрастаний проводится не всегда и только по рекомендации специалистов. Обрастания роста не приносят вреда, а иногда бывают полезными для нормального роста устриц. Некоторые обрастатели отмирают сами. Мероприятия по борьбе с обрастателями разнообразны и видоспецифичны. Например, при разреживании спата рекомендуется одновременно проводить очистку устриц от обрастаний. Она выполняется вручную с помощью жестких металлических щеток и скребков.

Период подрачивания молоди заканчивается к началу ноября, когда температура воды падает ниже 8–10°C. Наступает период зимней спячки. С ноября до конца апреля – начала мая моллюски практически не растут. Поэтому от условий в первые 3–4 мес после сбора спата зависят и будущие размеры товарных устриц. К ноябрю среди культивируемых устриц появляются особи длиной 8 см. Это минимальный товарный размер. Средние размеры молоди в это время колеблются от 3 до 7 см, а масса – около 50 г.

**Зимнее содержание устриц.** Зимой у устриц активность физиологических процессов находится на самом низком уровне. Это приводит к снижению темпов роста моллюсков и снижению смертности до минимальной. Отход устриц за зиму (5–6 мес) обычно не превышает 1–2%. Притапливание устричных установок на зиму связано с различными физико-географическими и гидрологическими условиями районов. Там, где не бывает сильных подвижек льда, установки можно не притапливать. Важно только проследить, чтобы верхняя часть коллекторов была на глубине не менее 0,8–1 м.

Порядок притапливания гибких установок следующий: осмотр установки и установление обнаруженных неисправностей; отвязывание избыточных плавучестей (не несущих нагрузки); подвязывание к рабочим тросам якорей (пикулей) массой 15–20 кг на сеточнике (диаметр 6 мм), длина которого рассчитана на глубину погружения установки; притапливание такими же якорями установки; водолазный осмотр притопленной установки и исправление неисправностей. Гирлянды на притопленных установках не должны касаться дна.

Подъем устричных установок проводят в конце апреля – начале мая в порядке, обратном притапливанию. Рабочий трос подтягивают к поверхности с помощью "кошки" и вытаскивают все якоря (их можно еще многократно использовать). Важно вовремя проводить подъем установок, так как со временем гирлянды коллекторов становятся тяжелее и могут опуститься на дно, где не только плохие условия для роста устриц, но и много хищников, способных заползть на коллекторы и уничтожить часть урожая. Зимние обрастания представлены обычно бурыми

водорослями – костарией, ламинарией, хордой. Необходимость очистки от этих обрастаний должен решать специалист. Обычно водоросли сами отмирают к началу лета.

**Выращивание и нагуливание устриц.** В мае начинается активный рост устриц, который замедляется или даже прекращается во время нереста (июль–август). В середине августа, когда температура воды достигает максимума, бывает повышенная смертность годовиков. Это связано с ослаблением защитных функций организма после нереста моллюска. Летняя смертность может достигать 20%. В относительно прохладные годы гибели устриц не наблюдается.

В июле и августе на устрицах появляются различные обрастания. Среди них часто доминирует молодь нового поколения. Обычно очистка от обрастаний не проводится, так как обрастатели уже не могут конкурировать с крупными устрицами.

Период нагуливания охватывает сентябрь и октябрь. За эти 2 мес как абсолютное, так и относительное (в %) содержание мяса у устриц может возрасти в 2 раза. В начале периода важно проконтролировать, все ли гирлянды коллекторов находятся в нормальных условиях. При необходимости их нужно равномерно распределить по всей установке. Если под воздействием массы растущих устриц часть установки затонула или опустилась на дно, нужно немедленно закрепить дополнительные плавучести.

Контролирование роста устриц осуществляют регулярно 1–2 раза в месяц. В конце периода выращивания определяют основные технологические показатели товарных устриц: размеры, массу тела, сырого и сухого мяса, содержание влаги в мясе, индекс кондиции (упитанность) и др., а также санитарное состояние водоема, где проводилось выращивание.

**Основные нормативы товарных устриц.** Минимальный товарный размер тихоокеанских устриц в различных странах и районах колеблется от 5 до 12 см, в основном – 7,5 см, устриц других видов – от 5 до 8 см. Поэтому для рассматриваемого вида устриц минимальный товарный размер условно принят 8 см. Максимальный размер товарных устриц 25 см, средний – около 12–15 см. Среди выращенных устриц встречаются такие, размеры которых не превышают 8 см. Однако количество их невелико, не более нескольких процентов. Таких устриц можно поместить в садки из металлической проволоки на доращивание со следующими показателями:

	Общая	Средняя
Масса товарных устриц, г	50–300	100–200
Индекс кондиции (масса сухого мяса, г на объем внутренней полости) 1000	50–300	80–150
Выход мяса, %	10–22	15–18
Масса мяса одной товарной устрицы, г	8–50	20–30

Количество товарных устриц на одном коллекторе, шт.	3-5	20-25	10-15
Масса одного коллектора, кг	1-6		2-3
Масса гирлянды длиной 1 м, кг	10-40		20-30
Количество товарных устриц на гирлянде длиной 1 м, шт.	30-250		80-150

**Сбор и транспортировка урожая.** Сбор урожая устриц проводится после 15–22 мес культивирования с конца октября до конца мая следующего года. В течение этого периода урожай может быть собран полностью в одно время или небольшими партиями по мере необходимости. Рационально основную часть урожая собрать в начале периода, так как при этом отпадает необходимость в притапливании установок на очередной зимний период. Кроме того, зимой устрицы не растут и их производственные показатели не увеличиваются.

Транспортировка товарных устриц осуществляется без воды в ящиках. При кратковременной транспортировке (не более 2–3 сут) их перевозят в открытых грузовиках или на палубе, а при длительной – в рефрижераторах. Для того чтобы устрицы сильно не обсыхали, их необходимо сверху накрывать слоем влажной морской травы или брезентом. При температуре воздуха ниже 0°C ящики с устрицами также нужно накрывать брезентом или перевозить в помещении (трюм, крытый кузов), чтобы избежать замораживания моллюсков.

**Современное состояние и перспективы культивирования тихоокеанской устрицы.** Первая опытная установка площадью 1 га была смонтирована в заливе Посьета в 1975 г., товарная продукция на ней была получена через 15 мес выращивания. С этого времени в заливе Посьета ежегодно проводят сбор спата, достигающий 600 тыс. шт., и выращивание опытных партий устриц, продукция которых составляет 10 т. С 1980 г. ежегодно часть спата и молоди передается в черноморские устричные хозяйства. Производственная проверка биотехнологии культивирования устрицы на экспериментальной базе Дальтехрыбпрома показала возможность получения больших объемов товарных устриц. На основе полученных материалов были разработаны нормативы выращивания и подготовлена технологическая инструкция. Кроме заливов Посьета и Славянского для культивирования устриц перспективны некоторые районы заливов Амурский, Уссурийский, Стрелок, Восток и Америка и отдельные бухты залива Петра Великого. Для культивирования устриц на Дальнем Востоке, по-видимому, пригодны и некоторые лагуны Южного Сахалина и залива Де-Кастри, где есть природные устричники. Общие объемы продукции устриц на Дальнем Востоке могут достигать нескольких сотен тысяч тонн ежегодно.

## БИОЛОГИЯ И КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИДИИ ОБЫКНОВЕННОЙ

**Значение и биология мидии.** Мидия обыкновенная (*Mytilus edulis* L.) – амфибореальный, широко распространенный вид, встречается как в субтропических, так и в низких широтах Полярного бассейна [72]. Этот вид мидии обитает в литорали и верхней сублиторали, образуя скопления, так называемые мидиевые банки. Приуроченность мидии к прибрежной зоне общеизвестна и объясняется тем, что воды ее богаты детритом и фитопланктоном – основной пищей моллюска. В Японском море естественные поселения мидии обыкновенной развиты слабо, у берегов Приморья биомасса ее составляет в среднем не более 72 кг/м<sup>2</sup> [28]. В южном Приморье скоплений практически нет. Малочисленные агрегации мидий можно обнаружить лишь на открытых участках, подверженных усиленному волновому воздействию. Они распространяются от верхней литорали до двухметровой глубины. Основным фактором, лимитирующим численность моллюсков, является недостаток субстратов, подходящих для прикрепления личинок мидий. В осеннее время на выживаемость моллюсков неблагоприятное влияние оказывают действия прибойных волн во время штормов, периодическое осушение, в результате которых большая часть мидий гибнет. Зимой для мидий губительно льдообразование, в связи с чем увеличивается смертность за счет истирания льдами.

Моллюски, обитающие на скалах, где наблюдаются постоянные прибойность и длительное осушение, имеют мелкие размеры и утолщенную раковину. В южном Приморье лишь отдельные особи достигают 40 мм. Продолжительность их жизни не превышает двух лет.

Половой зрелости мидия обыкновенная достигает на первом году жизни. Нерест мидий, как правило, начинается в мае при температуре воды 9–11°C и длится до августа включительно. К концу августа гонады у мидий пустые, а в сентябре в них происходит накопление питательных веществ. С марта по май при быстром прогреве воды от 3 до 11°C гонады интенсивно развиваются и в мае достигают полной зрелости.

Личинки мидии – треугольно-яйцевидной формы. Макушка появляется при размерах 150 мкм и имеет желтоватый оттенок. Они хорошо отличимы от личинок других двустворчатых моллюсков, но в общих чертах сходны с таковыми мидиолуса. Метаморфоз личинок начинается при длине раковины 250 мкм.

Первые личинки с раковиной размером 159–200 мкм появляются в планктоне в июне при температуре воды 13–15°C (более ранние стадии идентифицировать сложно). Личинки мидий присутствуют в планктоне с июня по август. Уже во второй декаде июня можно встретить педивелигеров (275–300 мкм). При таких размерах личинки перемещаются в толще воды с помощью паруса и ноги на субстратах. Способность личинок временно оседать на субстраты и вновь появляться в планктоне

удлиняет пелагический период их жизни при высоких летних температурах.

На выживание и развитие личинок большое влияние оказывает температура воды. При ее резких колебаниях (5–9°C в сутки) смертность личинок мидий значительно возрастает, хотя кратковременные изменения этого фактора они переносят хорошо. Второй немаловажный фактор, влияющий на развитие личинок, соленость воды. Их нормальное развитие наблюдается при солености 26–34‰, при более низкой солености смертность личинок заметно возрастает. Губительно для личинок и присутствие ила в воде: даже незначительное его содержание (в периоды штормов) может увеличивать смертность до 80%. Личинки на поздних стадиях развития более выносливы к изменениям перечисленных факторов.

Личинки мидии обыкновенной в заливе Петра Великого концентрируются в районах и участках, где есть производители. Стабильные скопления личинок встречаются преимущественно в бухтах полузакрытого типа: Северная (залив Славянский), Алексеева (о-в Попов), Миноносок, Крейсеров, Клыкова (залив Посьета). По мере удаления от указанных районов в открытые участки заливов численность личинок резко уменьшается.

Осевшие на субстрат личинки, или спат, имеют размеры 0,25–1 мм. Такие личинки могут мигрировать с помощью пузырька воздуха. Этот пузырек образуется за счет продуктов метаболизма и попадает в клейкое биссусное вещество, образуя "парашют". Все перечисленные явления в поведении личинок и молодых мидий дают возможность увеличивать ареал распространения вида. Личинки мидии оседают в прибрежной зоне, прикрепляясь биссусом к различным субстратам, например к плавающим предметам, к металлическим поверхностям, деревянным сооружениям, к гидроидам, камням, водорослям и т. д.

В южной части Приморья появление молодых мидий на субстратах отмечается в июне при температуре воды 15–17°C. Личинки мидии предпочитают субстраты, длительное время пребывавшие в воде, имеющие шероховатую и разветвленную поверхность и обросшие бактериально-водорослевой пленкой, способствующей лучшему оседанию личинок.

С июня по август плотность личинок в планктоне и спата весьма изменчива, что объясняется их миграцией. Позже, в сентябре, когда температура воды понижается, личинки полностью исчезают из планктона. Интенсивный рост мидий начинается только после оседания. Первое кольцо роста закладывается при размере не менее 350 мкм, оно имеет голубой цвет, а личиночная раковина еще некоторое время сохраняет желтоватый оттенок. По мере роста мидий раковина полностью пигментируется. Оседание личинок мидий происходит в местах скопления родительских особей и, как правило, в верхнем трехметровом слое воды. С августа молодые моллюски начинают интенсивно расти. В сентябре размеры спата в среднем 10–15 мм, а его численность достигает де-

сятков тысяч экземпляров на коллектор. В этот период подросший спат имеет тенденцию перераспределяться на субстрате. При перемещении моллюски могут концентрироваться в каком-нибудь участке и образовывать большие друзы. Под тяжестью собственной массы они могут обрываться и падать на грунт. Это ведет к значительной потере посадочного материала (до 40% и более).

В Приморье рост мидии обыкновенной замедлен осенью и зимой, быстрый рост отмечается с апреля по июль при температуре воды от 3 до 18°C. Рост мидий зависит не только от температуры воды, но и от обеспеченности пищей. Ею являются детрит и микроводоросли, которыми богаты полузакрытые бухты. В этих районах темпы роста мидий выше, чем на открытых побережьях, где содержание пищи и температура воды ниже.

Размеры раковины зависят от сроков установки коллекторов. Так, на коллекторах, выставленных до начала оседания, молодь крупнее, чем на коллекторах, установленных в более поздние сроки. К весне следующего года (через 6 мес в мае) прирост у мидий составляет 25–30 мм, размер раковины 40–55 мм, а еще через год мидии достигают размера 50–65 мм (рис. 27). Наиболее интенсивно моллюски растут до двухлетнего возраста, далее с возрастом линейные темпы роста замедляются, увеличение массы тела происходит в основном за счет утолщения раковины (табл. 1). У мидий-годовиков и двухлетков раковины чистые и гладкие, а с возрастом створки становятся утолщенными с наростами и изъязвлениями. Поверхность таких раковин благоприятна для оседания обростателей: устриц, баланусов, полихет, асцидий.

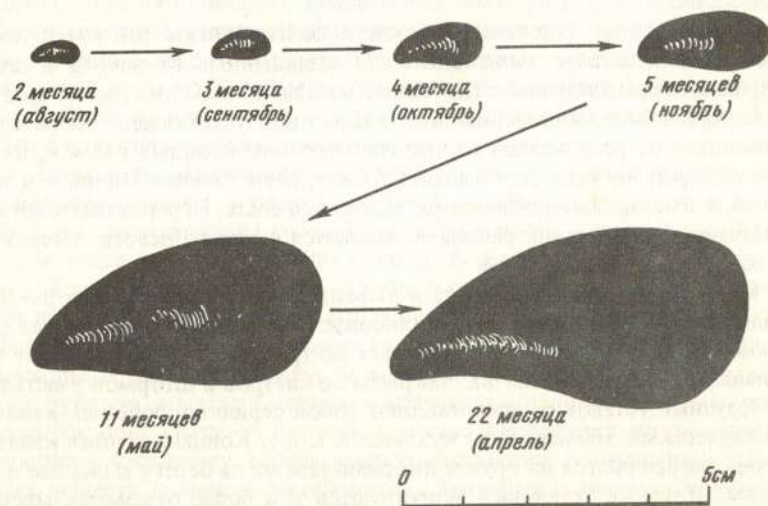


Рис. 27. Линейный рост культивируемой мидии

Размерная характеристика

Возрастная группа	Длина раковины, мм		
	минимальная	средняя	максимальная
Спат	10	21±5,0	30,0
Годовики	36	45±5,0	55,0
Двухлетки	40	56±5,0	60,0

**Биотехнология промышленного культивирования мидий.** За основу биотехнологии культивирования мидий съедобной в Приморье взят один из методов, используемых за рубежом. Как указывалось выше, в южном Приморье поселений мидии обыкновенной на естественных субстратах практически нет. В связи с этим гарантированное производство товарной продукции возможно лишь при наличии плантаций, расположенных в толще воды и стабильно производящих личинок и соответственно спат на коллекторах.

Производственный процесс выращивания мидий включает три основных этапа: сбор спата, его выращивание на коллекторах до товарного размера, сбор урожая. Весь период культивирования составляет около 2 лет.

Для создания мидиевых хозяйств благоприятны районы с достаточным количеством производителей, защищенные от ветров и штормов, полужакрытого типа с глубинами от 6 до 15 м. Определение пригодности предварительно выбранного района или участка для сбора спата проводится по результатам горизонтальных планктонных съемок, на основе которых выявляются массовые скопления личинок мидий — в этих местах и выставляют коллекторы для сбора спата. Перспективными для культивирования мидий районами являются заливы Посыета, Америка и Восток, а также Славянский.

**Сбор спата.** Для сбора спата и выращивания мидий в Приморье применяются плотовые и ярусные установки. Плоты могут быть разных размеров и конструкций и для них вовсе не требуются дорогостоящие материалы. Они применимы на закрытых от ветров и штормов участках.

Ярусные установки представляют собой серию капроновых канатов с плавучестями (бочки, буи, кухтыли и т. д.). Концы несущих канатов прочно закрепляются на грунте якорями или же на берегу к скалам и деревьям. Ярусные установки монтируются и в более открытых местах, в которых плотовые неприменимы.

В мировой практике для сбора и выращивания спата мидий исполь-

культивируемой мидии

Масса, г					
общая				мягких частей	
минимальная	средняя	максимальная	минимальная	средняя	максимальная
0,7	1,2	2,0	0,2	0,4	0,8
5,0	8,0	12,0	2,0	4,0	7,0
6,0	15,0	30,0	3,5	8,5	12,0

зуются разнообразные субстраты. Из них наиболее распространены капроновые, сизальские и пеньковые веревки и канаты с различного рода вставками. В морских хозяйствах Приморья применяют коллектор, который представляет собой капроновую веревку окружностью 10—25 мм и длиной 4 м с узлами или вставками длиной не более 10 см через каждые 5 см. Вставками могут служить пластинки пенопласта, кусочки резины, отрезки расплетенного каната и т. д. (дерево не применяется). Эти узлы и вставки увеличивают так называемую рабочую поверхность коллектора и затрудняют характерный для мидий процесс "сползания".

Коллекторы для сбора спата лучше всего выставлять в первой половине июня. Это необходимо для того, чтобы они обросли микроводорослевой и бактериальной пленками, мелкими макрофитами и гидроидами, способствующими более обильному оседанию личинок мидий. На коллекторы, установленные позже, например в июле или августе, личинок мидий оседает немного. Перед оседанием личинки концентрируются в слое воды от 0 до 4 м, их численность достигает десятков тысяч на 1 м<sup>3</sup>. В этом же слое они оседают, что указывает на необходимый горизонт выставления коллекторов.

Плотность размещения коллекторов на установках зависит от концентрации личинок в планктоне. Если их десятки тысяч на 1 м<sup>3</sup>, коллекторы устанавливают через 0,5 м, если меньше — через 0,3 м. Выращивание спата продолжается до ноября. В сентябре—октябре, когда спат мидий достигает в среднем 6—15 мм и плотности 6—10 тыс. экз. на коллектор, они заключаются в сетные рукава. Эти рукава применяются для защиты моллюсков от опадания на грунт и для саморазреживания. Коллекторы в рукавах должны размещаться свободно; использование узких рукавов и мягких сетчатых материалов недопустимо, так как при соприкосновении спата со стенками рукава образуются друзы, препятствующие свободному перераспределению мидии, поступлению питательных веществ и выносу метаболитов. Это ведет к значительному снижению темпов роста. Укладка коллекторов с моллюсками в сетные рукава проводится непосредственно на установках. Затем спат подготовли-

вают к зимнему содержанию: делается профилактический осмотр установок, и они притапливаются. Зимой проводится контроль за состоянием установок. В закрытых бухтах или участках, где не бывает подвижки льда, установки не притапливаются, а в открытых районах заглубляются на 1–2 м. Во всех случаях проводятся водолазный осмотр якорных креплений и проверка горизонта расположения коллекторов в воде. Коллекторы не должны касаться грунта, иначе к весне большая масса мидий может быть уничтожена донными хищниками.

Подъем установок проводят в конце апреля – мае. В это время при быстром подъеме температуры воды от 3 до 10°C моллюски интенсивно растут. После зимнего содержания установки ремонтируются. Обросшие за зиму сетные рукава заменяются новыми, а старые рукава с моллюсками оставляются для подращивания или же мидий снимают и сдают на корм.

**Сбор урожая.** Периоды сбора урожая: октябрь первого года, затем апрель–май через 10–11 и 22 мес. Под урожаем понимаются следующие виды продукции мидиевого хозяйства: спат как посадочный материал и спат как сырье для изготовления корма, товарная пищевая мидия в возрасте одного и двух лет. Спат, предназначенный для продажи, передается на коллекторах, а предназначенный для изготовления корма, снимается с них и упаковывается в ящики и затем отправляется на переработку. Коллекторы с товарной продукцией освобождают от сетных рукавов, моллюсков отделяют от субстрата и сортируют на стандартные и нестандартные размерные группы. Товарных мидий помещают в ящики слоем до 30 см и струей морской воды отмывают от ила. Нестандартных мидий размещают в сетные мешки для дальнейшего выращивания или же используют на корм.

Транспортировку спата проводят в октябре, а товарных мидий – в апреле–мае и октябре, при температуре воздуха 2–10°C не более 4 сут, при 10–15°C – не более 2 сут.

**Современное состояние и перспективы культивирования мидий.** В Приморье для организации морских хозяйств по выращиванию мидий наиболее подходит южная его часть, особенно залив Петра Великого. В этом районе имеются бухты и участки с небольшими глубинами, хорошо прогреваемые, где создаются нормальные условия для культивирования мидий.

В настоящее время выращивание мидий носит пока опытный характер. Тем не менее уже с 1979 г. в заливе Посыета на экспериментальной морской базе "Посыет" успешно получают мидиевую продукцию. Так, сбор спата мидий составил (в млн. экз.): 1980 г. – 1,2; 1981 г. – 13; 1983 г. – 30.

Выход товарной продукции с 1 га установки достигает 140 т (сырец); условный экономический эффект от реализации 1 млн. товарных мидий составляет 76,1 тыс. руб.

## КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ РАКООБРАЗНЫХ

Культивированию ракообразных, преимущественно креветок и в меньшей степени крабов, омаров, лангустов, уделяется большое внимание в ряде стран Азии, Европы, Америки. Так, культивирование креветок практикуется в Японии, Китае, Корее, Малайзии, Южном Вьетнаме, Таиланде, на Филиппинах, в Индии, Австралии, во Франции, в Италии, Швеции, США и других странах [42].

Спрос на креветок постоянно растет, но естественные запасы не могут удовлетворить потребности. В связи с переловом, загрязнением вод и другими причинами естественные запасы промысловых видов креветок сокращаются, а их уловы снижаются. Поэтому в последние годы быстро растут искусственное выращивание и разведение креветок на специальных фермах, продукция которых составляет в среднем 3 т/га [42].

Как известно из мировой практики искусственного разведения беспозвоночных, интенсивное культивирование ракообразных – самая сложная и дорогостоящая отрасль марикультуры. Так, даже в Японии, где интенсивный метод выращивания тепловодной креветки *Penaeus japonicus* разрабатывается более 40 лет, издержки выращивания очень высоки, приблизительно 7 руб. за 1 кг, причем 42% из них приходится на стоимость кормов [42]. Культивирование крабов и омаров требует также больших затрат. Тем не менее интерес к культивированию ракообразных во многих странах быстро растет, поскольку продукты из ракообразных являются деликатесом и ценятся очень высоко.

Весь зарубежный опыт культивирования креветок практически основан на разведении тепловодных видов из семейств Penaeidae и Palaemonidae, распространенных в пресных, солоноватых и морских водах субтропической и тропической зон; температурные условия обитания их лежат в пределах 22–30°C. Эти креветки обладают быстрым темпом роста и высокой плодовитостью.

В силу специфичности гидрологических условий залива Петра Великого объектом разведения был выбран промысловый вид – травяная креветка, или травяной чилим (*Pandalus kessleri* Czerniawski – *P. latigostrius* Rathbun). Данный вид обладает высокими вкусовыми качествами, обитает в прибрежной зоне, сравнительно эврибионтный, легко облавливается и, таким образом, является более доступным объектом для экспериментального содержания в искусственных условиях.

С 1980 г. были начаты исследования по разведению двух видов крабов в искусственных условиях: камчатского краба [*Paralithodes camtschatica* (Tilesius)] и синего краба (*P. platypus* Brandt).

**Значение и биология травяной креветки.** Травяная креветка (*Pandalus kessleri* Czerniawski) относится к типу членистоногих (Arthropoda), классу ракообразных (Crustacea), к отряду десятиногих раков (Decapoda), подотряду креветок (Natantia), семейству пандалид (Pandalidae), роду пандалиус (*Pandalus*).

Травяная креветка достигает общей длины тела 16–18 см и массы до 25 г. Она является южнобореальным видом и распространена в Японском море от Татарского пролива до Чемульпо и от залива Терпения до Токайского залива и Нагасаки и повсеместно является объектом промысла.

Она является характерной формой биоценоза морской травы зостеры, что выражается в защитной окраске: по бокам тела вдоль тянутся грязнозеленые или коричневатого цвета полосы, перемешивающиеся со светлыми, точно имитирующие фон зарослей травы. Все явления годичного и жизненного циклов креветки происходят в пределах поля морской травы. Соответственно вертикальному распределению морской травы эта креветка в массовом количестве населяет горизонт сублиторальной зоны от 0,5 до 10–12 м. При этом в зарослях зостеры травяная креветка является характерной формой, в зарослях филлоспадикса — лишь заходной формой. При исчезновении зарослей зостеры исчезает и креветка.

Осуществленные нами обловы полей зостеры показали, что в летнее время в любом месте поля креветка имеется в том или ином количестве. В зимнее время она не покидает зарослей, а концентрируется на глубине 4–9 м, зарывшись в корневища зостеры, проводит в малоподвижном состоянии весь холодный период времени.

Количество креветки зависит не только от величины и густоты зарослей травы, но и от благоприятного гидрохимического режима бухт и заливов. Так, в районах, значительно распресняемых во время ливневых дождей, или в районах с большим речным стоком травяная креветка отсутствует или встречается в единичных количествах, поскольку креветка не переносит понижения солености ниже 13‰, а размножение у нее не происходит при солености ниже 24‰, оптимальная соленость лежит в пределах 30–34‰ [29].

Местоположения зарослей зостеры остаются более или менее стабильными, так же как и приуроченность к ним скоплений травяной креветки. Можно с уверенностью считать, что в тех районах залива, где заросли морской травы не нарушены, запасы травяной креветки не снизились. Нами были осуществлены исследования и впервые составлена более или менее полная схема распределения 55 скоплений этой креветки во всем заливе Петра Великого с описанием характерных особенностей каждого скопления [51]. Нами были проведены исследования суточного ритма питания всех возрастных групп травяной креветки. Бы-

ло установлено, что в пищевых комках всех четырех возрастных групп креветок встречаются как растительные, так и животные организмы, а также детрит, небольшое количество ила и песок. Наблюдается заметное различие в соотношении компонентов потребляемой пищи в зависимости от возраста: у сеголетков растительная пища, включая растительный детрит, составляет 70%, животная — 30%, у годовиков и самцов растения и животные составляли по 50%, у самок в пище преобладают животные, составляя 70%, а растения — 30%.

У креветок всех возрастов в пищевом комке из животных чаще всего и в больших количествах встречаются мелкие моллюски (*Thapsiella plicosa*, *Epheria turrata*, *Alvenius ojanus*) и ракообразные (преимущественно особи своего же вида), т. е. проявляется каннибализм, особенно яркий у самцов и самок и несколько меньший у годовиков и сеголетков. Довольно охотно креветки потребляют капреллид, мизид, изопод и других ракообразных. Меньшие значения имеют фораминиферы, полихеты и рыбы.

Из растений креветками всех возрастных групп в основном поедаются листья и корешки зостеры и в меньшей степени — нитчатые и другие водоросли.

Средний общий индекс наполнения желудков травяной креветки на суточной станции оказался наиболее высоким у сеголетков (83,7‰) и годовиков (63,4‰), несколько ниже у самцов (54,1‰), у самок он был значительно ниже (21,1‰). Пустые желудки составили у сеголетков 29,7%, годовиков — 50,3, самцов — 63,1, самок — 57,6, всей популяции — в среднем 48,9%.

Креветки всех возрастных групп в течение суток питались неравномерно, и интенсивность питания в разные часы была различной. У сеголетков, питавшихся непрерывно в течение суток, в суточном ритме питания отмечено три подъема трофической активности: первый подъем начинается утром с 6.00 ч и достигает максимума в 12.00; второй подъем с еще более интенсивным питанием наблюдается с 16.00 и достигает максимума к вечеру в 20.00; третий подъем начинается ночью с 22.00 с максимумом в 2.00 ч. В суточном ритме питания годовиков наблюдается четыре подъема: первый — утром, с 6.00 до 10.00; второй — днем, с 14.00 до 16.00; третий — вечером, с 18.00 до 20.00; после непродолжительного прекращения питания наблюдается четвертый подъем ночью, с 2.00 до 4.00 ч. У самцов в суточном ритме питания три подъема: утренний, самый высокий, с 6.00 до 8.00; дневной, значительно ниже, с 12.00 до 14.00; после перерыва в питании происходит ночной подъем с 2.00 до 4.00 ч. У самок в суточном ритме питания отмечается два подъема: утренний, самый большой, с 6.00 до 10.00 и второй, небольшой, начинается вечером с 16.00 и достигает максимума ночью в 24.00 ч.

Суточный рацион сеголетков оказался равным 5,7% от массы тела креветки; для годовиков, самцов и самок — соответственно 6,9, 3,2 и 1,4%.

Известно, что травяная креветка является протерандрическим гермафродитом со сменой пола [27]. Причем все молодые креветки на втором году жизни становятся половозрелыми самцами, позже — на третьем году жизни происходит смена пола и креветки становятся самками. Развивающаяся половая железа содержит сперматогонии и оогонии, но сначала созревают спермии, и особь функционирует как самец; затем гонада прекращает вырабатывать спермии, семяпроводы и вторичные половые признаки деградируют, начинают развиваться из оогонии зрелые яйцеклетки, формируются яйцеводы, и креветки становятся самками. Самки спариваются с самцами, которые прикрепляют сперматофоры к основанию задних ножек самки, после чего наступает нерест. Яйца проходят мимо сперматофоров, оплодотворяются и прикрепляются к брюшным ножкам самки. В заливе Петра Великого массовое спаривание и нерест начинаются с середины августа при температуре воды 20–22°C, и к середине сентября процесс откладки икры заканчивается. В отложенной икре происходит эмбриональное развитие, которое приостанавливается, когда температура воды снижается до 7°C. Возобновляется эмбриональное развитие весной, с конца апреля, когда температура воды достигает 7°C, и продолжается до конца мая — первой половины июня. В это время происходит вылупление личинок при температуре 13–14°C. Таким образом, отложенную икру самки носят в течение 9 мес.

По нашим данным, средняя плодовитость травяной креветки равна 247 икринок. У самки с икрой на брюшных ножках, добытой у берегов о-ва Хоккайдо в конце инкубационного периода и помещенной в аквариум, наблюдалось при выклеве 236 личинок [114].

Однако для управления размножением и освоения методов получения потомства в искусственных условиях нам пришлось выполнить дополнительные исследования и уточнить некоторые этапы этого процесса, а также выяснить, терется ли икра, отложенная самками на брюшные ножки, за период ее продолжительного вынашивания. По уточненным нами данным, индивидуальная плодовитость самок в каждой размерной группе колеблется в значительных пределах — от 143 до 467 со средним значением 268 икринок. Обычно самки меньшего размера откладывают меньшее количество икринок, более крупные — большее. Самки нерестятся один раз в году. Минимальный размер (промысловая длина — от заднего края глазной выемки до конца тельсона) икрающих самок травяной креветки в проливе Старка — 85 мм, максимальный — 124 мм. Масса одной кладки составляет в среднем 8% от сырой массы тела самки. Икра овальной формы, отличается сравнительно крупными размерами. Только что отложенные самками икринки в конце августа — начале сентября имеют размер по большому диаметру от 1,7 до 2,0 мм (в среднем 1,9 мм) и массу от 2,8 до 3,9 мг (в среднем 3,1 мг). По мере эмбрионального развития, икринки увеличиваются и к моменту выклева личинок диаметр икринок достигает 2,4–3,4 мм (в среднем — 2,8 мм) и масса 3,5–6,0 мг (в среднем — 5,1 мг).

В течение девятимесячного периода вынашивания икры терется сравнительно незначительное количество икринок (4,2–8,1%).

У травяной креветки, как и у всех представителей семейства *Pandalidae*, пелагическая фаза жизненного цикла проходит в период эмбрионеза, поэтому вылупившиеся из икры личинки имеют высокий уровень морфологической организации и в общем похожи на маленьких креветок [114].

Личиночное развитие травяной креветки характеризуется наличием четырех стадий. Ниже приведены наиболее характерные особенности личиночных стадий (рис. 28).

Первая личиночная стадия. Только что выклюнувшие

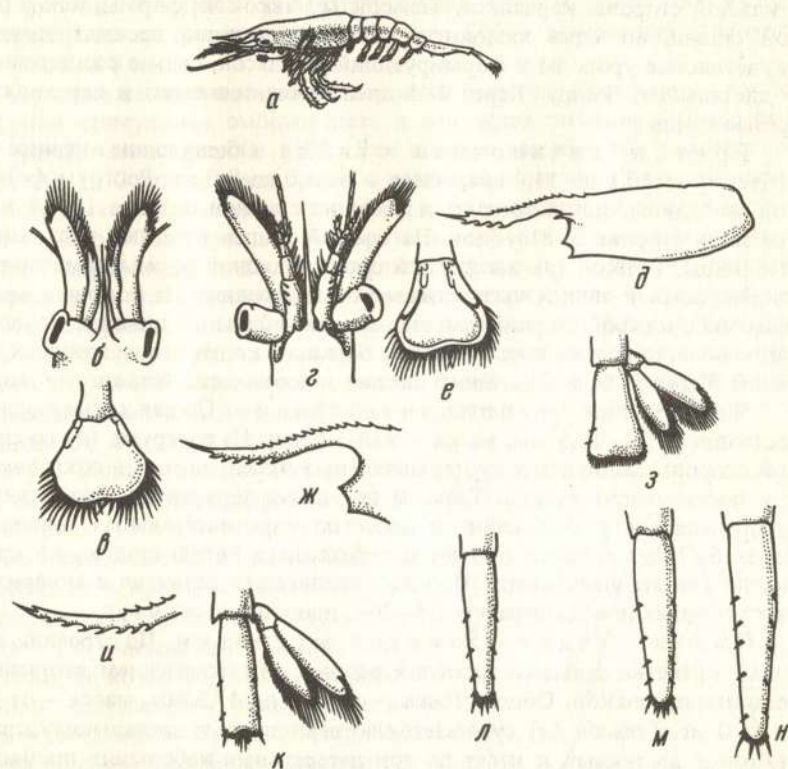


Рис. 28. Личиночные стадии травяной креветки:

а — общий вид личинки (1-я стадия); б — глаза, сросшиеся с карапаксом; в — тельсон; г — глаза, отделенные от карапакса (2-я стадия); д — роострум и надглазничный тип на карапаксе; е — тельсон; ж — роострум (3-я стадия); з — тельсон и свободные уроподы; и — роострум (4-я стадия); к — тельсон с уроподами; л — тельсон (5-я стадия); м — тельсон (6-я стадия); н — тельсон (7-я стадия)

ся личинки (а) имеют общую длину 8,9–9,5 мм и массу 4,2–5,0 мг. Рострум тонкий, без зубцов, слегка изогнутый книзу в средней части, составляет примерно  $\frac{2}{3}$  длины карапакса. Глаза сросшиеся с карапаксом (б). Тельсон (в) сердцевидной формы, на дистальном крае в центре имеет выемку. Через хитиновый панцирь тельсона просматриваются зачаточные одноветвистые уropоды. Через 4–5 сут после выплывания личинки линяют и переходят во вторую стадию.

Вторая личиночная стадия. Общая длина личинок составляет 9,5–10,9 мм, масса — 4,3–5,3 мг. Глаза отделены от карапакса и сидят на стебельках (з). Рострум почти такой же длины, как и карапакс, и несет 13–17 зубцов на спинной стороне и 5–6 зубцов на брюшной (д). На этой стадии появляется по одному надглазничному шипу с каждой стороны карапакса. Тельсон (е) такой же формы, как у первой стадии, но через хитиновую оболочку хорошо просматриваются двуветвистые уropоды и формирующийся тельсон, сильно расширенный к дистальному концу. Через 4–5 дней личинки линяют и переходят в третью стадию.

Третья личиночная стадия. Общая длина личинок колеблется от 10,1 до 11,9 мм, масса — от 5,0 до 8,0 мг. Рострум (ж) такой же длины, как карапакс, и несет на спинной стороне 15–18 и на брюшной стороне 6–8 зубцов. На третьей стадии исчезают надглазничные шипы. Тельсон (з) вытянутый трапециевидной формы, заметно расширяющийся к задней части с выемкой посередине. На боковых краях тельсона с каждой стороны имеется по два небольших шипика. Уropоды свободные, двуветвистые, снабжены большим количеством длинных щетинок. Через 5–6 дней личинки линяют и переходят в четвертую стадию.

Четвертая личиночная стадия. Общая длина личинок составляет 12,1–16,5 мм, масса — 7,0–12,5 мг. На роструме (и) со спинной стороны появляется субтерминальный зубец, который сохраняется и у последующих стадий. Тельсон (к) почти четырехугольный, слегка суживающийся у основания и несет по паре латеральных шипиков. Через 6–7 сут личинки линяют и переходят в пятую стадию, которую можно считать ювенильной. Процесс личиночного развития в аквариальных условиях при температуре 14–20°C продолжается 24 сут.

Пятая стадия развития креветки. По строению молодая креветка схожа со взрослой особью, за исключением вторичных половых признаков. Общая длина — от 12,5 до 17,5 мм, масса — от 8,0 до 15,0 мг. Тельсон (л) суживается по всей длине к дистальному краю, на конце выпуклый и несет по три латеральных небольших шипика с каждой стороны.

Шестая стадия. По прошествии 6–8 дней креветки линяют и переходят в эту стадию. Общая длина колеблется от 15,0 до 18,7 мм, масса — от 12,0 до 20,0 мг. Тельсон (м) такой же формы, как на пятой стадии, но с каждой стороны имеется по четыре латеральных шипика.

Седьмая стадия — ювенильная. Через 7–8 дней кре-

ветки линяют и переходят в эту стадию, которая отличается от шестой стадии наличием пяти латеральных шипиков с каждой стороны тельсона (н). У взрослых особей (самцов и самок) также имеется по пять латеральных шипиков на тельсоне.

**Стимуляция нереста и получение личинок.** Как известно, температура окружающей среды является фактором, наиболее эффективно влияющим на скорость биологических процессов водных организмов, и в частности повышение температуры воды в определенных пределах ускоряет эмбриональное развитие ракообразных. На основании годовичного хода температуры воды в проливе Старка (рис. 29) нами была подсчитана сумма тепла, необходимая в естественных условиях для полного развития травяной креветки с момента оплодотворения до выплывания личинок, составившая около 1500 градусо-дней, причем около 1000 из них набирается до наступления зимы и около 500 — в оставшийся период, т. е. почти за 6 мес.

С учетом выявленной закономерности был разработан метод температурной стимуляции эмбриогенеза и получения личинок в более ранние сроки, чем в природе [19]. Для этого в октябре при температуре воды 10–15°C отлавливали самок с развивающимися на брюшных ножках икринками и помещали их в аквариумы-инкубаторы вместимостью 60 л по 10 особей в каждый. Аквариумы-инкубаторы имели замкнутую систему циркуляции воды, соединялись сифонами с песчано-гравийным биофильтром для очистки воды. Аэрация и циркуляция воды обеспечивались эрлифтами. В каждом аквариуме верхняя часть его, где размещались самки, не отделенные друг от друга какими-либо перегородками, была отгорожена капроновой делью с ячей 10 мм от нижней части, предназначенной для выплывающихся личинок, для предохранения последних от выедания самками. Температура воды в аквариумах в течение инкубирования поддерживалась в пределах 9–15°C. Соленость в аквариумах существенно не изменялась и колебалась в пределах 32–33‰. Содержание кислорода не опускалось ниже 95% насыщения. Самок, как правило, не кормили, чтобы не происходило загрязнение воды фекалиями и остатками корма, поскольку самки хорошо переносят длительное голодание (3–4 мес). Инкубирование продолжалось около 2 мес. Эмбрионы нормально развивались, и выклев первых личинок начинался в третьей декаде декабря. Выплывание личинок из икры у каждой самки

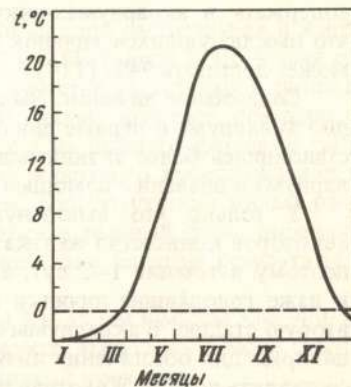


Рис. 29. Годовой ход температуры воды в проливе Старка

продолжалось 4–5 сут, преимущественно в ночное время — с 22 до 6 ч и наиболее интенсивно с 2 до 4 ч, а днем практически не происходило. Так как выклев личинок у разных самок происходил неодновременно, то этот процесс растягивался до 1–1,5 мес, причем массовый выклев продолжался с конца декабря до середины января.

В результате температурного стимулирования эмбриогенеза в регулируемых условиях среды массовый выклев личинок во всех сериях опытов происходил на 5 мес раньше, чем в природе. После вылупления личинок лишь у немногих самок оставалось по несколько икринок на брюшных ножках. При рассмотрении под бинокляром было видно, что эти икринки заполнены однородным желтком и, по-видимому, не были оплодотворены. Выклев личинок в аквариальных условиях достигает 95% общего количества отложенных самкой икринок. В результате инкубирования в каждом аквариуме, разделенном делью, было получено по 2000 личинок. В то же время в аквариуме, где самки не были отделены делью и имели доступ к выклюнувшимся личинкам, наблюдалось ярко выраженное явление каннибализма — личинки по мере вылупления поедались самками.

Кроме этого, получали личинок в обычные в природных условиях сроки, для чего икраяных самок отлавливали в конце мая — начале июня перед выклевом, и в аквариумах-инкубаторах вскоре происходил выклев личинок.

При сопоставлении личинок, выклюнувшихся в аквариумах с помощью термостимуляции эмбриогенеза в конце декабря—январе, с личинками соответствующих стадий, появившихся в природных условиях в начале июня, морфологических отличий между ними замечено не было. После выклева личинок самок креветки из аквариумов удаляют. На первых этапах развития личинок (по четвертую стадию) целесообразно содержать в аквариумах-инкубаторах, так как при пересадке только что выклюнувшихся личинок из-за механических повреждений гибель их может достигать 94% [114].

**Содержание личинок.** Вылупляющиеся личинки сразу опускаются на дно аквариума и первые дни они малоподвижны. По мере роста личинки становились более активными, чаще отрывались от дна или стенок аквариума и плавали с помощью плеопод.

У только что выклюнувшихся личинок в желудках находится некоторое количество желтка в виде желтых шариков разного размера, поэтому в течение 1–2 сут, а иногда и 3–4 сут личинки корм не брали и даже голодавшие личинки из первой стадии успешно переходили во вторую стадию. В аквариумы с личинками помещали зостеру, ульву, грацилярию для обеспечения личинок растительной пищей, которая должна составлять до 70%. Животная пища составляет 30% рациона.

Попытка кормления наших личинок живыми науплиусами артемий, которые считаются лучшим кормом для личинок декапод, показала, что сначала личинки их не брали и, лишь когда науплиусов умертвляли и

подвигали к личинкам, последние начинали их есть. По-видимому, это происходит потому, что живые науплиусы артемий быстро передвигаются, а личинки креветки на первых стадиях малоподвижны и не приспособлены схватывать движущиеся объекты. Более охотно личинки травяной креветки поедали маленькие кусочки мяса различных рыб, моллюсков (в том числе гребешков, мидий, кальмаров) и ракообразных. Когда кусочки такого корма помещали на некотором расстоянии от личинок, они сравнительно быстро его находили и начинали есть. Преимущественно в ночное время личинки потребляли растения, а также детрит, скапливающийся на дне аквариумов, обрастания на стенках аквариумов и на растениях. Обычно утром детрит и растительная пища, заполнявшие желудки личинок, просматривались через прозрачные покровы в виде темно-бурой и зеленоватой массы. В ночное время личинки питались в два раза интенсивнее, чем днем. Несмотря на обеспеченность кормом, наблюдались случаи каннибализма, когда на полинявшую личинку набрасывались еще не линявшие личинки и выедали у нее мускулатуру брюшка и глаза. За полсуток до линьки и в течение следующего дня после нее личинки не питались и совершенно не реагировали на предлагаемый корм. В большинстве случаев линька происходила ночью и значительно реже днем. Темп роста отдельных личинок неодинаков, поэтому встречаются личинки одного размера и массы, находящиеся на разных стадиях развития.

**Подращивание молоди.** После перехода личинок в ювенильную стадию их следует пересадить в выростные аквариумы и подращивать около 4 мес.

При подращивании молоди в аквариумах, имеющих замкнутую систему циркуляции воды, поддерживали температуру 12–19°C, содержание кислорода было высоким — 99–106% насыщения, соленость — 33–34,6‰.

Как и при содержании личинок, для молоди растительная и животная пища составляет соответственно 70 и 30%. Рацион в это время составляет 6% от массы тела креветки. В качестве растительной пищи использовали живую зостеру, грацилярию, ульву, которые помещали на дно аквариумов. Животная пища состояла из рыбного фарша, а также мяса моллюсков и ракообразных. Корм животного происхождения задавали 2 раза в сутки, утром и вечером. При отсутствии живых растений при подращивании молоди креветки в рыбный фарш добавляли до 40% муки зостеры и получали сравнительно близкие результаты по линейному и весовому приросту.

Через 4 мес молодь достигает длины 30–35 мм и массы 350–450 мг, становится вполне жизнестойкой и ее можно выпускать в море с целью пополнения естественных популяций травяной креветки.

Используя результаты приведенных исследований, нами совместно с лабораторией культивирования лососевых рыб была сделана попытка выращивания травяной креветки в поликультуре с молодькой кеты.

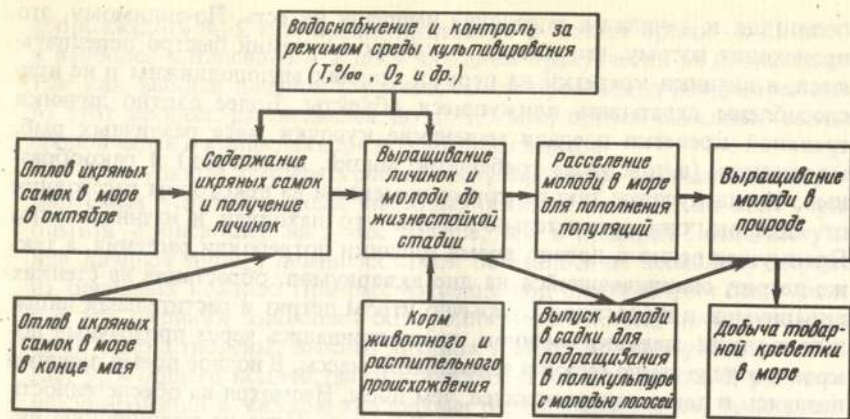


Рис. 30. Схема культивирования травяной креветки

Для этого были начаты эксперименты по совместному подращиванию молоди кеты с травяной креветкой в садках из дели. Креветки успешно поедали остающийся от кормления лососей корм и, кроме того, хорошо объедали образующиеся на дели садков обрастания из водорослей и других организмов-обрастателей. Очищая дель садков от обрастателей, креветки способствовали хорошему водообмену в садках.

Весь процесс культивирования травяной креветки с выращиванием жизнестойкой молоди для пополнения естественных популяций и с подращиванием жизнестойкой молоди травяной креветки в садках в поликультуре с молодью лососей можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 30.

### КАМЧАТСКИЙ КРАБ

**Значение и биология краба.** Камчатский краб [*Paralithodes camtschatica* (Tilesius)], как и синий краб (*P. platypus* Brandt), относится к типу членистоногих — Arthropoda, классу ракообразных — Crustacea, отряду десятиногих раков — Decapoda, подотряду мягкохвостых раков — Anomura, семейству крабидов — Lithodidae, роду — Paralithodes. По зоогеографической принадлежности камчатский краб является тихоокеанско-бореальным видом. Распространен в северных районах дальневосточных морей, где занимает большие выровненные участки шельфа. В особо массовом количестве он ловится у берегов Камчатки, а также в других районах Охотского и Берингова морей, в том числе у берегов Аляски, Сахалина, в северной части Японского моря, включая залив Петра Великого, и у берегов о-ва Хоккайдо [17].

Камчатский краб — раздельнополое животное. Наиболее крупные экземпляры достигают по ширине панциря 25 см, в размахе ног — 1,5 м и массы до 7 кг. Самки мельче самцов, достигают 17 см и массы 3,5–4 кг.

Тело краба, состоящее из головогруды пятиугольной формы, брюшка, подогнутого под головогрудь, и конечностей, покрыто хитиновым панцирем с многочисленными острыми шипами защитного назначения. Хитиновый покров сбрасывается во время линьки, что сопровождается ростом животного. Особенно часто линяют личинки и мальки: в первый год жизни — 11–13 раз, во второй год — 6–7 раз, с третьего по девятый год — 2 раза, взрослые — 1 раз в год, с 12–13-летнего возраста — 1 раз в два года [25]. Максимальный возраст краба около 20 лет. Половозрелыми самцы становятся на 10-м году жизни, достигая по ширине панциря 10–12 см, самки — на 8-м году, достигая по ширине 8–9 см. Самки откладывают от 20 до 300 тыс. икринок, которые после оплодотворения прикрепляются к волоскам брюшных ножек и вынашиваются самками почти 11,5 мес в заливе Петра Великого с конца апреля до начала апреля следующего года [18].

Камчатский краб ведет придонный образ жизни, передвигается по дну вперед и боком с помощью четырех пар ходильных ног, хищник питается донными животными: моллюсками, ракообразными, морскими звездами и ежами, полихетами, асцидиями и др. [25, 39, 40, 78]. Пищу захватывает в живом или свежем виде, в желудке пища остается до 12 ч [45].

В биологии камчатского краба существенное значение имеют массовые перемещения — миграции. Скорость движения достигает 1 мили в час, но обычно краб передвигается зигзагами, и средняя скорость косяка 1–2 мили в сутки. В заливе Петра Великого места зимовки краба располагаются довольно далеко от берега, на континентальном склоне на глубинах от 110 до 270 м, в зоне зимних положительных температур (1,5–2,0°C). Весной, с середины марта, когда заливы моря очищаются ото льда, краб мощными косяками (самки отдельно от самцов) движется к берегу. Самки в это время имеют два рода икры: наружную на брюшных ножках с готовыми личинками и внутреннюю, находящуюся в яичниках и неоплодотворенную. На пути краба к берегу на глубинах 20–75 м при температуре от 1,2 до 0,4°C у самок из наружной икры происходит массовое вылупление личинок. После выклева личинок косяки самок и самцов встречаются в прибрежных водах (15–75 м и даже меньших) при температуре 2–4°C и наступает спаривание. Спустя несколько часов или даже дней после спаривания самка выпускает под брюшко внутреннюю икру, которая, проходя мимо сперматофора, оплодотворяется и прикрепляется к волоскам брюшных ножек [122]. К концу апреля у многих самок уже отложена новая икра. Самки и самцы остаются у берегов в течение всего лета, активно передвигаются в поисках пищи, но самки держатся ближе к берегу при температуре

до 18°C, а самцы — несколько глубже в пределах 7–11°C в водах с нормальной соленостью 30–35‰. Осенью, в конце ноября, с падением температуры до 0,5°C краб начинает уходить на зимовку.

Эмбриональное развитие камчатского краба продолжается в течение лета и осенью, развитие почти зрелого зародыша задерживается на всю зиму (рис. 31). Весной, недели за две до вылупления, зародыш снова начинает быстро развиваться. Во время вылупления скорлупки икринок лопаются и распадаются на две створки, и личинки выклеиваются на стадии презоеа. Тотчас после вылупления презоеа линяют и переходят в стадию зоа I. Развитие зоа I, линяющих затем в зоа II, которые линяют в зоа III и эти линяют в зоа IV, происходит в течение около двух месяцев. У личинок на стадиях зоа длинное членистое брюшко и продолговатый гладкий панцирь головогруды с тремя шипами, один из которых направлен вперед, между глазами и два — в задних углах панциря (см. рис. 31, а).

Ног у зоа еще нет, в качестве органов плавания функционирует часть челюстей, а именно три пары ногочелюстей. Размер зоа в зависимости от возраста бывает от 4 до 7 мм. Зоа ведут плавучий планктонный образ жизни в придонных слоях воды, периодически поднимаясь к поверхности моря, и переносятся течениями на десятки миль. Задерживаются зоа в застойных местах, где течения более спокойные или где течения образуют круговорот. Зоа гибнут, если оседают на дно. В конце второго или начале третьего месяца зоа IV линяют в следующую личиночную стадию — глаукотоз, оседающую на дно, у которой уже имеется 8 ходильных ног, панцирь становится крабообразным и брюшко несколько сокращается (см. рис. 31, б). Глаукотоз ведет придонный образ жизни, ползая по зарослям анфельции, кустам гидрондов и обрывкам морских трав. Смертность личинок в природе с момента вылупления из икринки до оседания на дно достигает 96,5% [122]. Глаукотоз через 20 дней после оседания линяет и превращается в малька, внешне сходного со взрослыми крабами (рис. 31, в). Размер малька-сеголетки по ширине панциря составляет 2 мм. Малек растет, линяя несколько раз в течение летних месяцев. Мальки в первые три года ведут образ жизни, подобный глаукотозу, а затем переходят на песок. Молодь в возрасте 6–7 лет достигает величины 7 см и мигрирует, подобно взрослому крабу, но отдельными от него косяками.

Кроме камчатского краба, в заливе Петра Великого обитает второй, близкий к нему крабид, промысловый синий краб. Синий краб — субарктическо-бореальный вид. Он очень близок к камчатскому крабу как по строению, так и по основным чертам биологии. Размеры синего краба и качество его мяса одинаковы с размером и мясом камчатского краба. В заливе Петра Великого синий краб часто встречается в уловах вместе с камчатским крабом, но в значительно меньших количествах.

Содержание производителей краба. Для выяснения возможности культивирования камчатского и синего крабов в заливе Петра Великого

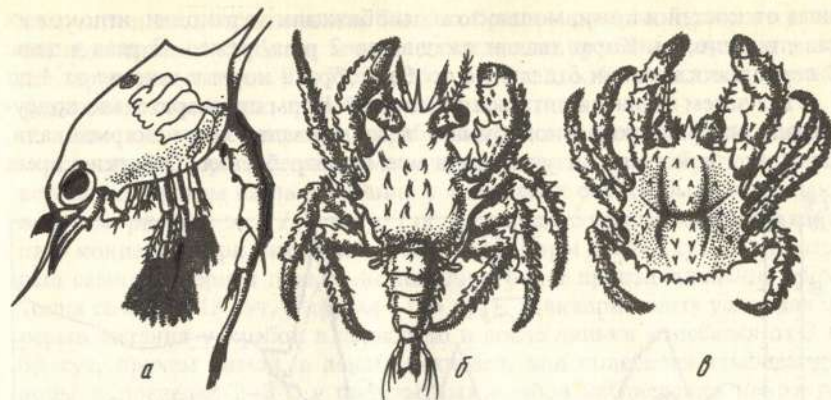


Рис. 31. Развитие камчатского краба:

а — пелагическая личинка; б — донная личинка; в — малек

мы осуществили содержание икранных самок этих видов и получение массового количества личинок в искусственных условиях.

Для получения личинок в обычных в природе сроки самок с вынашиваемой икрой отлавливали весной, в конце марта — начале апреля. Для получения личинок в более ранние сроки с использованием температурной стимуляции эмбриогенеза самок отлавливали осенью, в конце октября.

Подопытных крабов (10 самок и 1 самец камчатского краба, 1 самка синего краба) содержали в аквариумах длительное время для определения кормовых потребностей в течение года.

Самки камчатского и синего крабов содержались в проточных стеклопластиковых аквариумах-инкубаторах вместимостью 1,5 м<sup>3</sup>, высота воды в которых была равна 50 см. В аквариуме-инкубаторе содержалось по 2–3 самки. В зависимости от сезона температура воды в аквариумах колебалась от 1,8°C зимой до 22°C летом. Содержание кислорода в воде обычно поддерживалось в пределах 70–100% насыщения, но иногда, во время прекращения подачи морской воды, снижалось до 50%. Соленость воды в аквариумах колебалась в течение года в пределах примерно 32–34‰.

Содержавшихся в аквариумах особей камчатского и синего крабов кормили в основном мясом рыб (камбала, корюшка, навага, сельдь, минтай, терпуг) и моллюсков (мидии, литторина, головоногие). В период перед линькой и после нее крабы весьма охотно поедали таких иглокожих, как морские звезды (*Asterias amurensis*, *Patiria pectinifera*, *Distolasterias nippon*) и морские ежи (*Strongylocentrotus intermedius* и *S.nudus*). Изредка крабам давали мясо креветок (*Pandalus kessleri*, *Sclerocrangon salebrosa*), которых они съедали охотно. Мясо рыб отде-

ляли от костей и кожи, моллюсков освобождали от раковин, иглокожих давали целиком. Корм давали ежедневно 2 раза, реже — 3 раза в день. В период акклимации отдельные особи не брали корм в течение от 1 до 5 сут, а затем начинали питаться ежедневно. Корм предварительно подсушивали на фильтровальной бумаге и взвешивали, затем скармливали, давая его в клешни, и учитывали время потребления. Остатки корма

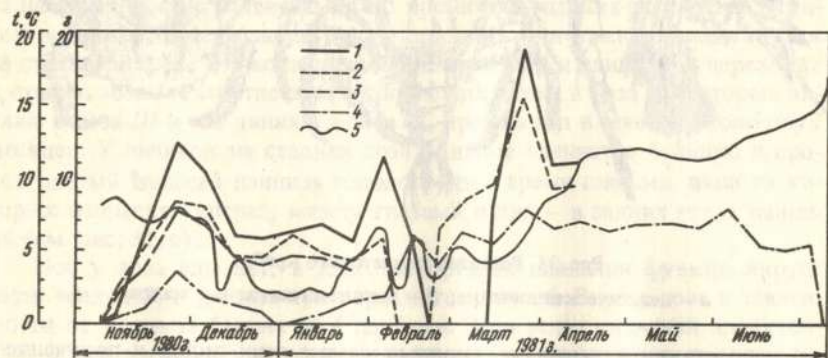


Рис. 32. Кормовые рационы камчатского краба:

1 — самка № 1; 2 — самка № 2; 3 — самка № 3; 4 — самец № 4; 5 — ход температуры воды в аквариумах

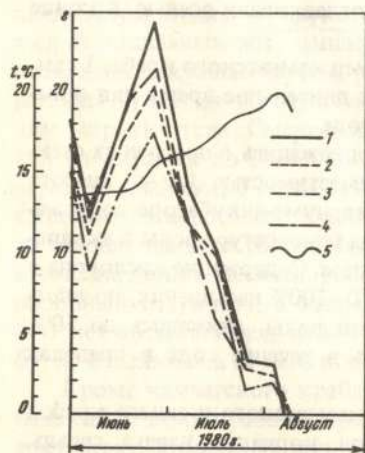


Рис. 33. Кормовые рационы самок камчатского краба:

1, — самка № 5; 2 — самка № 6; 3 — самка № 7; 4 — самка № 8; 5 — ход температуры воды в аквариумах

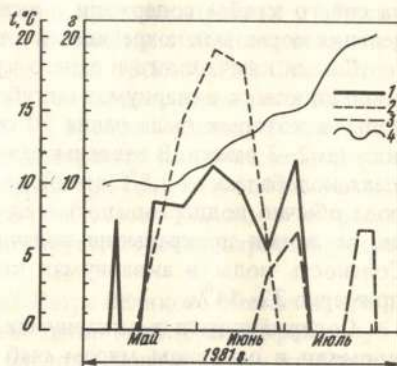


Рис. 34. Кормовые рационы самок камчатского краба:

1 — самка № 9; 2 — самка № 10; 3 — самка № 11; 4 — ход температуры воды в аквариумах

изымали и снова взвешивали. Таким образом изучали кормовые рационы подопытных крабов в течение длительного времени. Результаты опытов приведены на рис. 32, 33, 34, 35 и в табл. 2, 3, 4, 5, где даны суточные рационы и количество потребленной пищи.

Как видно из рисунков, крабы питались в течение всего года, за исключением периода линьки, когда они отказывались брать корм совершенно, причем пауза в питании у различных особей была неодинаковой (см. рис. 32, экз. 1, 2 и 4). Так, у молодого самца линька произошла в конце декабря, после чего он не брал корм всего 3 сут; половозрелые самки в период линьки не питались более продолжительное время (одна самка — 13 сут, а другая — 23 сут). В аквариальных условиях перерыв питания у крабов в период до и после линьки колебался от 3 до 69 сут, причем зимой, в декабре—январе, при колебании температуры воды в пределах 2–3°C у подопытных крабов наблюдалось некоторое снижение интенсивности питания [45].

Летом, когда температура воды в аквариумах поднялась выше 19,5–20°C, крабы прекратили брать корм и все половозрелые самки погибли (см. рис. 33). Однако молодая неполовозрелая самка при температуре 20°C также прекратила питаться, но не погибла (см. рис. 34, экз. 11).

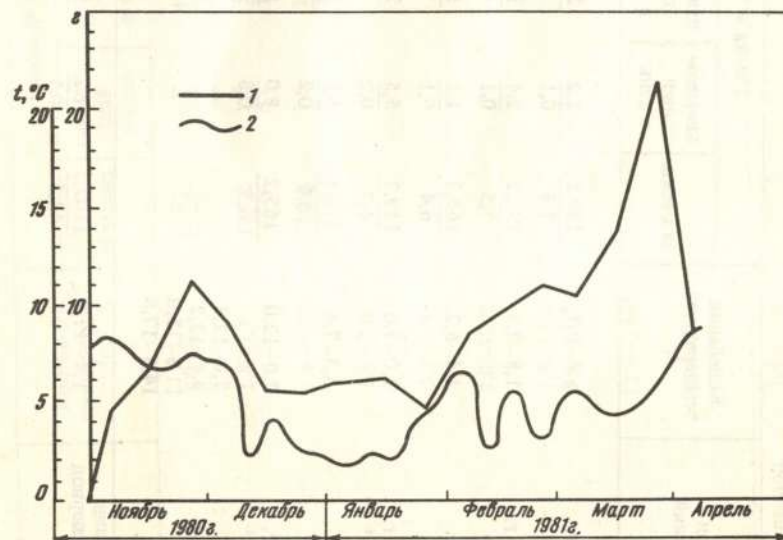


Рис. 35. Кормовые рационы синего краба:

1 — самка; 2 — ход температуры воды в аквариумах

Суточный рацион камчатского краба с ноября 1980 г. по июль 1981 г.

Период наблюдений	Колебания температуры, °С	Самка № 1			Самка № 2					
		за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день	за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день	
Ноябрь 1980 г.	6,4-9,7	199,1 7,8	1,2 0,1	25,0 1,0	6,6 0,3	167,9 14,2	0,2 0,1	15,0 1,3	5,6 0,5	
Декабрь 1980 г.	1,8-7,7	192,2 7,5	2,4 0,1	14,1 0,6	6,2 0,2	149,5 12,7	1,1 0,1	12,3 1,0	4,8 0,4	
Январь 1981 г.	1,4-6,2	163,3 6,4	1,5 0,1	13,5 0,5	5,2 0,2	123,5 10,5	1,5 0,1	8,1 0,7	3,9 0,3	
Февраль 1981 г.	3,0-7,0	119,7 4,7	5,5 0,2	22,6 0,9	4,2 0,2	81,5 6,9	4,2 0,4	11,0 0,9	2,9 0,2	
Март 1981 г.	3,3-7,4	270,1 10,6	5,1 0,2	50,0 2,3	8,7 0,3	346,5 29,4	3,7 0,3	43,0 3,6	11,1 0,9	
Апрель 1981 г.	7,0-12,0	165,2 6,5	8,0 0,3	15,1 0,6	10,3 0,4	142,1 12,0	6,9 0,6	12,0 1,0	8,8 0,8	
До 16.04.81 г. Май 1981 г. Июнь 1981 г. Июль 1981 г.	7,0-12,4 9,4-12,2 11,6-15,0 14,4-17,8	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -
Итого за весь период	1,4-17,8	1109,3 43,3	1,2 0,1	60,0 2,3	6,0 0,3	1011,1 85,7	0,2 0,1	43,0 3,6	6,8 0,5	

Продолжение табл. 2

Период наблюдений	Колебания температуры, °С	Самка № 3			Самка № 4				
		за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день	за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день
Ноябрь 1980 г.	6,4-9,7	142,0 12,6	0,1 0,1	15,0 1,3	4,7 0,4	52,9 16,5	0,3 0,1	8,3 2,6	1,8 0,6
Декабрь 1980 г.	1,8-7,7	135,2 11,9	1,6 0,1	9,6 0,9	4,4 0,4	34,4 10,8	0,6 0,3	6,0 1,9	1,1 0,3
Январь 1981 г.	1,4-6,2	112,8 9,9	1,5 0,1	10,7 0,9	3,6 0,3	22,4 5,3	0,5 0,1	3,6 0,9	0,7 0,2
Февраль 1981 г.	3,0-7,0	-	-	-	-	98,8 23,5	2,0 0,5	8,0 1,9	3,5 0,8
Март 1981 г.	3,3-7,4	-	-	-	-	119,6 47,5	3,5 0,8	20,0 4,8	6,4 1,5
Апрель 1981 г.	7,0-12,0	-	-	-	-	174,7 41,6	4,2 1,0	9,1 2,2	5,8 1,4
До 16.04.81 г. Май 1981 г.	7,0-12,4 9,4-12,2	- -	- -	- -	- -	214,5 51,5	5,0 1,2	11,3 2,7	6,9 1,6
Июнь 1981 г.	11,6-15,0	-	-	-	-	187,5 44,7	2,0 0,5	12,1 2,9	6,7 1,6
Июль 1981 г.	14,4-17,8	-	-	-	-	44,8 10,7	3,9 0,9	7,5 1,8	5,6 1,6
Итого за весь период	1,4-17,8	391,4 34,6	0,1 0,1	15,0 1,3	4,2 0,4	1029,9 245,2	0,3 0,1	20,0 4,8	5,5 1,9

Примечание. В числителе - количество погребленной пищи в г, в знаменателе - количество погребленной пищи в % к массе тела.

Суточный рацион самок камчатского краба в июне-августе 1980 г.

Период наблюдений	Колебания температуры, °С	Самка № 5			Самка № 6				
		за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день	за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день
Июнь 1980 г.	13,3-16,4	$\frac{471,0}{25,4}$	$\frac{7,3}{6,4}$	$\frac{40,3}{2,2}$	$\frac{18,8}{1,0}$	$\frac{413,5}{28,3}$	$\frac{6,6}{0,5}$	$\frac{31,9}{2,2}$	$\frac{16,5}{1,1}$
Июль 1980 г.	16,1-20,2	$\frac{280,1}{15,1}$	$\frac{3,2}{0,2}$	$\frac{21,4}{1,2}$	$\frac{10,3}{0,6}$	$\frac{251,6}{17,2}$	$\frac{2,3}{0,2}$	$\frac{19,7}{1,3}$	$\frac{9,3}{0,6}$
Август 1980 г.	17,6-20,6	$\frac{16,2}{0,9}$	$\frac{1,4}{0,1}$	$\frac{6,6}{0,4}$	$\frac{40,3}{0,2}$	$\frac{15,4}{1,1}$	$\frac{2,1}{0,1}$	$\frac{5,2}{0,4}$	$\frac{3,0}{0,2}$
Итого за весь период	13,3-20,6	$\frac{767,3}{41,4}$	$\frac{1,4}{0,1}$	$\frac{4,0}{2,2}$	$\frac{13,7}{0,7}$	$\frac{680,6}{46,6}$	$\frac{2,1}{0,1}$	$\frac{31,9}{2,2}$	$\frac{11,9}{0,8}$

Продолжение табл. 3

Период наблюдений	Колебания температуры, °С	Самка № 7			Самка № 8				
		за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день	за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день
Июнь 1980 г.	13,3-16,4	$\frac{450,6}{28,0}$	$\frac{5,7}{0,4}$	$\frac{37,5}{2,3}$	$\frac{18,0}{1,1}$	$\frac{345,0}{23,2}$	$\frac{3,9}{0,3}$	$\frac{28,1}{1,9}$	$\frac{13,8}{0,9}$
Июль 1980 г.	16,1-20,2	$\frac{215,7}{13,4}$	$\frac{1,3}{0,1}$	$\frac{23,3}{1,5}$	$\frac{8,6}{0,5}$	$\frac{230,9}{15,5}$	$\frac{0,6}{0,1}$	$\frac{18,7}{1,3}$	$\frac{9,2}{0,6}$
Август 1980 г.	17,6-20,6	-	-	-	-	$\frac{13,9}{0,9}$	$\frac{0,8}{0,1}$	$\frac{7,0}{0,5}$	$\frac{2,7}{0,2}$
Итого за весь период	13,3-20,6	$\frac{666,3}{41,4}$	$\frac{1,3}{0,1}$	$\frac{37,5}{2,3}$	$\frac{13,3}{0,8}$	$\frac{589,8}{39,6}$	$\frac{0,6}{0,1}$	$\frac{28,1}{1,9}$	$\frac{11,1}{0,7}$

П р и м е ч а н и е. В числителе - количество потребленной пищи в г, в знаменателе - количество потребленной пищи в % к массе тела.

Суточный рацион самок камчатского

Период наблюдений	Колебания температуры, °С	Самка № 9			
		за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день
Май 1981 г.	9,2–12,0	$\frac{196,3}{8,5}$	$\frac{2,9}{0,1}$	$\frac{12,1}{0,5}$	$\frac{8,5}{0,4}$
Июнь 1981 г.	11,4–15,3	$\frac{265,1}{11,5}$	$\frac{3,1}{0,1}$	$\frac{23,8}{1,0}$	$\frac{9,8}{0,4}$
Июль 1981 г.	14,8–20,1	$\frac{93,5}{4,1}$	$\frac{9,1}{0,4}$	$\frac{14,1}{0,6}$	$\frac{11,6}{0,5}$
Итого за весь период	9,2–20,1	$\frac{554,9}{24,1}$	$\frac{2,9}{0,1}$	$\frac{23,8}{1,0}$	$\frac{9,5}{0,4}$

Примечание. В числителе – количество потребленной пищи в г, в

Кроме того, были случаи прекращения подачи морской воды в течение нескольких суток, вследствие чего качество воды становилось хуже – вода мутнела, понижалось содержание кислорода, и в это время крабы также прекращали питаться, а некоторые даже погибали, как, например, в конце июня и июля 1981 г. (рис. 35, экз. 9, 10).

Как видно из табл. 2, 3, 4, 5, количество потребленной пищи подопытными крабами колебалось в значительных пределах – от 0,17 до 1,13% от массы тела.

Среднесуточный рацион самки массой 2,300 кг в июле составлял 0,51% к массе тела. Для молодых камчатских крабов показатели среднесуточных рационов по отдельным месяцам также близки: в декабре 0,35%, в апреле соответственно 1,39 и 1,40%; в июне 1,60 и 1,75%.

Характер питания и суточные рационы синего краба были близкими с таковыми камчатского краба (см. рис. 35 и табл. 5). Так, у самки синего краба массой 1,800 кг в период с ноября по апрель среднесуточные рационы колебались от 0,25 до 0,81% к массе тела со средним показателем 0,44%, а у самки камчатского краба массой 2,560 кг в этот же период – от 0,17 до 0,40% со средним показателем 0,26%, у самки массой 1,180 кг – от 0,26 до 0,95% со средним показателем 0,51%.

Стимуляция нереста. Для выяснения возможности применения метода температурной стимуляции эмбриогенеза и получения личинок в более ранние сроки, чем в природе, были отловлены в конце октября 1980 г. три самки камчатского краба и одна самка синего краба с вынашиваемой на брюшных ножках икрой и помещены в аквариумы-инкубаторы вместимостью 1,5 т каждый. Температура воды в аквариумах

краба в мае–июле 1981 г.

Самка № 10				Самка № 11			
за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день	за месяц	наименьший в день	наибольший в день	средний в день
$\frac{206,3}{7,6}$	$\frac{2,3}{0,1}$	$\frac{44,0}{1,6}$	$\frac{11,4}{0,4}$	–	–	–	–
$\frac{433,5}{16,1}$	$\frac{7,3}{0,3}$	$\frac{51,4}{1,9}$	$\frac{16,6}{0,6}$	$\frac{32,1}{10,4}$	$\frac{4,1}{1,3}$	$\frac{5,1}{1,7}$	$\frac{4,5}{1,5}$
–	–	–	–	$\frac{13,2}{42,4}$	$\frac{3,1}{1,0}$	$\frac{11,1}{3,6}$	$\frac{6,9}{2,2}$
$\frac{639,8}{23,7}$	$\frac{2,3}{0,1}$	$\frac{51,4}{1,9}$	$\frac{14,5}{0,5}$	$\frac{163,6}{52,8}$	$\frac{3,1}{1,0}$	$\frac{11,1}{3,6}$	$\frac{6,2}{2,0}$

знаменателе – количество потребленной пищи в % к массе тела.

снижалась с 9,7°C в начале ноября до 1,4°C в середине января и затем постепенно повышалась до 7°C к началу февраля.

Температурная стимуляция эмбриогенеза вызвала выклев личинок на 2–2,5 мес раньше, чем в природе. Для завершения эмбриогенеза этой самки потребовалось 390 градусо-дней. У двух других самок камчатского краба выклев личинок был более растянут и для завершения эмбриогенеза в этом случае потребовалось 470 градусо-дней. Самке синего краба для завершения эмбриогенеза потребовалось 570 градусо-дней.

У двух самок камчатского краба выклев личинок в аквариуме составлял 74,9 и 78,4% от количества вынашиваемой икры. Остальные икринки были поражены грибковым заболеванием, и эмбрионы в них погибли (рис. 36).

В то же время у третьей самки камчатского краба и у самки синего краба, находившихся в таких же условиях, ни одна икринка не была поражена грибковым заболеванием и выклев личинок был 100%. Отмечено массовое поражение икры, вынашиваемой самками камчатского краба (до 90%), грибом сапролегнией при длительном содержании их в аквариуме [26]. В наших аквариумах в результате температурной стимуляции эмбриогенеза от трех самок камчатского краба было получено 380 тыс. пелагических личинок нормального строения и от самки синего краба 90 тыс. личинок.

Для получения личинок в обычные в природе сроки в аквариум-инкубатор была помещена самка камчатского краба, добытая в середине

Таблица 5

Суточный рацион самки синего краба  
с ноября 1980 г. по апрель 1981 г.

Период наблюдений	Колебания температуры, °С	Самка синего краба, ширина панциря 15,0 см			
		за месяц	наименьший	наибольший	средний
Ноябрь 1980 г.	6,4–9,7	221,2	1,5	20,0	7,3
		11,7	0,1	1,1	0,4
Декабрь 1980 г.	1,8–7,7	173,3	2,4	12,4	5,5
		9,2	0,1	0,7	0,3
Январь 1981 г.	1,4–6,2	146,6	1,5	10,2	4,7
		7,3	0,1	0,5	0,3
Февраль 1981 г.	3,0–7,0	241,3	4,8	19,0	8,6
		12,8	0,3	1,0	0,5
Март 1981 г.	3,3–7,4	471,9	4,2	89,7	15,2
		25,1	0,2	4,8	0,8
Апрель 1981 г. (по 7.04.81 г.)	7,0–10,4	62,5	9,6	11,4	8,9
		3,3	0,5	0,6	0,5
Итого за весь период	1,4–10,4	1317,0	1,5	89,7	8,3
		70,1	0,1	4,8	0,4

Примечание. В числителе – количество потребленной пищи в г, в знаменателе – количество потребленной пищи в % к массе тела.

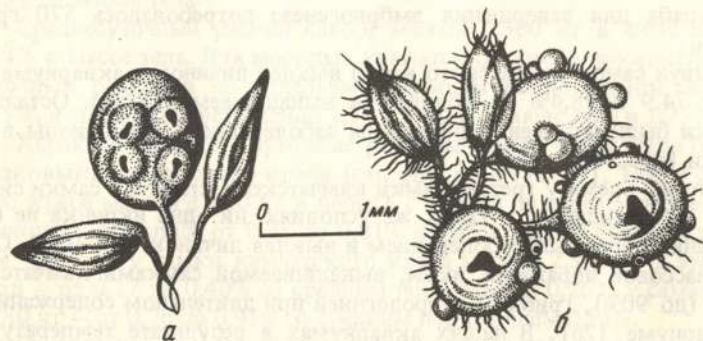


Рис. 36. Икринки камчатского краба и пустые оболочки после выклева личинок: а – икринка с двумя эмбрионами; б – икринки, пораженные грибковым заболеванием

апреля 1981 г. непосредственно перед выклевом личинок. В тот же день у самки начался массовый выклев личинок, который продолжался 3 дня. Выклев личинок был 100%, в результате него выклюнулось 92,5 тыс. личинок.

**Содержание личинок.** Как и в природе, в аквариуме личинки камчатского и синего крабов вылуплялись на стадии презоев, у которых щетинки каждой половины телсона покрыты шестью более широкими чехликами и первая и вторая пара ногочелюстей не несут развитых плавательных щетинок, вследствие чего только что вылупившиеся личинки не могут плавать и опускаются на дно аквариума. Через непродолжительное время (некоторые личинки сразу же по выходе из яйца), исчисляемое минутами и часами, но не более одного дня, презоев линяли и переходили в стадию зоэа I. Зоэа I несут на первой и второй паре ногочелюстей длинные плавательные щетинки, поэтому очень хорошо плавают в толще воды. Личинки положительно фототропичны, поэтому днем держались у освещенной солнцем стороны аквариума, в основной массе ближе к поверхности, хотя меньшая часть держалась у дна, находясь в постоянном движении. В стеклянных же сосудах по 50 и 100 л, куда помещали по 1000 личинок зоэа I, они плавали во всей толще воды более или менее равномерно.

Питание выклюнувшихся личинок изучалось путем отбора их из аквариумов и помещения в чашки Петри, а также в стеклянные сосуды вместимостью 1, 10, 20, 50, 100 л с процеженной водой и добавлением корма. Кормом служили яичный порошок, пищевые дрожжи, одноклеточные водоросли *Monochrysis*, *Phaeodactylum* и живые науплиусы артемии. Контроль за потреблением корма осуществлялся в чашках Петри с помощью бинокулярного микроскопа. При кормлении яичным порошком, предварительно разведенным в морской воде и добавленным по 2 капли в чашку Петри (по 10 капель в 1 л аквариума), через несколько часов у некоторых личинок в желудках и кишечниках обнаруживались комочки яичного порошка.

При кормлении дрожжами, разведенными в морской воде и добавленными по 1 капле в чашку Петри (по 5 капель на 1 л), через несколько часов у всех личинок желудки и кишечники были пустыми. При кормлении одноклеточными водорослями (по 15 капель на 1 л) через несколько часов у всех личинок желудки и кишечники были пустыми. При кормлении одноклеточными водорослями (по 15 капель культуры в чашки Петри и 30 мл на 1 л) замечено, что у части личинок в желудках и кишечниках находилась зеленая масса из *Monochrysis*, в то же время в опыте с водорослью *Phaeodactylum* у всех личинок желудки и кишечники были пустыми.

Наиболее охотно личинки в стадии зоэа I как камчатского, так и синего краба поедали живых науплиусов артемии. Так, выклюнувшихся в середине апреля 1981 г. личинок камчатского краба отсадили в чашки Петри с температурой воды 8–10°C, добавили через два дня различное

Выживаемость личинок камчатского краба при различной плотности посадки

№ аквариумов	Количество посаженных личинок, шт.	Количество выживших личинок	
		шт.	%
1	100	11	11,0
2	300	69	23,0
3	500	337	67,4
4	700	362	51,6
5	1000	286	28,6

Как видно, в аквариумах вместимостью 10 л оптимальной плотностью посадки является 500–700 личинок.

Был поставлен эксперимент с личинками камчатского краба (зоа I и зоа II) по определению летальной концентрации кислорода. В стеклянных аквариумах вместимостью по 10 л было помещено по 200 личинок в каждый. Содержание кислорода при посадке личинок при температуре 7,2°C составляло 93,4% насыщения (6,25 мл/л).

Воду в аквариумах не меняли и не аэрировали в течение всего опыта. Личинок подкармливали небольшим количеством яичного порошка, и остатки корма ежедневно удаляли. Содержание кислорода определяли в первые двое суток утром и вечером, а в последующие дни — один раз в сутки, днем. Через 4 сут днем личинки были все еще живы, активно плавали и содержание кислорода в аквариумах составляло 44,0–51,4% насыщения (3,12–2,64 мл/л). На пятые сутки утром во всех аквариумах при температуре воды 6,2°C все личинки уже были мертвыми, причем содержание кислорода в аквариумах снизилось до 32,7% насыщения (2,31 мл/л). Таким образом, содержание кислорода в 33% насыщения оказалось летальным.

Результаты исследований по содержанию самок камчатского и синего крабов в аквариумах и получение от них массового количества нормальных личинок показали, что культивировать эти два вида промысловых крабов в условиях залива Петра Великого возможно. Об этом же говорят исследования японских ученых по культивированию камчатского краба в прибрежных водах о-ва Хоккайдо.

В связи с суровым гидрологическим режимом наших прибрежных вод, где в зимнее время температура воды снижается до  $-1,9^{\circ}\text{C}$  и поверхность моря в прибрежных районах покрывается льдом в течение 3,5–4 мес, причем краб на это время уходит на глубины с положительными придонными температурами, не представляется возможным выращивание камчатского краба до товарного размера в прибрежной полосе. В наших водах можно подрашивать личинок до стадии жизнестойкого малька и затем выпускать мальков в море с целью пополнения и восстановления численности подорванных промыслом популяций камчатского краба.

количество живых науплиусов артемии. Зоа I не гонялись за науплиусами, а схватывали выдвигающимися вперед мощными челюстями науплиусов, заглатывая за 3–5 мин. Мы наблюдали, как личинка краба, только что поглотившая науплиуса, снова схватывала приблизившегося науплиуса и поедала его. Переваривание этого корма происходило быстро и через 20–30 мин начинали выделяться фекалии. В связи с отсутствием у зоа крабов активной погони за науплиусами артемии концентрация последних при кормлении должна быть достаточно высокой. При повышении температуры воды до  $13\text{--}14^{\circ}\text{C}$  личинки краба переставали охватывать науплиусов, а при температуре  $17^{\circ}\text{C}$  чувствовали себя плохо и становились вялыми. При оптимальной температуре воды ( $8^{\circ}\text{C}$ ) в среднем одна зоа потребляет 25 науплиусов артемии в сутки [129].

В наших экспериментах в аквариумах-инкубаторах при температуре воды, колебавшейся в пределах  $1,8^{\circ}\text{C}$ , когда кормом служил яичный порошок, часть личинок зоа I камчатского краба начала линять через 18 дней после выклева и перешла в стадию зоа II. В опытных стеклянных сосудах вместимостью 10 л и в чашках Петри, где поддерживалась температура в пределах  $9\text{--}10^{\circ}\text{C}$  и кормом служили науплиусы артемии, зоа I камчатского краба начали линять в стадию зоа II через 6 дней. Личинки зоа I камчатского краба, содержащиеся при температуре  $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$  и питавшиеся водорослями и детритом, приносимым вместе с водой, прожили 30 дней, но так и не перелиняли в стадию зоа II, тогда как питавшиеся науплиусами баланусов начали линять через 18 дней, хотя большая часть их погибла перед линькой и во время нее [26]. Личинки, содержащиеся при температуре  $8\text{--}10^{\circ}\text{C}$  и питавшиеся науплиусами баланусов, начали линять через 9 дней, но затем почти все погибли. Личинки, питавшиеся науплиусами артемии, еще быстрее превращались в зоа II, но очень скоро погибали. У личинок зоа I камчатского краба, содержащихся при температуре  $9,9^{\circ}\text{C}$  и кормившихся науплиусами артемии, наблюдалась самая высокая выживаемость, и линька происходила через 6 дней [115].

В наших опытах у личинок камчатского и синего крабов в стадии зоа I и зоа II иногда наблюдались случаи каннибализма, когда они поедали полинявших и мертвых личинок.

Для определения оптимальной плотности посадки личинок камчатского краба в стадии зоа I и зоа II был осуществлен эксперимент. В пять стеклянных аквариумов № 1, 2, 3, 4, 5 вместимостью по 10 л с замкнутой системой циркуляции воды было помещено соответственно 100, 300, 500, 700 и 1000 личинок. Кормом служил яичный порошок. Аквариумы аэрировались, и содержание кислорода колебалось в пределах 74–88% насыщения (5,25–5,60 мл/л). Температура воды колебалась от 4,6 до  $10,0^{\circ}\text{C}$ .

Эксперимент продолжался 13 сут и затем было подсчитано количество выживших личинок (табл. 6).

## КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ТРЕПАНГА

Оценивая трепанг с позиции объекта культивирования с учетом предъявляемых требований аквакультуры, следует отметить, что промышленное его разведение должно быть рентабельным по следующим показателям:

возможность в искусственных условиях стимулировать нерест животных и таким образом дважды в год получать жизнестойкую молодь. Высокий репродуктивный потенциал (плодовитость) вида при создании контролируемых и регулируемых условий среды потенциально позволит получать от пары производителей 500–600 тыс. осевшей молоди;

выращивание личинок осуществляется с помощью довольно дешевого высокопродуктивного при его культивировании корма: дрожжи, бактерии, микроводоросли. Выращивание молоди до жизнестойкой стадии осуществляется путем кормления ее детритом, собранным в природе на специальных коллекторах, или использования биоотложений моллюсков;

непродолжительность процесса культивирования трепанга в заводских условиях: 40–60 сут от момента начала стимуляции нереста до получения жизнестойкой молоди;

непродолжительное развитие трепанга до промысловых размеров — 2–3 года. Исходя из мировой практики марикультуры донных беспозвоночных, можно предположить, что выживаемость трепанга должна быть довольно высокой и возврат его в виде товарной продукции в возрасте 2–3 года при массе кожно-мускульного мешка 100 г составит 30–35%. В пользу данного предложения говорит и тот факт, что в естественных условиях для трепанга практически отсутствует пресс хищников и, как будет показано в последующих главах, основная гибель его происходит в планктонный период жизни. При выращивании молоди в подвесных садках выживаемость в течение года составила практически 100%;

значительное количество используемых в фармакологии дорогостоящих биологически активных веществ: тритерпеновые гликозиды, липиды, гексозамины, простагландины и т. д.;

пищевая ценность и спрос на международном рынке.

При разработке биотехники культивирования трепанга необходимо было решить в первую очередь следующие задачи:

разработать методику получения зрелых половых продуктов и стимуляции нереста трепанга в искусственных условиях;

изучить развитие трепанга на ранних стадиях онтогенеза и подобрать благоприятные условия для их выращивания в искусственных условиях;

определить виды кормов, их рецептуру;

определить районы для создания трепанговых плантаций.

Вполне естественно, что эффективность работ по искусственному разведению любого организма в значительной степени определяется полнотой знаний биологии вида, в частности особенностей распределения как взрослых особей, так и молоди, их роста, питания, биологии размножения и развития, а также условий обитания личинок в природе и влияния факторов среды на их выживаемость. По этой причине изучение или уточнение (для конкретного района) уже имеющихся в литературе данных также входило в задачи проводимых исследований.

## БИОЛОГИЯ ТРЕПАНГА

Трепанг относится к типу иглокожих Echinodermata, классу голотурий (Holoturoidea), отряду шупальцевых голотурий (Aspidochirota), семейству Stichopodidae, роду Stichopus и виду *Stichopus japonicus* var. *armatus* Selenka.

Трепанг — тихоокеанский, приазиатский, субтропическо-нижебореальный вид, распространенный вдоль азиатского берега Тихого океана у южных островов Курильской гряды, у западного и восточного берегов южной части о-ва Сахалин в заливе Анива, вдоль берегов о-ва Хоккайдо, восточного и западного берегов Японии, в многочисленных бухтах западной части Японского моря, у берегов п-ва Корея, в Желтом море. Встречается на глубинах от 1 до 25 м, но иногда попадает на глубине до 100 м [8].

Объектом научных исследований трепанг, обитающий в заливе Петра Великого, стал в конце XIX — начале XX века [2]. При широком развитии гидробиологических исследований в морях Дальнего Востока, которое развернулось в начале 20–30-х годов нашего столетия, изучению трепанга было уделено большое внимание.

В заливе Петра Великого трепанг распространен от южных его границ до северных, причем плотность его скоплений на 1 м<sup>2</sup> во всех районах обитания колеблется в одинаковых пределах (от 0,2 до 3,0 экз.). Незначительные плотности скоплений объясняются ограничением условий биотопа конкретного микрорайона. Наибольшие скопления по площади и общей численности он образует в Амурском и Уссурийском заливах (рис. 37, 38) [13]. Следует иметь в виду, что районы скопления трепанга остаются постоянными; с течением времени изменяется лишь их конфигурация, т. е. площади и плотности поселения животных. Масовые скопления, или "трепанговые поля", ограниченные глубинами от 0,5 до 30 м, трепанг образует в полузакрытых, защищенных от сильных штормов бухтах и заливах.

Как уже было отмечено, распределение трепанга в различных участках залива и прилегающих бухтах неравномерно и зависит от конкретных экологических условий мест его обитания. В частности, распределение животных и, следовательно, образование их скоплений часто совпадают с распределением благоприятных грунтов. Так, в открытой части

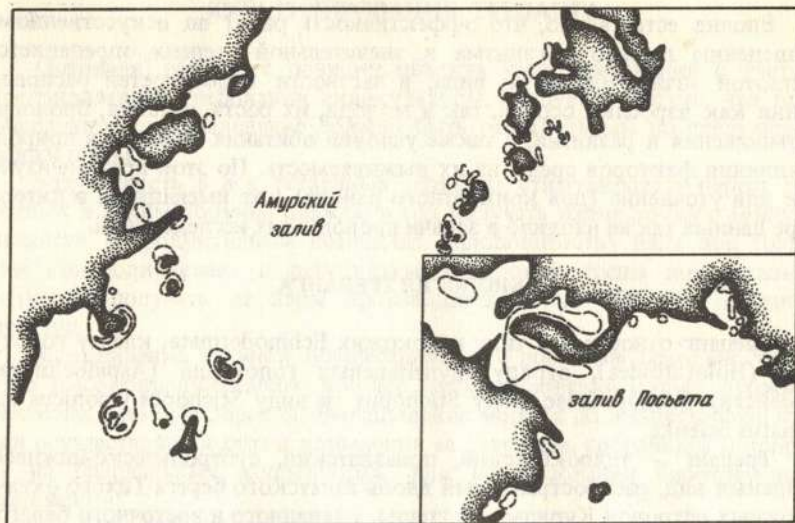


Рис. 37. Распределение скоплений трепанга в заливах Амурский и Посыета

залива и бухтах наибольшее количество трепанга (до 1–3 экз./м<sup>2</sup>) встречается на каменистых и каменисто-песчанисто-гравийно-галечном с легким заилением грунтах. В полуоткрытых и закрытых бухтах он обитает на песчано-илистом и илисто-песчаном грунтах. Особенно большие скопления он образует на указанных грунтах в сочетании их с ракушкой, камнями, поселениями животных и разреженными зарослями водорослей и трав, и плотность его может достигать порой 5 экз./м<sup>2</sup>. На жидких илах и на песчаном грунте трепанг не обитает.

Обнаружена четкая зависимость между биомассой детритофагов (к которым относится и трепанг) в зал. Петра Великого и количеством органического вещества в осадках [3]. Популяции детритофагов "процветают" на грунтах, содержащих 0,75–1,70 Сорг. (%).

Как правило, трепанг образует биоценоз с животными, такими, как мидия (*Crenomytilus grayanus*), гребешок (*Patinopecton yessoensis*), звезды (*Distolasterias* sp., *Asterias amurensis*, *Patiria pectinifera*), режеежи (*Strongylocentrotus nudus*). Из водорослей – хорда (*Chorda* sp.), цистозира (*Cystoseira crassipes*), ламинария (*Laminaria cichorioides*) в открытых зонах обитания и разреженные заросли zostеры (*Zostera marina*) в закрытых бухтах.

Характерными местами обитания молоди трепанга являются более закрытые участки, где она обнаруживается под камнями, в друзах мидий (*C. grayanus*), россыпях раковин погибших моллюсков, зарослях водорослей (*Sargassum migebei*, *C. crassipes*, *Codium* sp., *Ahnfeltia tobtchiensis*) и на небольших глубинах – от 1,0 (иногда от 0,5) до 3,0, местами 5–6 м.

Наблюдаемую особенность распределения молоди, видимо, можно объяснить большей ее выживаемостью именно на таких участках.

В более открытых районах, без подходящих субстратов для прикрепления она подвергается действию волнения моря в штормовую погоду и оказывается выброшенной на берег. Мелководные зоны, долговременно, в течение нескольких часов, обсыхающие во время отлива, также оказываются непригодными для ее выживаемости.

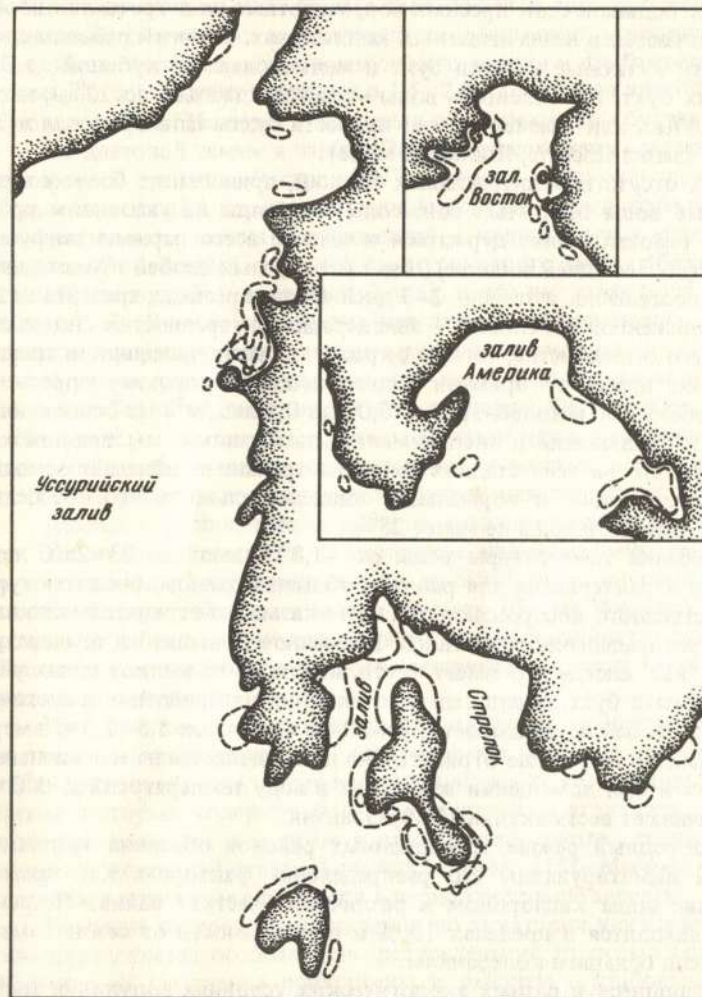


Рис. 38. Распределение скоплений трепанга в заливах Уссурийском, Стрелок, Восток и Америка

Ограничивающим фактором распределения трепанга является соленость воды, резкое ее понижение, которое может происходить под воздействием материкового стока и обильных атмосферных осадков. Известно, что трепанг относится к эвригалинным видам, переносящим изменения солености в пределах 5,9–34,11‰ [62]. Вместе с тем наши наблюдения в природе и экспериментальные данные свидетельствуют о том, что диапазон солености для него значительно уже. Так, в районах, имеющих большой сток пресных вод, животные не встречаются вообще или встречаются в незначительных количествах. К таким районам следует отнести кутковые участки бухт и мелководья (с глубиной до 3 м) закрытых бухт, где соленость воды может понижаться до 22‰, иногда до 13–18‰; как пример можно привести бухты Новгородская и Экспедиция (залив Посьета, Японское море).

Из-за отсутствия интенсивных течений, приносящих более соленые глубинные воды открытых зон, соленость воды на указанном уровне в таких районах может держаться в течение всего периода тайфунных дождей (до 3–4 дней и более). Гибель взрослых особей происходит не сразу, а постепенно, в течение 2–3 дней. Первая реакция трепанга на действие пониженной солености – эвисцерация внутренностей. Затем стенки тела его ослизняются, теряют окраску. Обычно численность трепанга в районах, время от времени подвергающихся сильному опреснению воды, небольшая и колеблется от 0,01 до 0,1 экз./м<sup>2</sup>. На основании результатов наблюдений и экспериментальных данных мы пришли к заключению, что на всех стадиях развития трепанг не обладает осмотической лабильностью и нормальная жизнедеятельность его обеспечивается при солености воды не менее 25‰.

Колебания температуры воды от –1,8°C зимой до 23–25°C летом являются характерными для районов обитания данного вида голотурий, его естественного воспроизводства и не оказывают отрицательного влияния на распределение животных. Временное повышение температуры до 28°C, как иногда это имеет место, например на мелководных участках закрытых бухт, отрицательного влияния на поведение и состояние взрослых особей не оказывает. Временное (в течение 1,5–2,0 ч) вмерзание трепанга в лед также отрицательно не сказывается на его жизненных процессах и при помещении животных в воду температурой 2–3°C они вновь начинают вести активный образ жизни.

Кислородный режим традиционных районов обитания трепанга не является лимитирующим его распределение фактором. Как правило, насыщение воды кислородом в различных участках залива Петра Великого находится в пределах 100% и в зависимости от сезона года не подвержено большим колебаниям.

Находящиеся в разных экологических условиях популяции трепанга отличаются по многим признакам, что необходимо учитывать при создании искусственных трепанговых плантаций. Одним из них является различие размерной структуры популяции. Так, наиболее крупный тре-

панг обитает в открытых зонах, у островов, где грунт, как правило, представлен каменистыми россыпями, валунами, покрытыми тонкой пленкой детритной взвеси, в чередовании с песчано-илистыми площадками. В таких районах масса кожно-мускульного мешка в среднем достигает 180–240 г.

На илисто-песчаных и илистых грунтах, особенно в кутковых участках бухт, как правило, масса кожно-мускульного мешка трепанга колеблется от 60 до 140 г. Кроме того, имеется еще одна особенность у животных, обитающих в различных экологических условиях: в открытых зонах толщина кожно-мускульного мешка у приблизительно одноразмерного (по длине) трепанга в 1,5–2,0 и более раза превосходит таковую у особей, обитающих в закрытых и полузакрытых бухтах.

По цветовой гамме в заливе Петра Великого также можно выделить три формы трепанга: "островной", имеющий темно-коричневый окрас; "промежуточный", характеризующийся светло-коричневым цветом кожно-мускульного мешка и обитающий в полузакрытых районах; "песчанистый" – светлый окрас кожно-мускульного мешка (бежевый, оливковый), живущий в закрытых бухтах, особенно характерен для кутковых частей. В настоящее время нет данных, объясняющих, по какому признаку формируются указанные различия у трепанга.

Изучение распределения личинок различных организмов в планктоне и колебания их численности под влиянием биотических и абиотических факторов среды имеет важное значение для определения состояния популяции вида и выявления динамики ее межгодового пополнения, а также для работ по искусственному разведению животных.

Данные о распределении личинок трепанга в целом для залива Петра Великого отсутствуют. В настоящее время изучены распределение и частично факторы, определяющие выживаемость личинок в природе, только в двух районах: в заливе Посьета (бухты Миносок и Новгородская) и бухте Алексева (акватория, прилегающая к о-ву Попова). Вместе с тем анализ полученного материала позволил выявить некоторые закономерности.

Как правило, первые личинки трепанга в планктоне появляются в начале – середине июля. В это же время наблюдается вспышка цветения фитопланктона, идет вегетация морских трав, продукты метаболизма которых содержат большое количество углеводов, витаминов, которые попадают в водоем в виде растворенного органического вещества и детритной взвеси и служат кормом [15]. Массовое появление личинок в планктоне отмечается в первой половине августа.

Изучение распределения личинок по акватории указывает на то, что оно определяется особенностью распределения взрослых особей, и наибольшие их скопления приурочены к районам с наибольшей численностью трепанга.

Характерно и вертикальное распределение личинок трепанга в планктоне. Развитие ранних личиночных стадий (предаурикулярия и ранняя

аурикулярия) происходит в эвфотическом слое воды (от 0 до 1,5 м). Обитание личинок в указанном слое объясняется положительной их фототропичностью [55]. Личинки поздних стадий в толще воды распределены диффузно, но в основном обитают в более глубоких слоях воды, чем ранние.

Сопоставление возрастного состава личинок в разные сроки наблюдения их в планктоне показывает, что в июле встречаются личинки только ранних стадий развития. В августе обнаруживаются личинки всех пелагических стадий. Однако следует подчеркнуть, что количество личинок ранних стадий (предаурикулярия, ранняя и поздняя аурикулярия) значительно превышает количество последующих стадий развития. Все это свидетельствует о низкой выживаемости в период пелагической жизни трепанга.

При изучении динамики численности личинок трепанга особое внимание было уделено выявлению факторов среды, влияющих на их выживаемость, поскольку это имеет важное значение как для динамики популяции вида в разные годы, так и для работ по искусственному разведению. Как уже было отмечено выше, на всех стадиях развития трепанг не обладает осмотической лабильностью, что характерно для иглокожих — типичных представителей морской фауны [64].

Выпадение обильных осадков в Приморье в летние месяцы — характерное явление и совпадает с периодом нереста трепанга (конец июня — 20 августа). Резкое понижение солености воды от 27–32 до 18–22‰ обуславливает массовую гибель личинок трепанга, особенно ранних стадий развития. По причине продолжительности дождей личинки могут отсутствовать в планктоне в течение нескольких дней и только благодаря растянутости нереста трепанга появляются вновь при нормализации солености.

Не исключается фактор влияния высокой температуры на выживаемость личинок трепанга в природе. Так, исследования показали, что повышение температуры воды до 28°C и выше в первые дни воздействия приводило к резкому сокращению численности личинок в планктоне, а затем и к полному их исчезновению. Указанный температурный режим можно наблюдать в мелководных бухтах залива Посьета.

Понижение температуры воды до 15°C вызывает значительное сокращение численности личинок. Долговременное нахождение их в воде при данном температурном режиме приводит к полной гибели. Температуры воды ниже 15°C являются летальными. В холодные годы, когда температура воды держится на уровне 17–19°C, развитие личинок затягивается на 16–20 дней.

В настоящее время имеется относительно незначительная информация о врагах трепанга. Вместе с тем аквариальные наблюдения за поведением звезд вида *Patiria pectinifera* по отношению к молоди трепанга позволяют сделать заключение, что их можно отнести к потенциальным врагам и в природе. Причем звезды указанного вида всегда быстрее про-

являют свою активность по отношению к молоди, чем вида *Asteria amurensis*. Если учесть, что численность *P. pectinifera* в природе может достигать 8–10 экз./м<sup>2</sup>, то урон, наносимый ими состоянию и пополнению численности популяций трепанга в заливе Петра Великого, может быть значительным.

Таким образом, при расселении молоди трепанга необходимо учитывать этот фактор и при дальнейшем выращивании до товарного вида проводить определенные мероприятия по борьбе со звездами.

Скорее всего, эти мероприятия должны заключаться в изъятии звезд с плантаций трепанга водолазным способом. Собранных звезд можно утилизировать как добавку в корм на птицефабриках.

Другими врагами трепанга могут быть рыбы. Исследование кишечника камбалы длиной 35–45 см позволило обнаружить в его содержимом молодь трепанга размером (в сжатом состоянии): в длину 3–4, ширину 1,5–2 см. В настоящее время трудно определить, насколько камбала является серьезным врагом трепанга в природе, но совершенно очевидно, что ее можно отнести к числу потенциальных врагов.

**Биология размножения трепанга.** Трепанг — раздельнополое животное, в редких случаях встречаются гермафродитные особи. У последних гонада в основном представлена половой железой одного пола и только небольшие ее участки (1–2 см при общей длине 15–20 см, в иных случаях и более) могут быть заполнены половыми продуктами другого пола. Визуально гермафродитные особи хорошо определяются только в состоянии зрелости половых продуктов, когда пол животных четко различается по цвету гонад: у самки — ярко-оранжевый, у самцов — светло-бежевый.

Относительно времени наступления половозрелости трепанга единого мнения нет. Одни специалисты указывают на то, что половозрелым трепанг становится на третьем году жизни, другие — на втором [27, 62, 86].

В нерестовый период животные собираются отдельными группами по 4–8 экз. в каждой, и соотношение самок и самцов в них составляет примерно 1:1.

Анализ литературных данных и результатов наших исследований показывает, что нерест трепанга, обитающего в различных районах залива Петра Великого, происходит с июня по август.

Причем отмечено, что у животных, обитающих в различных экологических условиях, например в бухтах залива Посьета, нерест наступает не одновременно. При этом следует отметить, что нерест животных одновременный, если рассматривать одну особь, о чем свидетельствует синхронность процесса созревания половых клеток в гонадах трепанга, но в целом у локальной популяции растянут до 1–1,5 мес.

Очень четко просматривается межгодовая изменчивость в сроках наступления нереста животных. Так, в теплые годы (среднегодовая температура воды 9,2°C) начало нереста трепанга в зависимости от рай-

она обитания приходится на середину — конец июня — начало июля, а в холодные (среднегодовая температура воды 8,2°C) — он запаздывает на полмесяца.

Начало нереста трепанга всегда отмечается при температуре воды 18–19°C. Первыми начинают нерест более крупные особи, а затем — мелкие.

Одним из важных показателей для роста и развития половых продуктов и наступления нереста животных является "сумма тепла".

Подсчет "суммы тепла", обеспечивающего процесс созревания половых продуктов и наступления нереста трепанга, следует осуществлять с сентября, т. е. с момента начала восстановления его гонад, по ноябрь и с апреля до момента наступления нереста, т. е. ведется учет градусо-дней только с положительными температурами. Для хозяйств, занимающихся разведением трепанга в мелководных районах, можно использовать для ориентации в сроках наступления нереста данные поверхностных температур. Подсчет суммы тепла поверхностного слоя до периода наступления нереста трепанга показал, что она составляет 1857–1883°C, а до массового — 2354–2392°C.

После нереста трепанг впадает в состояние "спячки", продолжительность которой не более 15 дней. В этот период он не питается.

Согласно проведенным нами исследованиям, абсолютная плодовитость трепанга довольно высокая и у отдельных особей может достигать 77 млн. икринок. Отмечено, что с возрастом абсолютная плодовитость увеличивается. Однако увеличение ее отмечается до определенного возраста, а затем она уменьшается. Разницы между плодовитостью одно-размерных животных, обитающих в различных бухтах и районах залива, не обнаружено.

Исходя из анализа данных по биологии размножения трепанга, мы пришли к заключению, что работы по искусственному его разведению в заводских условиях без больших энергозатрат можно начинать с середины апреля, когда половые продукты животных находятся в стадии роста, а у некоторых особей — в стадии созревания.

Вскрытие гонад самок трепанга в нерестовый период показывает, что половые клетки находятся в стадии овоцита и созревание их происходит непосредственно перед их выметом. При разработке биотехники искусственного разведения трепанга был применен метод температурного стимулирования созревания половых продуктов и нереста.

#### БИОТЕХНИКА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ТРЕПАНГА

**Стимуляция нереста.** Технологический процесс культивирования трепанга в заводских условиях состоит из трех циклов. Длительность цикла — 40–60 дней, что определяется степенью зрелости половых продуктов животных, периодами эмбрионального и личиночного развития (до момента получения молоди) и дорастивания молоди до жизне-

стойкой стадии (до 30 дней). Первый цикл длится с середины апреля до 20 июня, второй — с 10 июня по 5–10 августа, третий — с начала августа до 20 сентября.

При разработке метода температурной стимуляции созревания половых продуктов и нереста трепанга особое внимание было уделено детальному подбору режима стимуляции. Поскольку этот процесс довольно продолжителен, состояние животных может определяться многими факторами: температурой, содержанием кислорода, pH среды, продуктами метаболизма и рядом других. Следовательно, должно быть предусмотрено применение различных технологических приемов: аэрирование воды, стабилизация в известных пределах температуры, использование различных систем водообеспечения (проточная, полупроточная), поддержание скоростей протока. Информация о режиме стимуляции созревания половых продуктов и нереста трепанга в искусственных условиях и сроках его наступления представлена в табл. 7.

Таблица 7

Режим стимуляции нереста и сроки его наступления в искусственных условиях

Время работ	Стимуляция нереста трепанга				Срок наступления нереста трепанга, сут	
	Период адаптации, сут	Начальная температура стимуляции	Повышенные температуры воды в сутки, °C	Конечная температура стимуляции, °C	самцов	самок
С конца апреля до середины мая	До 2	Район обитания	1–2	25	8–10	18–20
Конец мая	1–2	То же	1–2	25	4–5	11–15
Июнь	1	"	1–2	25	3–4	6–8
Август	1	"	1–2	25	От не- скольких часов до 2 сут	1–5

Исходная температура воды в сосудах с производителями, как правило, задается в зависимости от состояния зрелости половых продуктов трепанга. Указанная конечная температура поддерживается постоянной в течение всего процесса стимуляции. Более высокая температура воды (порядка 27–29°C) отрицательно сказывается на общем состоянии животных. При температуре воды 29°C наблюдаются признаки лизиса половых продуктов.

При достижении в местах обитания трепанга температуры воды 18°C животных помещают в воду температурой на 2–3°C выше, чем в приро-

де, что не оказывает отрицательного влияния на ход созревания половых продуктов и в дальнейшем на развитие личинок. Критерием оценки такого режима служит развитие личинок до стадии оседания молоди. В остальном режим повышения температуры сходен с вышеизложенным. С июля по август, когда температура в природе достигает 21–23°C, производителей помещают в воду с температурой 25°C, что отрицательно не сказывается на качестве половых продуктов. Половые продукты трепанга в этот период находятся на стадиях завершения созревания и нереста.

Весьма важным условием в режиме стимуляции созревания половых продуктов животного является постепенность повышения температуры воды, что обеспечивает нормальное их созревание. Колебание температуры воды в течение суток в пределах  $\pm 2-4^\circ\text{C}$  оказывает отрицательное влияние на процесс созревания половых продуктов и в дальнейшем на развитие и выживаемость потомства.

Показателем несоблюдения температурного режима стимуляции является abortивный нерест самок — выметываются незрелые половые клетки. Внешне нерест самок ничем не отличается от нормального: идет активное выделение половых клеток на стадии овоцитов или незрелых яйцеклеток; остановить его путем механического или температурного воздействия невозможно. Оплодотворение таких яйцеклеток происходит, но развитие их ограничивается одной из стадий эмбриогенеза или стадией ранней аурикулярии.

При соблюдении температурного режима обеспечивается нормальный нерест трепанга и оплодотворение икры достигает практически 100%. Оплодотворенная икра проходит все стадии развития, личинки развиваются до стадии жизнестойкой молоди. В течение месячного развития молоди гибель ее практически не отмечается. Данный метод позволяет получать жизнестойкую молодь на 1,5–2 мес раньше, чем в естественных условиях.

Поскольку в сосуде обычно находится несколько самцов, то практически ежедневно отмечается нерест одного из них. Таким образом, обеспечиваются дополнительная (к температурной) стимуляция созревания половых продуктов и нереста самок и оплодотворение выделяемой самками икры. Икрометание самок трепанга, в свою очередь, также стимулирует выделение спермы у самцов и тем самым увеличивается вероятность оплодотворения икры.

Трепанг, как правило, нерестится ночью. Однако при переносе нерестящихся особей на свет нерест не прекращается.

Процесс выделения половых продуктов при температуре воды 25°C и солености 28–32‰ длится 40–60 мин, но иногда и более длительный срок.

Разницы в развитии икры и спермы трепанга массой от 150 до 400 г не отмечается. Оплодотворение и развитие икры у таких особей идут одинаково нормально, без аномалий.

При искусственном разведении трепанга очень важно, чтобы развитие оплодотворенной икры не происходило в воде, в которой выдерживались производители. В противном случае большая часть оплодотворенной икры развивается аномально или развитие останавливается на одной из стадий эмбриогенеза, что, видимо, объясняется отрицательным действием продуктов метаболизма на развивающиеся половые клетки. По этой причине при регистрации начала нереста производители помещаются в другой сосуд с чистой профильтрованной водой, где и происходит оплодотворение икры. Быстрый их перенос в другой сосуд не прекращает нереста. Температура воды в сосуде, в который переносятся нерестящиеся животные, не должна резко отличаться от той, при которой стимулировался нерест, и от температуры инкубирования икры и выращивания личинок. Лучшие результаты были получены при температуре воды 21–23°C. Объем сосудов в этом случае может быть небольшим, до 30 л на двух производителей, поскольку такой объем позволяет наиболее полно собрать оплодотворенную икру, просчитать ее количество и разместить в инкубационные сосуды.

Икра трепанга тяжелее воды и по этой причине в процессе нереста оседает на дно сосуда. Здесь возникает необходимость в перемешивании воды для увеличения вероятности оплодотворения икры и избежания кислородного голодания. Перемешивание воды не прекращает нереста животных.

Поскольку трепанг в преднерестовый и особенно нерестовый периоды практически не питается, необходимость в кормлении его в момент стимулирования созревания половых продуктов и нереста отсутствует. Время выдерживания трепанга до наступления нереста длится от 1 до 10–12 дней, и отсутствие корма не оказывает отрицательного влияния на общее их состояние. Половые продукты в таких условиях всегда развиваются нормально.

Исследование процесса накопления продуктов метаболизма в период содержания производителей и наблюдения за их состоянием показали, что в условиях отсутствия протока содержание аммонийного азота (основного продукта обмена животных) в воде к концу первых суток достигает 800, а на 2–3-е сутки — порядка 1000–1500 мкг/л. При этом состоянии трепанга становится неудовлетворительным, что выражается неподвижностью животных и ослизнением их кожных покровов. Нормальное состояние производителей наблюдается при содержании в воде аммонийного азота в количествах, не превышающих 200–400 мкг/л, что обеспечивается сменой 4–6 объемов воды в сутки. Следует отметить, что указанный режим очистки воды от продуктов метаболизма стабилизирует их концентрацию в пределах нормы, но не обеспечивает животных кислородом, особенно в условиях высоких температур, когда насыщение воды кислородом снижалось до 60%. Как показывает практика работ, проблема обеспечения животных кислородом решается путем подачи в сосуды предварительно насыщенной кислородом воды.

Решение ее путем увеличения скоростей потока и, таким образом, заменой больших объемов воды неэкономично, так как потребует значительных энергозатрат при высоких температурах стимуляции.

Таким образом, из вышеизложенного материала можно сделать следующие практические рекомендации.

1. Метод температурного стимулирования созревания половых продуктов и нереста трепанга можно рекомендовать при культивировании его в искусственных условиях. При использовании данного метода икра трепанга оплодотворяется практически на 100%.

2. Знание биологии размножения трепанга и применение разработанной методики стимуляции процесса гаметогенеза и нереста производителей позволяют расширить временные границы получения качественно зрелых половых продуктов до 3–4 мес в году.

3. Накопленные знания биологии размножения многих промысловых объектов залива Петра Великого уже сейчас позволяют создавать заводы многоцелевого назначения. Так, например, в настоящее время силами лаборатории акватории, контроля и управления средой ТИПРО заложены основы проектирования и расчета комплексных заводов для культивирования трепанга и двух видов лососей: симы и кеты. Другим примером комплексного хозяйства служит завод для культивирования ламинарии японской и трепанга.

**Условия инкубирования икры и выращивания личинок трепанга.** Как уже было отмечено выше, нерест производителей происходит в небольших емкостях, удобных для сбора и подсчета икры. Затем оплодотворенная икра помещается в инкубационные сосуды, в которых и происходит ее дальнейшее развитие. Учитывая размеры икры и гибель трепанга на ранних этапах онтогенеза, начальная плотность посадки ее составляет порядка 1,5 тыс. шт./л воды. Удельный вес икры трепанга выше воды и по этой причине она многослойно оседает на дно сосуда, вследствие чего дальнейшее ее развитие, особенно в нижних слоях, прекращается на стадии дробления. Для избежания гибели используются различные приспособления, например мешалки.

Отмечено, что оплодотворенные яйцеклетки очень чувствительны к действию высоких температур. Так, при 27°C развитие их нарушается, а при 28–29°C эмбриогенез прекращается. Наилучшие результаты инкубирования икры и выращивания личинок были получены при температуре 21–23°C. Как пример, на рис. 39 приводятся результаты влияния температуры на рост личинок трепанга. Гибель личинок наступает в тех же пределах высоких температур, что и оплодотворенных яйцеклеток. Причем личинки разных стадий развития по-разному реагируют на ее действие. Так, личинки на стадии преаурикулярии склеиваются в комочки, которые оседают на дно сосуда, и погибают в течение 3–5 ч. Личинки более поздних стадий развития погибают не сразу, а постепенно, в течение 2–3 дней, при этом происходит уменьшение их размеров.

Колебание температуры в течение суток на  $\pm 3$ –5°C в период выра-

шивания личинок также отрицательно сказывается на их развитии. В этом случае развитие личинок останавливается на стадии ранней аурикулярии и через 10–12 дней своего существования в этой стадии они погибают. Гибнувшие личинки перемещаются в толще воды и даже некоторые из них питаются. Однако к моменту гибели они уменьшаются в длину от 600–700 до 300–400 мкм.

При температуре 18–20°C процесс перехода личинок в следующую стадию замедляется, и первые экземпляры оседающей молодежи появляются на 15 сут вместо 11. При температуре 10–12°C развитие личинок прекращается, и они постепенно погибают. Благоприятным для нормального развития, выживаемости и усвоения корма личинками диапазоном температур является 21–23°C (см. рис. 39). Для характеристики изменения размеров личинок был взят условный критерий оценки их качества, равный произведению длины личинки на ширину желудочка, как наиболее показательные величины при их развитии: при аномальном развитии длина личинки и ширина желудочка уменьшаются.

Существенное значение при выращивании личинок имеет освещенность (рис. 40). Причем освещенность важна не столько для самих личинок, сколько для кормовых микроводорослей. Известно, что культивирование микроводорослей требует определенных условий и среди главных – освещенность. Отсутствие необходимой освещенности приводит к оседанию водорослей на дно сосуда с личинками. Показано, что выращивание личинок при освещенности 200 лк дает отрицательный результат, т. е. 100% их погибают от голода. При освещенности 700 лк и более происходит чрезмерное развитие микроводорослей и их концентрации становятся выше допустимых значений (200 тыс. кл/мл) для нормального развития личинок. Наилучшие результаты получены при освещенности 400 лк и солёности воды 28‰ (см. рис. 40).

Исследование действия продуктов метаболизма на развивающихся

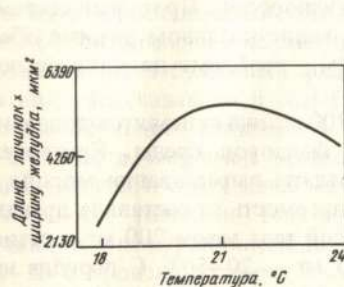


Рис. 39. Влияние температуры на рост личинок трепанга

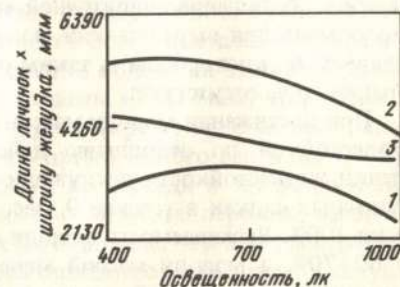


Рис. 40. Оценка влияния освещенности на рост личинок трепанга при температуре 21°C и различной солёности (‰):

1 – 24; 2 – 28; 3 – 32

личинках трепанга показало, что в период их выращивания происходит накопление аммонийного азота в воде в течение первых пяти дней до 500 мкг/л и более. Указанные концентрации являются летальными. Планктонный образ жизни, особенность поведения, довольно мелкие размеры, способы питания (механические фильтраторы) и кормления личинок и ряд других причин не позволяют применять проточную систему водообеспечения в период их выращивания.

Частичная замена воды ( $\frac{1}{5}$  —  $\frac{1}{3}$  объема в сутки), начиная с периода появления личинок стадии ранняя аурикулярия, позволяет стабилизировать содержание аммонийного азота на уровне 150–200 мкг/л. Указанное его содержание в воде не токсично и вполне обеспечивает нормальное развитие организма.

Исследование процесса накопления аммонийного азота при выращивании молоди и влияния различных доз указанной соли на организм показывает довольно высокую его устойчивость. Концентрации аммиака 1000–1500 мкг/л не являются сублетальными для молоди. Однако установлено, что они ингибируют рост животных. В период выращивания молоди с целью очистки воды от продуктов метаболизма нами рекомендуется использование проточности системы водообеспечения. Двухразовая суточная замена всего объема воды обеспечивает содержание аммиака в благоприятных для нормального развития молоди пределах — 150–200 мкг/л.

Кислородный режим при выращивании личинок и молоди трепанга поддерживается на уровне 100% насыщения и регулируется различными способами. Поскольку личинки чувствительны к различного рода механическим воздействиям, не допустимо аэрирование воды непосредственно в сосудах с животными, так как они травмируются пузырьками воздуха. Как следствие этого уменьшение размеров и формы личинок и прекращение развития на 4–5 сут. Для поддержания кислородного режима на должном уровне необходимо применять различного рода мешалки и обогащение подпиточной воды кислородом. Проточная система водообмена при выращивании молоди в вышеуказанном режиме обеспечивает ее кислородом и, таким образом, проблема дополнительной аэрации воды отсутствует.

При достижении молоди массы 200–300 мг она становится довольно жизнестойкой по отношению действия факторов среды. Критерием оценки жизнестойкости послужили результаты выращивания молоди в подвесных садках в течение 9 мес. Выживаемость ее составила практически 100%. Выживаемость молоди с массой тела менее 200 мг составила 60–70%, а молоди массой менее 100 мг — 20–50%. С периода наступления жизнестойкой стадии молодь должна расселяться на грунт, в море, на заранее подобранные участки, где она выращивается до товарного вида (состояния).

Перед расселением на грунт животные проходят период адаптации к условиям среды их дальнейшего обитания.

Знания гидрологических и гидрохимических параметров района расселения молоди позволяют правильно осуществить процесс адаптации. Наиболее значимым параметром среды в этот период является температура. По этой причине регуляция ее значений в сторону понижения или повышения должна быть плавной и пределы их определяются разницей температур у молоди в аквариальных условиях и в районе расселения.

Трофические потребности трепанга на ранних стадиях онтогенеза. Каждый этап развития трепанга характеризуется своим способом питания. Так, личинки, обитающие в планктоне, являются фильтраторами. В то же время для личинок, в ходе развития осевших на грунт, и далее для молоди и взрослых форм характерен иной тип питания: перемещаясь по дну, они собирают специальными органами — щупальцами поверхностную пленку грунта — детрит, т. е. являются собирателями.

В исследованиях, касающихся искусственного разведения морских организмов, в частности трепанга, важное место занимает количественное и качественное изучение питания как личиночных стадий, так и ювенильных бентических форм.

Большой интерес представляет знание пищевого спектра питания личиночных стадий трепанга в естественных условиях. В этом плане многочисленные попытки установить качественный состав пищи личинок не дали положительного результата, так как, как правило, в желудках просматриваются комочки неопределенного происхождения взвеси; клетки микроводорослей или других видов корма не обнаруживаются. Не исключено, что комочки взвеси, найденные в желудках личинок представляют собой переваренные остатки водорослей, что эти комочки являются захваченными частицами детрита, значительное количество которого образуется в море в этот период в связи с окончанием вегетации некоторых видов трав и макрофитов.

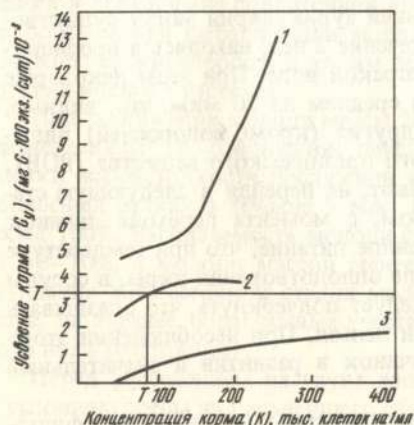
В экспериментах по выращиванию личинок трепанга выяснилось, что питающиеся личинки стадии ранней аурикулярии могут существовать без специального кормления в течение 2 нед, находясь в профильтрованной через бумажный фильтр морской воде. При этом некоторые из них увеличиваются в размерах, в среднем на 20 мкм, что, видимо, можно объяснить наличием в воде других (кроме водорослей) пищевых веществ, например растворенного органического вещества (РОВ). Но в конечном итоге личинки погибают, не перейдя в следующую стадию своего развития. Таким образом, с момента перехода личинок стадии ранней аурикулярии на экзогенное питание, что при температуре 21–23°C происходит через 2 сут после оплодотворения икры, в сосуды необходимо вносить корм. Особо следует подчеркнуть, что опаздывать с их кормлением более чем на сутки нельзя. При несоблюдении этого условия наблюдаются отставание личинок в развитии и значительный отход.

По типу питания личинки трепанга относятся к механическим фильт-

раторам. В силу этой особенности организма весьма важным является установление оптимальных концентраций водорослей в культуре с личинками.

Наблюдения за ростом и развитием личинок показали, что, питаясь водорослями *Platymonas viridis*, *Nephrochloris salina*, *Gymnodinium lanksaya*, при концентрации 50–100 тыс. клеток на 1 мл воды они нормально развиваются и процент потребленного корма достигает 73. При плотности водорослей 25 тыс. клеток на 1 мл воды потребление их снижается в 1,5–2,5 раза. Личинки находятся в состоянии голода, что сказывается на их развитии и выживаемости. Концентрация указанных водорослей, а также *Phaeodactylum tricornutum*, *Dunaliella salina* более 200 тыс. клеток на 1 мл губительна для личинок, и они все погибают в течение 3 ч нахождения в такой среде. Гибель личинок обусловлена тем, что при высоких концентрациях кормовых водорослей пищевод и желудок их переполняются пищей и нарушаются процессы дыхания и пищеварения. Однако необходимо отметить, что сказанное выше следует отнести к водорослям, размеры которых равны или больше 10 мкм. Концентрацию водорослей меньших размеров при кормлении личинок необходимо увеличивать, поскольку при меньших концентрациях таких водорослей усвоение их незначительно (рис. 41).

Величина усвоения корма, например, личинками длиной 700 мкм и более возрастает с увеличением его концентрации от 50 до 200 тыс. клеток на 1 мл для водорослей *D. salina* и *Ph. tricornutum* и до 400 тыс. клеток на 1 мл для *M.lutheri*. Увеличение концентраций почти в 10 раз приводит к увеличению усвоения ее в 7 раз. При увеличении концентрации *D.salina* и *Ph. tricornutum* в 4 раза усвоение их личинками увеличивается в 2 и 3 раза соответственно. Причем при увеличении количества клеток *D.salina* с 50 до 200 тыс. в 1 мл отмечается тенденция выхода кривой на плато. Для водоросли *M.lutheri* эта тенденция слабо выражена, а для водоросли *Ph. tricornutum* она незаметна вообще (см. рис. 41).



Таким образом, для нормального развития аурикулярии длиной 700 мкм и более линейные размеры пищевых частиц не должны быть ниже 10 мкм, наиболее благоприятными оказались пищевые частицы дли-

Рис. 41. Усвоение корма личинками трепанга (размер 625–775 мкм) при различных концентрациях монокультур водорослей

ной 27 и шириной 5,6 мкм. Минимальная концентрация водоросли *Ph. tricornutum*, которая обеспечивает нормальное развитие личинок, приводит к значительно меньшим концентрациям корма в абсолютном значении клеток (50 тыс. на 1 мл). Следовательно, для искусственного выращивания личинок на стадии аурикулярии целесообразно использовать микроводоросли, подобные *Ph. tricornutum*, в концентрации 50 тыс. клеток на 1 мл.

О степени пригодности указанных в данной работе монокультур водорослей как корма для личинок трепанга можно судить из того, что последние нормально растут и развиваются, питаются ими, т. е. на 11-е сутки личинки переходят в стадию долиолярии, на 13-е сутки — пентактулу и в конечном итоге образуется молодь трепанга. Однако следует отметить, что при кормлении личинок монокультурами *G.lanksaya* и *Ph. tricornutum* полученной молоди было больше (7–10%), чем при питании личинок водорослями *Pl. viridis*, *N. salina*. Процент осевшей молоди в последнем случае составлял 1–3.

Как видно из приведенных данных, кормление личинок с момента их перехода на экзотенное питание (монокультурами водорослей) не дает высоких результатов выживаемости до стадии оседания. Как показали многолетние исследования, при выращивании личинок весьма важно соблюдать режим кормления. При этом особого внимания заслуживает рецептура корма для различных стадий их развития. Кормление личинок должно осуществляться по следующей схеме. В течение первых двух дней развития они должны питаться легкоусвояемым кормом, в качестве которого можно использовать бактерии, дрожжи и растворенное органическое вещество (РОВ) в виде гидролизатов или экстрактов микроводорослей и макрофитов. И только на третьи сутки личинкам необходимо давать корм, в рецептуру которого включаются микроводоросли.

В настоящее время из морской воды выделены штаммы бактерий, которые используются как составная часть комбинированного корма при выращивании личинок трепанга в искусственных условиях. Особенно эффективен для развивающихся личинок корм, состоящий из бактерий и микроводорослей.

На основании проведенных исследований разработана рецептура кормов для массового выращивания личинок трепанга в заводских условиях. Путем подбора видов бактерий и микроводорослей выживаемость личинок до стадии молоди была повышена до 36, а в отдельных случаях до 45%. Как правило, в состав корма должны входить микроводоросль *D.salina* и один из видов бактерий *Pseudomonas putida*, *Ps. fluorescens*, *Micrococces luteus*. Корм задают 2 раза в сутки из расчета 50 тыс. клеток водорослей на каждый 1 мл воды в сосуде и 1 млн. клеток бактерий при плотности посадки личинок 1000 экз./л.

С переходом личинок к донному образу жизни (стадии пентактулы) и образованием молоди кормом им служит органический детрит. По-

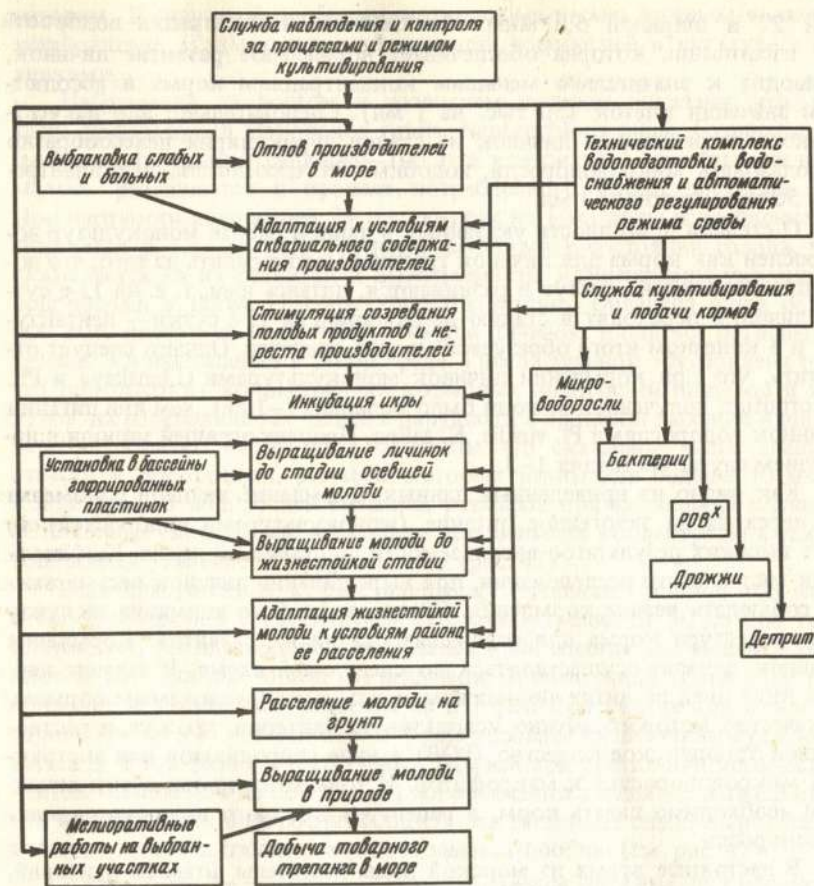


Рис. 42. Схема культивирования трепанга

скольку культивирование трепанга связано с получением жизнестойкой молоди в заводских условиях, выявление количественной и качественной сторон его питания представляет особый интерес.

Планируемое выращивание молоди трепанга заводским способом в Приморье предполагает использование довольно значительного количества калорийного корма.

Как установлено экспериментально, молоди размером не более 500–600 мкм можно давать в качестве корма осажденные водоросли *Ph. tricornutum*, *G.lanskaya*, *Pl.viridis* и *D.salina*. При этом она развивается и достигает размеров 1000 мкм, а в отдельных случаях и более. Вместе с тем животным, достигшим 1000 мкм; указанный корм является неполноценным для дальнейшего развития.

Вполне естественно возникает проблема получения корма, обеспечивающего процесс выращивания молоди до жизнестойкой стадии (в течение 30 сут). Одним из путей решения этой проблемы, на наш взгляд, является использование биоотложенных устричных плантаций. Известно, что энергетический эквивалент 1 г сухого вещества биоотложения составляет 38,2 кал летом и 32,3 кал в октябре. Для молоди трепанга, например массой 190–200 мг (пример по максимальной массе тела животного при заводском выращивании), суточная потребность в корме колеблется от 5,0 до 12,0 кал при оптимальных его концентрациях.

Собранные биоотложения можно хранить в течение длительного срока без потери пищевых качеств, т. е. их можно заготавливать впрок. Для этой цели разработан специальный способ хранения путем сушки из замороженного состояния.

Знание биологии размножения трепанга дает возможность удлинить сроки работ по получению молоди в заводских условиях за счет использования особенности животных неодновременно созревать в различных районах залива Петра Великого. Установленная сумма тепла, необходимого для нормального хода гаметогенеза и наступления нереста трепанга, позволяет составлять графики повышения температуры воды в сосудах с производителями для каждого конкретного района с учетом знаний его гидрологического режима.

С учетом особенностей созревания половых продуктов трепанга разработанный метод температурной стимуляции созревания половых продуктов и нереста его в искусственных условиях является наиболее оптимальным для этого процесса. Применение данного метода дает возможность в течение длительного периода (3–4 мес) получать в контролируемых условиях качественно зрелые половые продукты, обеспечивающие жизнестойкость потомства.

Полученные данные по изучению развития трепанга на ранних стадиях онтогенеза, выявленные особенности служат основой для разработки технологии разведения трепанга в промышленных масштабах и для конструирования приборов и установок, обеспечивающих процесс культивирования. Разработанная принципиальная схема культивирования трепанга (рис. 42) позволяет правильно организовать работу служб, обеспечивающих процесс культивирования.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МАРИКУЛЬТУРЕ

С развитием марикультуры возрастает число задач в области инженерного обеспечения лабораторных экспериментов и опытно-промышленных исследований. Наиболее важными в настоящее время представляются три направления исследований:

- разработка заводских систем культивирования;
- разработка морских гидробиотехнических сооружений для подвесного выращивания объектов марикультуры;
- разработка специализированных судов для работы на морских плантациях.

Первое направление имеет самую богатую историю, так как началось одновременно с лабораторными экспериментами в области марикультуры. Второе стало актуальным с появлением опытных плантаций для выращивания гребешка и морской капусты. Третье направление исследований приобретает особое значение в настоящее время, так как отсутствие специализированных судов сдерживает развитие промышленности.

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ С ЧАСТИЧНОЙ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ ВОДЫ

Ведение морского хозяйства по типу сельского влечет за собой создание устройств, обеспечивающих наилучшие условия для культивирования. Речь идет об устройствах, управляющих качеством воды в процессах стимулирования размножения, инкубирования, выращивания личинок, молоди и товарной продукции в бассейнах с принудительной водоподкачей.

В настоящее время разработаны промышленные устройства, предназначенные в основном для выращивания рыбы в пресной воде [1, 6]. Применительно к задаче выращивания пресноводных рыб разработаны основные принципы расчета таких систем и известны ориентировочные параметры, характеризующие установки [117, 118]. Интересы промышленности, однако, не ограничиваются разведением пресноводных рыб. В дальневосточном регионе уже сейчас существует потребность в установках, работающих на морской воде и в режиме изменяющейся солености, пригодных для выращивания спата моллюсков, иглокожих, рассады водорослей и молоди лососевых рыб. В силу того что пока не существует в деталях технологии культивирования этих объектов в заводских условиях, в настоящей работе рассматриваются вопросы построения полупромышленных установок, обеспечивающих достаточно широкие диапазоны регулирования отдельных параметров среды. В чис-

ло регулируемых параметров входит и соленость воды. Речь идет о стабилизации солености на каком-либо уровне (от 0 до 35‰) и о программном изменении солености. Например, при проведении смолтификации лососевых задается режим изменения солености воды от пресной до заданного уровня.

Принципы построения таких систем, как совокупности аппаратов, приборов и узлов, определяются требованиями культивируемого объекта к среде обитания. К главным физико-химическим показателям среды обитания следует отнести температуру, уровень насыщения кислородом, соленость, углекислоту, щелочность, рН, аммиак, нитриты, нитраты, фосфаты, сероводород, прозрачность. Этот перечень может быть продолжен в связи со спецификой жизнедеятельности объекта.

Структура и содержание требований объекта культивирования к устройству водоподготовки могут быть изложены в виде биоинженерного описания объекта [124]. Это описание дано в виде примера культивирования несуществующей в природе рыбы Омега. Описание включает биологию объекта, экономические предпосылки культивирования, способ культивирования и кормления, предполагаемые сооружения для культивирования, потребность в воде, оптимальную температуру, методы и пути стимуляции нереста, ускорение развития объекта за счет воздействия на параметры среды и биотоп, смертность, данные по метаболизму и дыханию. Эти сведения используются в дальнейшем для расчета устройств водоподготовки различных сооружений, годовых циклов роста, энергозатрат и т. д.

**Структурно-функциональная схема водоподготовки хозяйств марикультуры.** Сумма требований к системе водоподготовки реализуется совокупностью технических средств, которую независимо от состава используемых аппаратов и их габаритов принято именовать "акватрон". Структурная схема акватрона, выполняющего определенное количество требований, предъявляемых к устройствам такого типа, приведена на рис. 43. При наличии чистой воды, пригодной по всем параметрам для культивирования объекта, акватрон может состоять из устройств для закачивания и сброса воды и бассейна с объектом. Однако существующее положение таково, что имеется необходимость во введении практически всех указанных блоков.

**Б л о к 1** — устройство для предварительной обработки воды. Применяется в том случае, когда параметры воды, получаемой из источника водоснабжения, не отвечают заданным требованиям. В функции блока входят: фильтрация воды от механических примесей, удаление растворенных химических компонентов из пресной воды (например, обезжелезование), стерилизация с целью уничтожения патогенной микрофлоры и личинок живых организмов.

Практически все перечисленные задачи по предварительной обработке воды имеют готовые решения, используемые в практике.

**Б л о к 2** — устройство для очистки воды, загрязненной продукта-

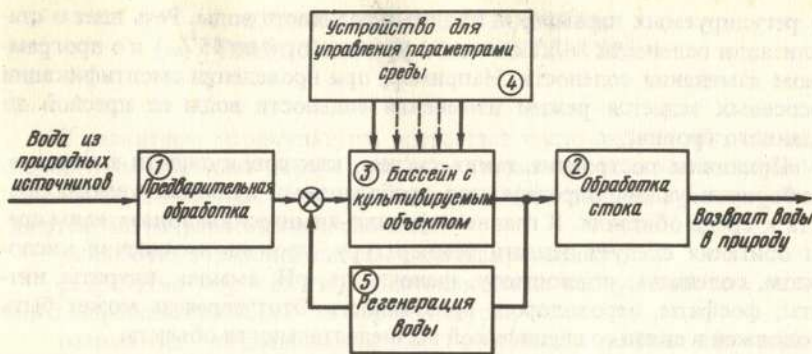


Рис. 43. Структурная схема акватрона

ми метаболизма животных, перед сбросом в естественные водоёмы. Задачи определяются типовыми требованиями для всех водопользователей. Хотя речь идет о сбросе воды, служащей средой обитания живых организмов, однако в ряде случаев может возникнуть вопрос об очистке воды от остатков корма и продуктов метаболизма животных, так как концентрация последних значительно выше, чем в природных условиях. Соответственно увеличивается концентрация токсичных веществ, превышая в ряде случаев предельно допустимые концентрации.

Например, установлено, что существует реальная проблема загрязнения водной среды, обусловленная деятельностью хозяйств, разводящих лососевых рыб. Причина заключается в сбросе вод, загрязненных остатками корма, а также химикалиями и лекарственными препаратами, используемыми при лечении болезней и уничтожении патогенных бактерий и паразитов.

Б л о к 3 — бассейн, наполненный водой, в которой содержатся культивируемые объекты. Это центральное звено системы, результат функционирования которого определяет качество всей системы в целом. Конструктивное оформление полностью зависит от особенностей культивируемого объекта, определяющих форму, цвет, размеры, способ подачи свежей воды, удаление отработанной воды и грязи, конструктивные элементы, определяющие форму течений внутри бассейна, субстраты для оседания и убежища.

Состояние среды в бассейне определяется дыханием и метаболизмом объектов культивирования, выносом продуктов метаболизма, т. е. кратностью смены воды, качеством свежей воды, поступающей в бассейн, воздействием, поступающим от блока 4.

Б л о к 4 — устройство для управления физическими параметрами среды. Максимальный перечень воздействия включает управление температурой воды, устранение перенасыщения воды газом  $CO_2$  (деаэрация воды), перенасыщение воды кислородом, управление соленостью воды,

освещенностью бассейнов. Функции контроля за качеством воды и содержанием токсичных продуктов метаболизма выполняются блоком 5.

Б л о к 5 — устройство для регенерации воды с целью ее повторного использования. В случае, если система полностью замкнута, качество воды в бассейнах зависит от эффективности и надежности работы блока регенерации. При частичной подмене воды удаление загрязнений из системы происходит также вместе со стоком. В состав блока регенерации, как правило, входят устройства, выполняющие следующие операции: механическая фильтрация или седиментация взвешенных в воде частиц грязи (остатков корма, фекалий, погибших животных), биологическая фильтрация, химическая фильтрация, регулирование pH и щелочности воды, уничтожение патогенной микрофлоры.

Технологическая схема системы водоподготовки многоцелевого назначения. Неотъемлемой частью проектирования систем водоподготовки является разработка технологической схемы. При этом используются накопленная информация о существующих системах, а также сведения о культивируемом объекте. В разделе описывается технологическая схема водоподготовки, предназначенная для полупромышленных экспериментальных работ с несколькими объектами последовательно. Предприятия марикультуры Дальневосточного региона, расположенные на морском побережье, как правило, имеют возможность культивировать несколько объектов последовательно. Например, для некоторых предприятий в Приморье, занимающихся культивированием рассады морской капусты (с мая по сентябрь), рационально заниматься культивированием лососевых рыб (с октября по апрель). Аналогичным образом сочетаются в одном предприятии процессы культивирования молоди трепанга и молоди лососевых рыб.

Для обеспечения экспериментальных работ предлагается система водоподготовки, состоящая из параллельно работающих, частично замкнутых по воде систем (модулей) и устройств, обеспечивающих подачу морской и пресной воды, сжатого воздуха, холодного и нагретого теплоносителей. Такое построение системы обеспечивает автономность управления параметрами внутри модуля, следовательно, отвечает требованиям эксперимента.

Технологическая схема модуля (рис. 44) независимо обеспечивает требуемые технологией параметры среды в бассейнах. Блок регенерации модуля состоит из циклона, механического фильтра и биофильтра. Перекачивание воды осуществляется насосами  $H1$  и  $H2$ . В замкнутую цепь циркуляции воды включены исполнительный орган регулятора температуры — теплообменник  $T$ , бак продувки, служащий для аэрации и дегазации воды, и оксигенатор, к которому через редуктор подключен баллон с кислородом. Система регулирования температуры воды в бассейнах включает два трехходовых вентиля  $BT-1$  и  $BT-2$ , регулирующих подачу холодной и горячей воды в теплообменник, два соленоидных вентиля  $CBH$  и  $CBO$ , регулятор температуры  $PT$  и датчик температуры  $DT$ .

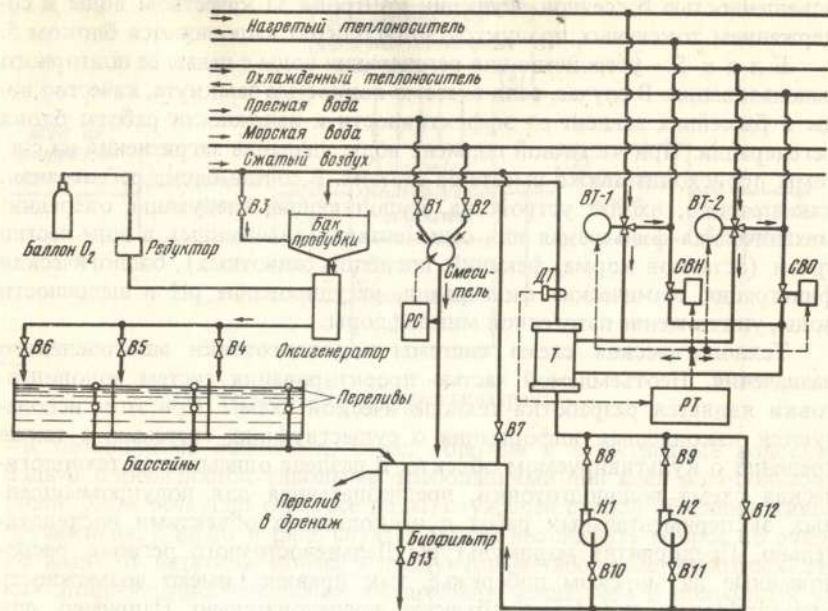


Рис. 44. Замкнутая система водоподготовки многоцелевого назначения

Подача воды в систему осуществляется из пресного и морского водопроводов через смеситель, который управляется регулятором солености РС. Этот регулятор включает блок задания, измерения и сравнения электропроводности воды, пропорционально – интегральный регулятор и исполнительный механизм.

Для переключения потоков воды и воздуха модуль снабжен запорными вентилями В1 и В12.

Модуль работает как частично замкнутая система по воде. Отработанная вода, загрязненная продуктами жизнедеятельности культивируемых организмов, поступает через переливы в бассейнах по трубопроводам в циклон, удерживающий крупные частицы грязи, затем – в механический фильтр, где отделяются мелкие фракции грязи, после этого – в биофильтр, усваивающий органику. Максимальная скорость прокачивания воды – один объем бассейна в час. Подача воды в каждый бассейн регулируется вентилями В4, В6.

Очистка механического фильтра осуществляется вручную, а грязь, накопившаяся в циклоне, сливается через вентиль В13. Очистка биофильтра осуществляется путем подачи сжатого воздуха в систему труб через вентиль В7. Эти трубы закладываются в тело биофильтра и имеют перфорированные отверстия по всей длине. Сущность очистки заключается в том, что мелкий ил, накопившийся в верхнем слое фильтра, взму-

чивается воздухом и уходит вместе с обратным током воды в дренаж через переливное отверстие.

Регулирование температуры в бассейнах осуществляется путем теплообмена между горячими и холодными теплоносителями и циркулирующей водой. Если необходим подогрев воды, то поступает нагретый теплоноситель, а доступ холодного полностью перекрыт трехходовым клапаном ВТ-2 и соленоидным вентилем СВ0. При потребности в охлаждении полностью перекрывается нагретый теплоноситель приборами ВТ-1 и СВН. Датчик температуры регулятора устанавливается на выходе из теплообменника.

Свежая вода добавляется в систему непосредственно в биофильтр, а излишки стекают из него через перелив. Регулирование подачи свежей воды в систему осуществляется вентилями В1 и В2. Соленость протекающей воды регулируется путем воздействия на рабочий орган смесителя, обеспечивающего смешивание соленой и пресной воды в нужных пропорциях.

Связь модуля с системой водоподготовки осуществляется по семи трубопроводам. Из них четыре служат для подачи и возврата теплоносителей, два – для подачи пресной и морской воды и один – воздуха.

Режим работы системы задается путем выбора кратности протока воды, задания уставок температуры, солености, уровня насыщения кислородом и скорости подачи свежей воды. Степень замкнутости системы определяется эффективностью устройств регенерации и требованиями к качеству воды на разных стадиях культивирования животных.

Система управления рассчитана на обеспечение следующих диапазонов регулирования параметров среды: температура от 5 до 25°C, точность не менее  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ; насыщение кислородом от 100 до 200%, точность не менее  $\pm 10\%$ ; соленость от 0 до 34‰, точность не менее  $\pm 0,3\text{‰}$ ; скорость протока от 0 до 1 объема бассейна в час.

Обеспечивающие системы предназначены для снабжения модулей морской и пресной водой, сжатым воздухом, нагретым и холодным теплоносителями. Схемы подачи морской и пресной воды выполнены традиционным способом с использованием напорных баков, обеспечивающих постоянство давления в трубопроводах. Схема подачи сжатого воздуха предусматривает наличие ресивера и фильтра очистки воздуха от масла.

При проведении экспериментальных работ требования к системе таковы, что в одних модулях возникает потребность в охлаждении воды, а в других – в нагревании. Таким образом, теплогенерирующие устройства должны обеспечивать три режима работы: нагрев, охлаждение, нагрев и охлаждение одновременно.

Эти режимы обеспечиваются следующими источниками: горячим теплоносителем от котельной установки или теплоцентрали; компрессионным тепловым насосом.

Сущность использования теплового насоса в данном случае заключа-

ется в том, что он может быть использован во всех трех указанных режимах работы. При этом подогрев воды производится в конденсаторе машины, а охлаждение — в испарителе. Коэффициент полезного действия в этом случае более 100%. Особенно эффективно использование теплового насоса в режиме подогрева и охлаждения одновременно.

Расчет потребности в воде для системы с частичной регенерацией. Объектом расчета является частично замкнутая система водоснабжения бассейна, структурная схема которой приведена на рис. 45.

Целью данного раздела является определение взаимосвязи параметров, характеризующих систему водоподготовки (расход свежей воды, требуемый проток через бассейн), с параметрами, характеризующими объект (продукты метаболизма, дыхание). Расчет производится для оптимального состояния системы, под которым здесь предполагается состояние равновесия между параметрами, когда на определенном отрезке времени можно считать неизменными температуру воды, видовой состав и численность микрофлоры биофильтра, массу животных, находящихся в бассейнах, режим кормления и скорость выделения продуктов метаболизма, прочие параметры среды, влияющие на ход процесса культивирования.

Одним из наиболее важных параметров, участвующих в расчете, является удельное содержание продуктов метаболизма в воде  $C_M$  (в мг/л). Известно, что концентрация двух наиболее токсичных продуктов метаболизма является лимитирующей для системы: аммиак в неионизированной форме  $NH_3$  и нитриты  $NO_2$ . При сменяемости воды в системе менее определенного количества проявляется лимитирующее действие нитратов  $NO_3$ .

Таким образом, в расчете системы должны участвовать три параметра, характеризующие продукцию метаболизма (в мг/л) и удельное содержание аммиака в воде —  $C_{NH_4}$ , нитритов  $C_{NO_2}$ , нитратов  $C_{NO_3}$ .

Однако для рассматриваемого здесь состояния равновесия системы подразумевается наличие зрелого биофильтрата, т. е. такого, который имеет две уравновешенные колонии бактерий, осуществляющих превращение аммиака в нитриты и нитраты как конечный продукт. Для такой системы исключено значительное поступление нитритов в бассейны, поэтому в дальнейших расчетах параметр  $C_{NO_2}$  не рассматривается. Так как предметом расчета является частично замкнутая система с постоянной подпиткой свежей водой, необходимость в расчетах  $C_{NO_3}$  также отпадает.

Для определения точки, в которой берется параметр, например концентрация продуктов метаболизма или концентрация кислорода, вводятся индексы: 0 — источник водоснабжения; 1 — ввод в бассейн; 2 — ввод в биофильтр; 3 — вывод из биофильтра. Например,  $C_{NH_4}^0$  — удельное содержание аммиака в воде источника водоснабжения.

Индексом "п" обозначается предельно допустимая концентрация аммиака в воде с культивируемыми объектами;  $M$  — продукция мета-

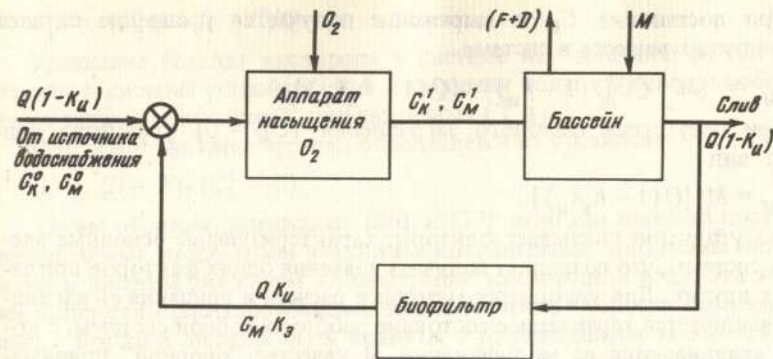


Рис. 45. Структурная схема системы водоснабжения

болизма животных, мг/л;  $M_{NH_4}$ ,  $M_{NO_2}$ ,  $M_{NO_3}$  — продукты метаболизма по каждой из составляющих, мг/ч;  $C_k$  — удельное содержание кислорода в воде бассейна, мг/л.

Для обозначения концентрации в воде в различных точках системы используются уже введенные индексы от 0 до 3. Например,  $C_k$  — концентрация кислорода в воде источника водоснабжения;  $C_k^2$  — нижнее допустимое технологией значение насыщения воды кислородом в бассейне, мг/л;  $C_k^п$  — предельное допустимое технологией значение насыщения воды кислородом в бассейне, мг/л;  $Q$  — скорость протока воды через бассейн, л/ч,  $V$  — объем бассейна, л,  $\tau$  — время, ч;  $k_n$  — коэффициент вторичного использования воды, стекающей из бассейна и проходящей очистку на биофильтре ( $k_n = 1$  для полностью замкнутой системы);  $k_3 = C_M^3/C_M^2$  — передаточный коэффициент биофильтра; при  $k_3 = 1$  степень очистки равна 0, при  $k_3 = 0$  происходит 100%-ная очистка;  $D$  — расход кислорода на дыхание животных, мг/л;  $F$  — скорость диффузии кислорода при перенасыщении воды, мг/л.

Удельное содержание продуктов метаболизма в воде бассейна определяется уравнением баланса веществ на выходе и входе

$$C_M = (M - (C_M - C_M^1) Q) \tau / V.$$

Решение относительно  $C_M$

$$C_M = (M + C_M^1 Q) \tau / (V - Q \tau).$$

Уравнение для случая статики ( $\tau \rightarrow \infty$ ) получается после раскрытия неопределенности типа  $\infty/\infty$ :

$$C_M = (M + C_M^1 Q) \tau / (V - Q \tau).$$

Концентрация продуктов метаболизма в воде, притекающей в бассейн, складывается из фонового загрязнения вод источника и загрязнения вод, поступающих из биофильтра.

При постановке  $C_M$  в выражение получается уравнение баланса загрязняющих веществ в системе

$$C_M = [M + QC_M^0(1 - k_{и})] / [Q(1 - k_{з}k_{и})].$$

При отсутствии фонового загрязнения ( $C_M^0 = 0$ ) уравнение принимает вид

$$C_M = M / [Q(1 - k_{з}k_{и})].$$

Это уравнение связывает факторы, характеризующие основные элементы системы, что позволяет получить значения одних факторов при заданных других. Для упрощения методики расчета и придания ей наглядности выбирается характерное состояние работоспособной системы, с которой сравниваются ее модификации. В качестве "опорной" принимается разомкнутая система ( $k_{и} = 0$ ). Выражение для разомкнутой системы принимает вид

$$C_M = M/Q.$$

При расчете реальной системы величины  $M$  и  $C$  являются исходными. Значение  $C_M$  может быть задано в виде  $C_M$ . С помощью уравнения по известным  $C_M^п$  и  $M$  находится минимальное значение протока воды через бассейн  $Q^п$ , обеспечивающее уровень концентрации продуктов загрязнения не ниже заданного.

После подстановки значения  $C_M = M/Q^п$  и преобразования получаем

$$Q/Q^п = (1 - k_{з}k_{и})^{-1}. \quad (25)$$

В этом выражении отношение  $Q/Q^п$  показывает, во сколько раз следует увеличить проток воды через бассейн по сравнению с разомкнутой системой, если  $k_{з}$  и  $k_{и}$  отличны от 0. Результаты расчетов для ряда значений  $k_{з}$  и  $k_{и}$  представлены в табл. 8.

Таблица 8

Зависимость величины протока от коэффициентов  $k_{з}$  и  $k_{и}$

$k_{и}$	$k_{з}$				
	0,95	0,9	0,8	0,6	0,4
0,2	1,23	2,22	1,19	1,18	1,08
0,4	1,61	1,56	1,47	1,31	1,19
0,6	2,32	2,17	1,92	1,56	1,31
0,8	4,16	3,57	2,77	1,92	1,47
0,9	6,89	5,26	3,57	2,17	1,56

Аналогичным образом получается уравнение баланса кислорода в водах бассейна

$$C_k = (C_k^1 Q - D - F)/Q. \quad (26)$$

Уравнение баланса кислорода в системе не составляется, так как наличие в системе устройства для насыщения воды кислородом обеспечивает заданное значение  $C_k^1$  при различных  $C_k^0$  и  $C_k^3$ .

Потребное значение протока определяется из уравнения

$$Q = (D - F) / (C_k^1 - C). \quad (27)$$

Таким образом, выражения (26) и (27) дают два значения протока, определяемые предельным значением концентрации продуктов метаболизма и нижним значением концентрации кислорода в воде. Эти значения являются ориентировочными при назначении скорости протока. Реальные протоки должны быть приняты с определенным запасом, с тем чтобы нивелировать неравномерность протока по сечению бассейна и не допустить критических ситуаций при случайных изменениях баланса продуктов метаболизма и кислорода в системе.

**Выбор элементов блока регенерации воды.** Блок регенерации воды предназначен для нейтрализации продуктов жизнедеятельности культивируемых организмов и регулирования физико-химического состава водной среды. В зависимости от характера технологического процесса в состав блока могут быть включены как отдельные элементы, способствующие восстановлению качества циркулирующей воды (фильтры, аэраторы, стерилизаторы и т. д.), так и их комбинации. При этом чем выше степень замкнутости системы ( $k_{и}$ ), тем большее число элементов вводится в этот блок и шире диапазон применяемых способов очистки. Устройства, входящие в состав блока регенерации, характеризуются определенным (механическим, биохимическим, физическим и т. д.) методом воздействия на водную среду и нейтрализуют поэтому соответствующий тип загрязнений. Проектирование блока регенерации состоит в определении технологической схемы очистки, выборе необходимых комплектующих элементов и их расчете.

В технологическом цикле регенерации воды на первом месте находится процесс механической очистки, заключающийся в осаждении или задержании взвешенных частиц грязи (остатков корма, фекалий и т. д.) и последующем удалении их из системы. Важность данного этапа регенерации воды обусловлена тем, что, например, в процессе культивирования лососей в стоках рыбоводных ферм содержится от 30 до 190 мг/л загрязняющих веществ, причем до 35 мг/л составляют взвешенные частицы. При очистке бассейнов концентрация взвесей еще более возрастает. Для обеспечения нормальных условий роста водных организмов содержание взвешенных частиц должно быть не более 1–2 мг/л при инкубации и в пределах 2–5 мг/л на стадии подращивания. Для механической очистки воды в зависимости от характера и количества загрязнений используются устройства различных типов. При содержании взвесей в воде более 50 мг/л осуществляется предварительное осветление в горизонтальных отстойниках, гидроциклонах и других устройствах sedi-

ментации. Для удаления фито- и зоопланктона успешно используются вращающиеся барабанные микрофильтры с размерами отверстий на сетках от 20 до 60 мкм. Более тонкая очистка воды (с содержанием взвесей менее 50 мг/л) достигается с помощью медленных или скорых фильтров с песчано-гравийной или синтетической загрузкой, оборудованных устройством для обратной промывки фильтрующего слоя. В редких случаях для снижения концентрации коллоидных частиц и микроорганизмов применяются инфузорно-земляные фильтры [142].

Биологическая фильтрация представляет собой комплекс процессов разрушения органических продуктов жизнедеятельности водных организмов, осуществляемых различными видами микроорганизмов. Основной задачей биофильтрации является минерализация и нитрификация азотсодержащих растворенных органических веществ (РОВ) гетеротрофными и автотрофными бактериями. В зависимости от конструкции микрофлора биофильтров развивается на различных субстратах. Наибольшее распространение получили биофильтры погружного и орошаемого типов с загрузкой из песка, гравия, антрацита, цеолита и синтетических элементов различных размеров и формы. В пресноводных системах чаще используются устройства с активным илом и вращающиеся дисковые и барабанные фильтры с загрузкой из пустотелых пластиковых шаров [6, 87]. Во избежание накопления конечных продуктов минерализации в системах с высокой степенью замкнутости ( $k_n \rightarrow 1$ ) используются устройства денитрификации нитратов в анаэробной среде, а также культивируются микроводоросли и высшие растения.

Регулирование pH и щелочности воды в системах замкнутого типа наиболее просто и эффективно осуществляется путем использования в качестве загрузки биофильтров кальцинированных материалов. Наиболее подходят для этой цели мелкодробленые створки моллюсков (устриц и др.), известковый и доломитовый щебень и мраморная крошка. Другой путь стабилизации pH среды состоит в добавлении в воду известки или специальных реагентов (карбонатов и бикарбонатов).

Уменьшение концентрации растворенных органических веществ (РОВ) возможно также при помощи ряда способов химической фильтрации. Удаление РОВ при этом осуществляется на молекулярном уровне путем адсорбции на пористом веществе, фракционирования (флотацией) или окислением. Наилучшими адсорбентами являются активированный уголь, ионообменные смолы и натуральные цеолиты, которые эффективны также в целях удаления аммиака, запаха и цветности воды. Удаление из воды поверхностно-активных органических веществ производится с помощью специальных устройств (флотаторов) вместе с пеной, образующейся в результате продувки воды сжатым воздухом. Одновременно происходит детоксификация воды за счет окисления аммиака и концентрирование в пене взвешенных частиц грязи [138]. В результате флотации повышается pH воды и снижается перманганатная окисляемость. Для разрушения трудноокисляемых бактериями органических

соединений все большее применение находит обработка воды озоном. В процессе озонирования воды происходят также окисление аммиака и нитритов до нитратов и уничтожение патогенной микрофлоры [142].

Аэрация воды в системах с обратным водоснабжением позволяет поддерживать в бассейнах оптимальную концентрацию растворенного кислорода, который интенсивно потребляется культивируемыми организмами, а также бактериальной флорой, развивающейся в биофильтрах, на стенках труб, емкостей и т. д. Существует множество способов аэрации воды. Наиболее распространенные механические перемешивающие устройства — это каскадные аэраторы, эжекторы различных типов и керамические распылители воздуха. Все эти устройства недостаточно эффективны и позволяют лишь в лучшем случае получать 100%-ный уровень насыщения воды кислородом.

В последние годы с целью обеспечения роста плотности посадки объектов культивирования все шире применяется аэрация воды техническим кислородом в специальных устройствах — оксигенаторах. Содержание кислорода при этом повышается в 2–3 раза по сравнению с обычными методами аэрации. В результате аэрации и перемешивания воды осуществляется еще один, не менее важный процесс, состоящий в удалении из воды избыточных газов ( $CO_2$ ,  $N_2$  и т. д.), образующихся вследствие деятельности биофильтров, дыхания организмов и других явлений. Особенно необходимо регулирование концентрации растворенных в воде газов на выходе из устройства термоподготовки, в котором изменение температуры воды может сопровождаться перенасыщением ее азотом и вызвать поражение объектов культивирования.

Стерилизация воды предотвращает инфекционные заболевания водных организмов, особенно опасные при высоких плотностях посадки. Наиболее эффективными методами стерилизации воды являются: фильтрация воды под давлением, ультрафиолетовое облучение, озонирование, обработка электрическим разрядом и специальными препаратами на основе антибиотиков [142]. На фильтрах задерживаются простейшие и другие организмы размером до 15 мкм, а более мелкие болезнетворные организмы (бактерии, вирусы и т. д.) разрушаются ультрафиолетовым облучением или озоном.

Компоновка элементов, входящих в блок регенерации воды, определяется конкретными условиями проектирования и эксплуатации системы. Поскольку многие из описанных выше способов обработки воды отличаются сложностью и требуют дорогостоящего оборудования, на практике широкое распространение получили наиболее простые, надежные и дешевые способы очистки.

Анализ опыта функционирования существующих систем регенерации позволяет установить, что достижение эффективной очистки возможно лишь при включении в схему следующих последовательно расположенных элементов: отстойник или гидроциклон, механический фильтр, биологический фильтр с буферной загрузкой, устройства аэрации и ультра-

фиолетовой стерилизации воды. Ряд вариантов данной схемы регенерации воды был апробирован на экспериментальных аквариумах небольшого объема. Результаты испытаний этих устройств послужили основой при разработке блоков регенерации воды для аквасистемы многоцелевого назначения и системы оборотного водоснабжения лососевых заводов. В ходе проведения экспериментов было установлено, что при такой последовательности этапов очистки воды основная масса взвешенных частиц корма и фекалий задерживается в гидроциклонах и механических фильтрах и не загрязняет биофильтр. Это способствует снижению уровня РОВ в системе, стабилизирует нитрифицирующую деятельность биофильтра и увеличивает срок его работы между очередными промывками фильтрующего слоя. Последнее особенно важно, поскольку при промывках разрушается бактериальная пленка и резко снижается численность нитрифицирующих и других видов бактерий, следовательно, и очищающая способность фильтра. Устройство стерилизации воды располагается после биофильтра, а установки газообмена и насыщения кислородом завершают процесс регенерации воды перед ее поступлением в бассейн с культивируемыми организмами.

**Расчет устройств биологической фильтрации.** Многоплановость и сложность процесса регенерации воды создают определенные трудности при проведении расчетов систем водоподготовки с оборотным водоснабжением. На основе опыта эксплуатации хозяйств аквакультуры в различных странах за последние 10–15 лет получено немало данных о расчете и конструировании отдельных устройств очистки воды. Однако до настоящего времени не определены единый подход и оптимальные критерии расчета системы регенерации воды в целом. Существующие методики расчета ряда устройств очистки разрабатывались для конкретных условий и объектов культивирования и не могут использоваться как универсальные. Это подтверждается значительным разбросом расчетных величин, получаемых при использовании методик разных авторов. Поэтому, по имеющимся в литературе данным, можно осуществлять лишь ориентировочные расчеты отдельных элементов блока регенерации и определять их основные конструктивные параметры.

Частичная замена воды в рециркуляционных системах в пределах 5–10% в сутки позволяет поддерживать на безопасном уровне концентрацию нитратов, не прибегая к денитрификации. Наиболее токсичными для культивируемых объектов являются ионизированный аммиак и нитриты. Поэтому основное внимание при расчете блока регенерации должно уделяться правильному выбору мощности биологического фильтра, несущего основную нагрузку по нейтрализации продуктов метаболизма. В практике зарубежного и отечественного рыбоводства широко применяются несколько типов биофильтров, различающихся по конструкции и принципу действия: погружные и орошаемые фильтры с песчано-гравийной и синтетической загрузкой, вращающиеся дисковые и барабанные фильтры, азотанки с активным илом и т. д. Для каждо-

го типа биофильтра разработаны методики расчета, основные принципы конструирования и оптимальные режимы эксплуатации. Далее приводятся наиболее признанные и апробированные методики расчета биофильтров с гранулированной загрузкой, базирующиеся полностью на эмпирических данных. Одним из фундаментальных исследований в этой области является работа Саэки [135]. По его рекомендации безопасные условия культивирования могут поддерживаться в том случае, если масса песка в фильтре в 30 раз превышает массу животных. Это соотношение весьма приближенно, так как скорость метаболизма различных объектов культивирования может существенно различаться и изменяться в процессе их роста.

В основу более гибкого метода расчета биофильтров положен известный процесс потребления бактериями кислорода из обрабатываемой воды. Взаимосвязь скорости процессов очистки (минерализации и нитрификации) с величиной потребления кислорода при фильтрации (ПКФ) позволяет использовать последнюю в качестве показателя степени очищения морской воды [108]. В этом методе отражена степень воздействия основных конструктивных параметров фильтра на его очищающую способность. Наиболее существенное влияние оказывают гранулометрический состав загрузки и время контакта воды с фильтрующим слоем. При малых скоростях фильтрации (0,5–4,0 см/мин) в фильтрах с мелкой загрузкой очищение воды интенсивнее происходит в верхнем слое, составляющем 10–20% толщины. Причиной этого являются зависимость скорости окисления аммиака от его начальной концентрации и неравномерность распределения бактерий в толще загрузки. В результате обобщения данных была получена зависимость для определения максимальной очищающей способности фильтра, выраженной в единицах ПКФ, с использованием основных конструктивных параметров фильтра [109]

$$Y = 10W / [0,7/v + 0,95 \cdot 10^3 / (G\delta)], \quad (28)$$

где  $Y$  – предел очищающей способности фильтра, мг/мин;  $W$  – площадь поверхности фильтра, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость фильтрации, см/мин;  $G$  – коэффициент размера частиц загрузки;  $\delta$  – толщина фильтрующего слоя, см.

Коэффициент  $G$  определяется по формуле

$$G = \sum_{i=1}^n x_i / R_i, \quad (29)$$

где  $x_i$  – соотношение объемов фракций загрузки, %;  $R_i$  – размеры гранул  $i$ -той фракции загрузки биофильтра, мм.

Аналогичным образом был выражен в единицах ПКФ процесс метаболизма культивируемых организмов и получено выражение для определения степени загрязнения воды продуктами обмена [109]. С использованием данных по интенсивности метаболизма красного тая в зависимости от массы рыбы и режима кормления это выражение имеет вид

$$x = \sum_{j=1}^n (B_j^{0,544} \cdot 10^{-2}) + 0,051m, \quad (30)$$

где  $x$  — загрязненность воды продуктами метаболизма в единицах ПКФ, мг/мин;  $n$  — количество культивируемых объектов;  $B$  — масса одного экземпляра культивируемого объекта, г;  $m$  — масса корма в сутки, г.

Условие, равновесного состояния системы биофильтр — бассейн с животными имеет вид  $Y \geq x$ , или

$$10W / [0,7/v + 0,95 \cdot 10^3 / (G\delta)] \geq \sum_{j=1}^n (B_j^{0,544} \cdot 10^{-2}) + 0,051m. \quad (31)$$

При выборе переменных величин, входящих в выражение (31), следует учитывать, что через фильтр в течение часа должно проходить от 1–2 до 3–5 объемов воды в системе [97, 142]. Рекомендуемая гидравлическая нагрузка на биофильтр составляет около 40 л/м<sup>2</sup>·мин [90]. Расчет биофильтра производится с помощью графических зависимостей, полученных на базе формулы (31) [109]. Левая часть выражения (31) универсальна для фильтров с песчано-гравийной загрузкой, правая же часть характеризует частичный случай культивирования, поэтому определение максимальной плотности посадки других животных по формуле (30) дает приближенные результаты. Кроме того, этот метод применим только для морских систем и не отражает влияния параметров водной среды (температуры, рН и т. д.) на эффективность работы биофильтров.

По мере накопления опытных данных по биофильтрам, находящимся в эксплуатации, появилась возможность вести их расчеты по аналогии. Эти методики базируются на ряде закономерностей функционирования наиболее важной группы микроорганизмов биофильтров (нитрифицирующих бактерий). Эффективность очистки воды и особенно скорость нитрификации определяются тремя основными факторами: температурой, временем контакта воды с фильтрующим слоем и активной площадью гранулированной загрузки фильтра [118, 125, 141]. Последняя определяется размерами зерен и характером их поверхности. Чрезмерное уменьшение размера загрузки может привести к быстрому засорению фильтра и образованию дополнительного количества аммония в результате окисления загрязняющих веществ, застрявших в толще фильтра. Таким образом, выбор гранул фильтра определяется с учетом возможностей системы водоподготовки в целом (наличием отстойников и их эффективностью, требуемой скоростью протока воды и т. п.), что затрудняет использование этого фактора с целью управления очищающей способностью фильтра. Поэтому на первый план выдвигается фактор времени обработки воды. Увеличение времени контакта всего лишь с 30 до 38 мин приводит к повышению нитрифицирующей способности фильтра с 48 до 60% (по окисляемому аммонiu) [118].

Эффективность фильтра можно рассчитать в зависимости от времени обработки воды

$$E_A = 96T_m,$$

где  $E_A$  — эффективность фильтра, выраженная в процентах удаления аммония при температуре воды 12,2°C;  $T_m$  — время контакта воды с фильтрующим слоем, ч.

Эта формула была получена при определенных экспериментальных условиях и, следовательно, может использоваться при расчетах системы с гидравлической загрузкой на фильтр не выше 100 л/м<sup>2</sup>·мин при температуре 10–15°C, времени контакта не более 1 ч и максимальной нагрузке аммония на фильтр, не превышающей 1,0 г/м<sup>2</sup> в сутки. В данном случае и в дальнейших рассуждениях под площадью биофильтра понимается суммарная активность поверхности гранул фильтрующего слоя, заселенная бактериальной флорой. При оптимальной загрузке фильтра аммиаком (в пределах 0,75–1,0 г/м<sup>2</sup> в сутки) его очищающая способность достигала значений 150–220 мг/м<sup>2</sup> в сутки. С дальнейшим ростом концентрации аммония в воде скорость нитрификации уменьшается, что может являться следствием параллельного увеличения уровня растворенной органики, ингибирующей активность нитрифицирующих бактерий [118]. Существенное влияние на жизнедеятельность бактерий биофильтра оказывает температурный фактор. Согласно данным, полученным для погружного гравийного фильтра со средним размером гранул около 18 мм и концентрацией аммония на входе 0,5 мг/л, скорость нитрификации возрастает от 200 до 1100 мг/м<sup>2</sup> в сутки, т. е. более чем в 5 раз, при увеличении температуры воды от 4–5° до 20°C [141].

За последние годы накоплено уже значительное количество данных, характеризующих эффективность работы многих типов гравийных биофильтров при различных режимах эксплуатации. Некоторая противоречивость и трудности сопоставления этих данных затрудняют объединение их в единую методику расчета. Однако имеется возможность достаточно точно оценить производительность фильтра в любых конкретных условиях и выразить ее в виде количества аммиака, окисляемого за сутки одним квадратным метром активной поверхности загрузки. Эта величина, называемая также удельной окислительной способностью биофильтра ( $\mathcal{K}_{уд}$ ), определяется главным образом степенью зрелости и условиями работы биопленки и не зависит от размера и формы загрузки. Зная величину  $\mathcal{K}_{уд}$  выбранного типа биофильтра, можно определить площадь активной поверхности загрузки ( $\Phi$ ), необходимую для окисления суточной продукции аммония в проектируемой системе культивирования. Но для этого необходимо знать загрузенность системы аммонием.

Расчет биологического фильтра в общем случае заключается в определении площади поверхности субстрата, заселяемого бактериями, достаточного для окисления заданного количества аммония, если известна удельная окислительная способность данного типа фильтра. Формула расчета имеет вид

$$\Phi = M / \mathcal{K}_{уд},$$

где  $\Phi$  — площадь поверхности загрузки биофильтра, м<sup>2</sup>;  $M$  — продукция аммонийного азота в системе культивирования, г/сут;  $\mathcal{K}_{уд}$  — окислительная способность биофильтра, г/м<sup>2</sup> N<sub>4</sub> в сутки.

Для окончательного определения параметров фильтра, его объема, скорости фильтрации, гидравлической нагрузки и т. д. необходимо выбрать фильтрующий материал. Влияние размеров гранул на площадь поверхности фильтра, приходящуюся на единицу его объема ( $\text{м}^2/\text{м}^3$ ) [141]:

Размер частицы фильтра, мм	2,5	5	7,5	10	15	20	25	50	75
Рабочая поверхность фильтра, $\text{м}^2/\text{м}^3$	432	732	500	360	266	186	150	77	50

Для выбранного материала загрузки определяется объем фильтра, обеспечивающий требуемую поверхность субстрата. Толщина загрузки биофильтра должна быть не менее 1 м с целью исключения неравномерного прохождения воды через фильтрующий слой.

С целью создания благоприятных условий для деятельности аэробных бактерий в ряде случаев применяют подачу воздуха в толщу фильтра. Расчет требуемого количества воздуха проводится с учетом его потребности для окисления аммиака до нитритов. В среднем требуется на 2 мг аммония не менее 4,57 мг кислорода. Общее же потребление кислорода биофильтром составляет около 150% от потребностей на нитрификацию [141].

Очищающая способность нового биофильтра увеличивается по мере роста численности нитрифицирующих бактерий и стабилизируется при достижении максимальной плотности популяции. В обычных условиях развитие микрофлоры биофильтров происходит за 40–60 дней в зависимости от температуры воды. Как правило, процесс "созревания" фильтров проводится при частичной загрузке системы культивируемыми организмами с заданными технологиями и режимом кормления. По мере развития отдельных видов нитрифицирующих бактерий в системе происходит поочередно увеличение и снижение концентрации аммиака, а затем нитратов. Уменьшение концентрации нитритов и появление нитратов свидетельствуют о стабилизации процесса нитрификации и готовности фильтра к работе.

С целью ускорения ввода в действие новых биофильтров применяются различные методы стимуляции путем "засева" гравийного субстрата культурами бактерий-нитрификаторов (*Nitrosomanas* и *Nitrobacter*) и подкормки специальными питательными средами. Для "засева" используется садовая земля или грунт из функционирующих фильтров в количестве около 1% от объема нового фильтра [92]. Основу питательных сред составляют аммонийные соли ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и т. д.), карбонат кальция и другие компоненты. По данным разных авторов, максимальное увеличение скорости роста нитрификаторов имеет место при концентрациях аммония в питательной среде от 1–2 мг/л [102] до 10–20 мг/л [125]. В процессе "созревания" биофильтров рекомендуется повышать температуру воды до 20–26°C, а в последующем сни-

жать до заданного уровня (например, до 13–14°C в лососеводстве). Благодаря комбинированному методу активации микрофлоры сроки ввода в действие биофильтров сокращаются до 3–4 нед. Отсутствие органических веществ в питательных средах позволяет развивать в биофильтрах исключительно автотрофную микробную популяцию, что повышает их нитрифицирующую эффективность.

**Расчет устройств механической, физической и химической очистки.** Известно, что около 70% аммиака образуется в рыбоводной системе в результате окисления органических взвесей и крупных частиц грязи, оседающих на дно бассейнов, в фильтрах и т. д. Даже частичное задержание и удаление этих веществ из системы циркуляции позволяют нейтрализовать до 20% аммиака. Таким образом, если требуемый коэффициент эффективности системы 20%, то можно ограничиться блоком очистки, включающим только отстойник (с временем контакта не менее 1 ч) и аэратор [118]. Удаление из воды твердых частиц грязи любой крупности осуществляется главным образом в отстойниках, гидроциклонах и механических фильтрах различных конструкций.

Отстойники выполняются, как правило, прямоугольной или круглой формы и в ряде случаев оснащаются дополнительными приспособлениями, интенсифицирующими процесс седиментации (полки, трубки и т. д.). Исходными данными для расчета устройств механической очистки являются: концентрация твердых компонентов грязи на выходе из бассейнов, размеры частиц и примерное соотношение взвешенных и склонных к быстрому осаждению частиц грязи. Основное влияние на характер загрязнения воды оказывают тип корма и способ кормления. Для удаления 75–90% крупных частиц грязи (легко выпадающих в осадок) требуются отстойники с временем контакта от 15 до 20 мин [87]. Расчет горизонтальных отстойников, предназначенных для осаждения взвешенных частиц, производится с ограничением скорости движения воды в них до 5 м/с и увеличением времени контакта до 16 ч. Глубина таких устройств составляет около 2–2,5 м, а отношение длины к глубине не менее 10.

Опыт применения отстойников в аквакультуре показал, что для удаления основной массы загрязнений достаточно отстаивать воду в течение 2–6 ч при гидравлической нагрузке на устройство в пределах 0,28–0,71 л/с на 1 м<sup>2</sup>. Оптимальными считаются глубины от 2,4 до 4,6 м, а отношение ширины к длине (у прямоугольных конструкций) должно быть не менее 1:3 [119]. Время отстоя может приниматься равным 50–80 мин и даже меньше [118]. Однако на практике объем отстойников часто в 2–3 раза превышает объем выростных бассейнов, занимая значительную часть площади рыбоводных хозяйств. Большие габариты, низкая эффективность осаждения взвесей и высокий уровень капитальных затрат являются существенными недостатками гравитационных отстойников. Поэтому все более широкое применение при обработке стоков рыбоводных хозяйств находят гидроциклоны, отличающиеся

простотой конструкции, компактностью и высокой эффективностью осаждений взвесей. Особым преимуществом циклонов является то, что процесс концентрации и удаления взвешенных частиц из системы происходит непрерывно. Оседающие в конической части циклона частицы грязи тут же удаляются током воды в дренажные каналы и не подвергаются бактериальному разложению. В зависимости от давления на входе вместе с осадком, содержащим до 80% загрязнений, сбрасывается от 5 до 10% циркулирующей воды. Потери компенсируются поступлением свежей, ограничивая максимум коэффициента использования воды ( $k_{\text{и}} = 0,9-0,95$ ) [5].

Расчет гидроциклона сводится к определению его геометрических размеров, производительности по воде и размеров частиц грязи, задерживаемых в циклоне [80].

Опыт применения циклонов в системах регенерации позволит в будущем уточнить существующие методики расчетов благодаря учету специфики загрязнения рыбоводных стоков.

Механическую фильтрацию воды на медленных и скорых песчаногравийных фильтрах применяют при концентрации взвесей в пределах 10–50 мг/л. Эти фильтры различаются рядом конструктивных особенностей и режимом работы. Скорость фильтрации на медленных фильтрах принимается равной 0,2–0,3 м/ч, что обуславливает малую гидравлическую нагрузку — 3–5 л/мин·м<sup>2</sup>. Верхний слой фильтра толщиной от 20 до 100 см заполняется мелким песком с размером зерен 0,3–1 мм. Внизу располагается поддерживающий слой песка или гравия с размерами от 2 до 30 мм. В результате низкой скорости фильтрации и образования поверхностного слоя биопленки с большими сорбционными свойствами основная масса загрязнений задерживается в верхнем слое песка. При потере напора до 1,2 м производится чистка фильтра путем обратной промывки или удаления слоя толщиной 1–2 см. Вместо песка могут применяться различные волокнистые синтетические материалы (капроновая вата, старые сети и т. п.).

С целью увеличения производительности и компактности устройств очистки применяют скорые песчаные фильтры прямого и обратного тока. Скорость фильтрации на таких фильтрах составляет от 3 до 10 м/ч [86]. В качестве загрузки используют песок, антрацит, активированный уголь, створки моллюсков и другие материалы. Фильтрующий пласт толщиной 60–100 см состоит из нескольких слоев зерен различной крупности (1–2 мм, 2–5, 5–10, 10–20 мм). В скорых фильтрах происходит задержание взвесей во всей толще загрузки, что увеличивает их гряземкость. При этом обеспечивается снижение концентрации взвесей до 1–5 мг/л и удаляются загрязнения с размерами 15 мк [90]. Потребность воды при проведении обратной промывки скорых фильтров составляет около 0,6 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин), а для промывки поверхностного слоя требуется 0,1 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин) [86]. В Японии разработаны фильтры, в которых осуществляется предварительная коагуляция взвесей с помощью

химических препаратов и механических устройств с последующей механической фильтрацией.

Ультрафиолетовое облучение является испытанным средством борьбы с патогенной микрофлорой. Как правило, стерилизаторы выполняются в виде трубчатой камеры, внутри которой установлен источник ультрафиолетового излучения. Эффективность стерилизации зависит от прозрачности и толщины слоя воды, температуры, площади контакта и времени облучения. Расчет устройств стерилизации заключается в выборе суммарной мощности ламп и габаритов облучателя. Длина камеры определяется размерами ламп. В отечественной практике наибольшее распространение в устройствах стерилизации получили лампы типа БУВ и ПРК-7. Вследствие малой глубины проникновения лучей в воде рекомендуется принимать толщину обрабатываемого слоя воды не более 10–30 мм [142]. Количество параллельных секций и общее число ламп рассчитываются по заданной скорости протока воды в системе и требуемой дозе облучения. Доза облучения зависит от вида патогенных организмов, их размеров, качества воды и других факторов. Чтобы гарантировать уничтожение не менее 99% микроорганизмов, требуется облучение интенсивностью от 2500 до 22 000 мкВт·с/см<sup>2</sup> [119]. В некоторых случаях на станции инкубации икры лососей и других объектов культивирования доза облучения возрастает до 60 000–90 000 мкВт·с/см<sup>2</sup>. Более практичной можно считать рекомендацию, согласно которой на 1 л/мин обрабатываемой воды требуется мощность стерилизатора не менее 1,5 Вт [90]. Устройства стерилизации работают в непрерывном режиме. Отключение ламп должно производиться в тех случаях, когда в воду добавляются лекарственные препараты, содержащие соединения меди, йода и некоторых других веществ.

Метод обработки воды озоном основан на использовании высокой активности трехатомного кислорода к вступлению в реакцию с рядом органических веществ, не поддающихся бактериальному окислению, а также его дезинфицирующему действию на патогенную микрофлору. Система озонирования включает генератор озона, контактные камеры с устройствами подачи озона и перемешивания воды, воздушный компрессор и соединительные трубопроводы. Расчет устройства озонирования заключается в определении производительности озонатора, мощности компрессора и габаритов контактных камер. Эффективность данного процесса очистки прямо пропорциональна концентрации озона, времени контакта и ослабляется с увеличением температуры и pH воды. В зависимости от степени загрязнения воды органическими веществами рекомендуется применять дозы озона в пределах от 1 до 7 мг/л, однако для уничтожения бактерий и вирусов достаточной является концентрация 1–2 мг/л при длительности контакта не менее 2 мин.

Производительность озонатора рассчитывается по принятой дозе озона, объему и скорости циркуляции воды в системе с учетом того, что в контактной камере успевает прореагировать с водой не менее 50%

озона вследствие его нестабильности. Объем контактных камер определяется временем контакта, которое обычно принимают равным от 1 до 6 мин [35]. Выбор мощности воздушного компрессора проводится исходя из того, что концентрация озонородной смеси составляет около 5%. Продолжительность одного сеанса озонирования должна быть достаточной для обработки всего объема воды, циркулирующей в системе. Общее время озонирования определяется для каждого конкретного случая по результатам измерения величин БПК<sub>5</sub>, окисляемости воды и т. д. Даже при низких концентрациях озон крайне токсичен для рыб, поэтому обработка воды непосредственно в бассейнах недопустима. Для человека озон опасен при содержании его в воздухе более 0,0001 мг/л [35]. С целью нейтрализации избыточного озона обязательно должны применяться поглотительные устройства с активированным углем. Озонирование не нашло пока широкого применения в мариккультуре из-за высокой стоимости оборудования и сложности эксплуатации.

В последние годы все более расширяется применение фильтров с загрузкой из натуральных цеолитов. Эти материалы обладают уникальными ионообменными свойствами и эффективно очищают воду от аммиака и ряда других токсичных продуктов. Кроме того, с помощью цеолита удаляется запах и уменьшается цветность воды. Рекомендуется [119] выбирать толщину слоя цеолитового фильтра в пределах 0, 20, 75 м, а скорость протока воды может колебаться от 1,4 до 3,4 л/(с·м<sup>2</sup>). Регенерация ионообменной загрузки осуществляется с помощью пропускания 5–10%-ного солевого раствора со скоростью 0,68–1,36 л/(с·м<sup>2</sup>).

На эффективность работы цеолитовых фильтров оказывают влияние присутствие в воде взвешенных частиц, катионов и другие факторы, что затрудняет определение эксплуатационного периода ионообменной системы. Поэтому цеолитовые фильтры внедряются пока на некоторых рыбоводных хозяйствах в качестве дублирующих (аварийных) систем очистки. Наиболее перспективно использование цеолитов в лососеводстве, поскольку обычные гравийные биофильтры обладают малой скоростью нитрификации в диапазоне низких температур (8–12°C).

Продувка воздухом с целью удаления из воды растворенных газов и стабилизации рН осуществляется в специальных емкостях. Выравнивание концентрации газов достигается благодаря интенсивному контакту потока воды с воздушными пузырьками, движущимися навстречу друг другу. При расчете устройств газоудаления необходимый расход воздуха принимается равным 3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> обрабатываемой воды.

Процесс флотации также основан на противоточной схеме движения воды и воздуха с образованием на поверхности пены, концентрируемой в пеносборнике. Основными факторами, определяющими эффективность данного процесса очистки воды, являются время контакта и величина поверхности раздела фаз вода – воздух в камере. Уменьшение пузырьков воздуха до 1–1,5 мм благодаря применению тонкопористых

распылителей позволяет получать оптимальную поверхность раздела фаз в пределах 40–50 м<sup>2</sup>/л и при минимальном расходе воздуха [128]. Габариты флотационной камеры рассчитываются с учетом обеспечения оптимального времени контакта (10–20 мин) и достижении пропускной способности не менее 0,7–2,7 л воды на 1 с на 1 м<sup>2</sup> устройства [119].

Количество воздуха, необходимое для повышения до 100% уровня насыщения воды кислородом перед ее повторным использованием, определяется скоростью циркуляции воды и типом применяемого аэратора. Эффективность устройств аэрации зависит от их конструктивных особенностей и условий эксплуатации (начальной концентрации кислорода, температуры, атмосферного давления и т. д.). Для насыщения воды кислородом при температуре около 15,5°C требуется от 0,8 до 1,8 м<sup>3</sup> воздуха на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемой воды при времени контакта в аэраторе от 10 до 30 мин.

Для разрыхления верхнего слоя загрузки с помощью воздушной продувки, применяемой при промывке биофильтра, требуется до 0,4 м<sup>3</sup>/мин воздуха на 1 м<sup>2</sup> площади фильтра [90]. Общее потребление воздуха системой водоподготовки определяется как сумма расходов на аэрацию, газоудаление, флотацию, продувку биофильтра, озонирование и другие процессы.

Стабилизация рН среды осуществляется двумя способами. Первый заключается в использовании кальцинированных материалов в загрузке биофильтров. Створки устриц, доломит, известняк и ряд других материалов, обладающих буферными свойствами, обеспечивают поступление в воду карбоната кальция, необходимого для образования нитрата кальция в процессе нитрификации. Благодаря буферной загрузке уменьшается концентрация азотной и азотистой кислот и одновременно поступает в воду значительное количество микроэлементов, стимулирующих деятельность бактерий фильтра. Для поддержания уровня рН в пределах 7–8 требуется, чтобы не менее 20% объема загрузки фильтра составляли дробные створки устриц размерами от 6 до 20 мм [90]. Второй метод стабилизации рН состоит в добавлении в циркулирующую воду таких веществ, как известь, кальцинированная и каустическая сода. Добавление этих препаратов в количестве 0,1–0,2 мг·экв/л приводит к увеличению рН на 0,1–0,3. Для улучшения эффекта растворения необходимо вносить химикаты в тех местах системы, где вода хорошо перемешивается (смесители, баки продувки и т. д.).

В настоящем разделе отражен далеко не весь перечень вопросов инженерного обеспечения работ в области мариккультуры. С каждым годом множится число направлений и возрастает объем исследований по проблемам, связанным с разработкой новых схем и устройств очистки воды, аппаратуры регулирования физических параметров среды, кормораздатчиков и прочих элементов акватехники. Широкий выбор технических средств и вместе с тем недостаток обоснованных рекомендаций по

наиболее эффективному и экономичному способу их применения делают поиск рациональной схемы водоподготовки задачей со многими неизвестными. Основная проблема состоит в правильном выборе элементов схемы водоподготовки с точки зрения наиболее полного удовлетворения требований биотехники культивирования и рентабельности производства. Иными словами, структура каждого конкретного хозяйства марикультуры определяется сочетанием технических и экономических факторов. Так, например, для рециркуляционных систем, предназначенных для круглогодичного выращивания товарной рыбы с высокими плотностями посадки, особое значение имеет эффективность и надежность устройств очистки воды. Поэтому здесь могут быть применены мощные, но дорогостоящие биофильтры с различными типами пластмассовой загрузки, барабанные и дисковые фильтры, дублирующие устройства с угловой и цеолитовой загрузки, озонаторы и т. д.

Условия работы дальневосточных хозяйств марикультуры совершенно иные. Эти хозяйства предназначаются, как правило, для подращивания того или иного объекта до жизнестойких стадий либо без подкормки (водоросли, трепанг и др.). В этом случае основную роль играют устройства регулирования физических параметров среды (температура, освещенность, проточность и т. д.), а биологическая очистка способствует снижению уровня водопотребления, особенно в период кормления молоди. Если учесть также, что подобные хозяйства располагаются, как правило, в отдаленных прибрежных районах, то рациональнее применять здесь более простые и дешевые биофильтры с гравийной загрузкой. Описанная в данной работе система водоподготовки проектировалась на основе этих принципов применительно к конкретным объектам и условиям культивирования.

#### ГИДРОБИОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Многовековой опыт человечества в становлении и развитии производящего хозяйства показывает, что наиболее перспективным является такое направление культивирования, которое связано с выращиванием организмов в естественных условиях на специально подготовленных плантациях. Подготовка плантаций в море включает в себя как основную часть монтаж гидробиотехнических сооружений. Использование на плантации этих сооружений позволило сделать качественный скачок в развитии марикультуры. С их помощью создаются условия для выращивания организмов в наиболее плодородных слоях воды. При использовании сооружений возможны расширение плантаций на глубоководные зоны, использование толщи воды, значительное увеличение по сравнению с естественными условиями плотности посадки, выживаемости организмов за счет уменьшения потерь от вредителей, болезней, плохого состояния дна. Урожаи при этом возрастают в десятки и сотни раз.

Появляется возможность поднятия плодородия плантаций за счет

внесения удобрений, проведения селекционных работ. С их помощью в толще воды выращиваются как пелагические, так и бентосные организмы. Специальные сооружения позволяют механизировать и даже автоматизировать процесс производства культур, повысить производительность труда на плантациях по посадке, уходу и сбору урожая, снизить энергетические потребности хозяйств и решать другие важные производственные задачи.

Как показал опыт создания гидробиотехнических сооружений в Японии, где имеются наибольшие достижения в этом направлении, и в других странах (США, КНДР, КНР, Канада), конструкции их отрабатываются в течение 30—40 лет. Создаются они на основе опыта эксплуатации и инженерной интуиции. Перенос отработанных в одних условиях сооружений в другие без существенного их изменения оказался не всегда возможен и оправдан. В новых районах, отличающихся природно-климатическими условиями, работы по созданию сооружений практичнее должны начинаться заново. В практике промышленного, полупромышленного и экспериментального культивирования в Японии, США и других странах наблюдаются разрушения гидробиотехнических сооружений, которые приводят к значительным материальным потерям, потерям времени, неожиданным остановкам намеченных экспериментов и др. [53, 127]. Не менее значителен и моральный ущерб. Первые неудачи обычно вызывают недоверие к культивированию на сооружениях. Рассматриваемые сооружения должны быть прочны, устойчивы и достаточно долговечны.

Эмпирический путь создания прочных сооружений трудоемок и требует значительного времени и материальных затрат. Расчетный (предсказывающий) путь обладает целым рядом преимуществ, которые позволяют говорить о том, что именно он будет господствующим в настоящем и будущем. Чтобы дать надежные методы расчетного проектирования, необходимо выявить конструктивные особенности и те вопросы, которые следует решать при создании гидробиотехнических сооружений. Для разработки этих вопросов требуется решить целый ряд проблем, связанных с прочностью, создать нормативные материалы их проектирования, монтажа и эксплуатации.

**Гидробиотехнические сооружения.** Гидробиотехнические сооружения имеют в своем составе несущие и выростные элементы. Требования прочности должны быть предъявлены к несущим конструкциям.

Приводимый ниже обзор направлен на выявление особенностей несущих конструкций гидробиотехнических сооружений, применяемых в мировой практике. Он построен на литературных источниках, результатах патентных исследований и отчетах о зарубежных командировках советских специалистов.

Конструкции сооружений зависят от способов содержания и видов объектов разведения, в частности условий существования организмов.

Выделяются две большие группы гидробиотехнических сооружений: стационарные, которые не меняют своего положения в пространстве в течение всего времени своего существования; передвижные, выполненные на основе самоходных или буксируемых средств, которые могут менять свое положение в зависимости от требований биологической и гидрологической обстановки.

**Ограждающие загонные сооружения.** Неприкрепляющиеся морские организмы (рыбы, креветки, омары и др.) разводят в загонах — огражденных частях моря. В 60-х годах в Японии [53] получило широкое распространение строительство на больших территориях сублиторальных сетных заграждений жесткой конструкции (на сваях) из гальванизированной проволоки на сваях и гибкой, подобно ставным неводам (рис. 46). Верхняя кромка ограждений возвышается над уровнем моря на 0,5–1,5 м. Ограждения обрастают водорослями и моллюсками, за счет чего повышается опасность их разрушения во время штормов. Так, в Японии было построено 73 заграждения, но в большинстве своем они были разрушены. Ограждаются территории площадью от десятых долей гектара до нескольких гектаров. В Такамацу (1968 г.) ограждено 8 га, в Норвегии — 1,2 га (1968 г.) и 3,5 га (1970 г.), в бухте Сент-Маргарет (Новая Шотландия) — по 0,5 га (1975 г. — 2 шт., 1976 г. — 10 шт., 1982 г. — 20 шт.). Ограждения обычно строятся около берега, но в Японии построено сооружение на акватории моря жесткой конструкции диаметром 55 м (оградительная сетка выполнена из гальванизированной проволоки). В придонных слоях ограждения служат для сохранения малоподвижных объектов (обычно моллюсков) в пределах определенного района. Этот район очищается от вредителей и сорных видов.

Исследования в области проектирования и строительства сублиторальных заграждений с 1967 г. проводятся кафедрой гражданского строительства Старт-Клайдского университета (Шотландия). Эти исследования показали, что тип и конструктивные особенности ограждений определяются глубиной моря [53].

**Садки и садковые устройства.** Ввиду существенных достоинств культивирование пелагических объектов в объемах, огражденных замкнутой сетной оболочкой, в последнее время быстрыми темпами развиваются конструкции садков и садковых устройств. В настоящем обзоре они упоминаются потому, что некоторые принципы их проектирования используются и в сооружениях, предназначенных для других целей. В последнее время, например, идея системы погружения — всплытия находит применение в сооружениях для выращивания водорослей и моллюсков.

**Сооружения водорослевых плантаций.** В больших масштабах разведение водорослей практикуется в Японии. Издавна для разведения порфиры используются сети — хиби, которые обычно устанавливают в эстуариях, где вода богата питательными веществами. Применяют сети

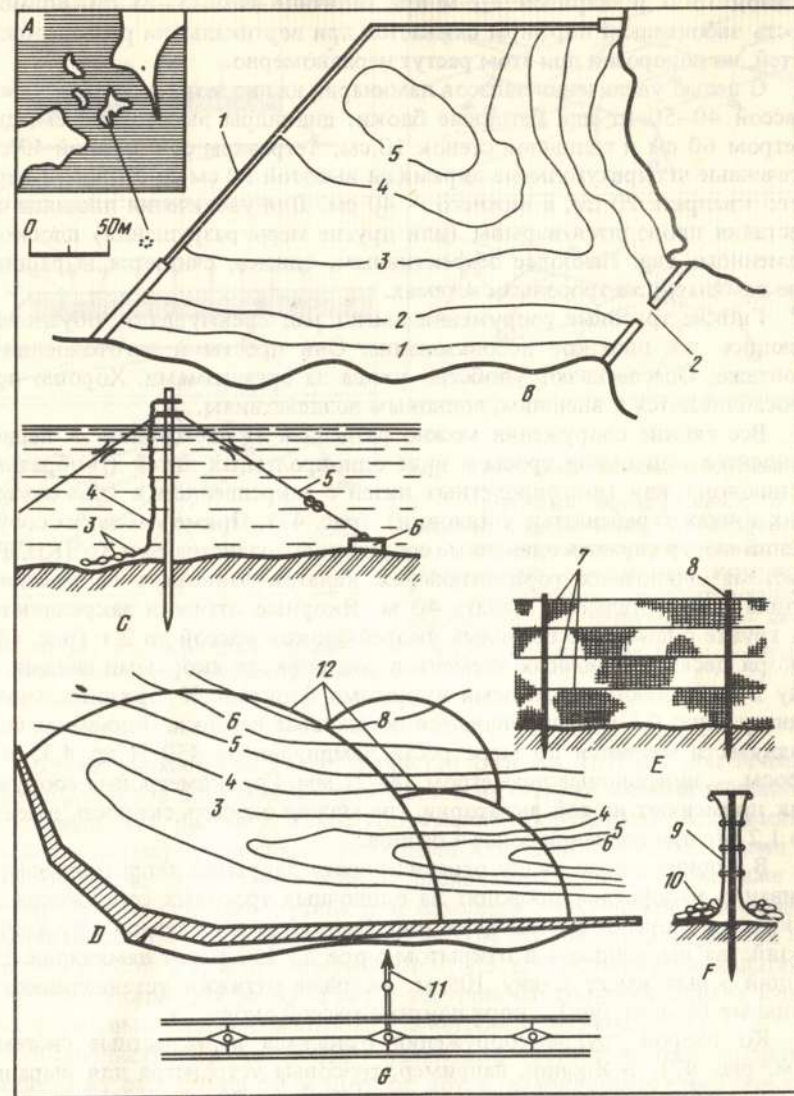


Рис. 46. Ограждения:

A, B, C — Токамацу; D, E, F — Тонояма; 1 — сетное ограждение; 2 — шлюз; 3 — цепь; 4 — сеть; 5 — якорная оттяжка; 6 — якорь; 7 — прут 36 мм; 8 — свая; 9 — сеть; 10 — каменная пригрузка; 11 — якорь; 12 — сетные ограждения

длиной 18 м и шириной 1,2 м при величине ячеек 15–25 см. Возможность заболевания порфиры снижается при вертикальном расположении сетей, но водоросли при этом растут неравномерно.

С целью увеличения запасов ламинарии на дно моря спускают камни массой 40–50 кг или бетонные блоки: цилиндры высотой 60 см, диаметром 60 см и толщиной стенок 10 см; тетраэдры со стороной 45 см, усеченные четырехугольные пирамиды высотой 30 см со стороной верхнего квадрата 20 см, а нижнего – 40 см. Для увеличения площади оброста проводятся взрывы (или другие меры разрушения) плоского каменного дна. Наиболее эффективным, однако, считается выращивание ламинарии на тросовых системах.

Гибкие тросовые сооружения имеют ряд преимуществ, обуславливающих их широкое использование. Они просты в изготовлении и монтаже. Обеспечивают удобство ухода за организмами. Хорошо приспособляются к внешним, волновым воздействиям.

Все гибкие сооружения можно разделить на две группы. К первой относятся одиночные тросы в виде однопролетных нитей (П-образных установок) или многопролетных нитей с закреплением в промежуточных точках (гребенчатые установки) (рис. 47). Примером таких сооружений могут служить одиночные сооружения хозяйства Буп Хо (КНДР). Система одиночных горизонтальных канатов закорена на массивы. Длина горизонтального каната 40 м. Якорные оттяжки закрепляются на грунте с помощью бетонных якорей-блоков массой до 2 т (рис. 48). Якоря десяти одиночных элементов соединяются якорными цепями по дну и укрепляются тяжелыми якорными блоками. К горизонтальному канату через 0,5 м прикрепляются посадочные веревки. Подъемная сила плавучести меняется по мере роста ламинарии от 450 Н до 4,35 кН. Тросы – винилоновые диаметром 18–21 мм. Сорокаметровые сооружения применяют на той акватории, где можно ожидать скорость течения до 1,2 м/с при волнении более 4 баллов.

В Японии также ввиду ограниченности закрытой территории выращивание водорослей проводят на одиночных тросовых сооружениях в открытом море. В южной части о-ва Хоккайдо и на севере о-ва Хонсю хозяйства выращивают в открытом море до 150 тыс. т ламинарии. Несущий канат имеет длину 105 м, якорные оттяжки устанавливаются длинные (4–6 глубин), якоря плитные массой около 2 т.

Ко второй группе сооружений относятся перекрестные системы (см. рис. 47). В Японии, например, тросовые устройства для выращивания ламинарии имеют длину 70 м и ширину 20 м, устанавливаются на глубине 20 м и удерживаются четырьмя бетонными якорями массой 1 т. Якорные оттяжки – канаты диаметром 40 мм. Несущие канаты диаметром 25 мм заглублены на 1–2 м и поддерживаются в толще воды пластмассовыми буями диаметром 20 см. К несущим канатам на расстоянии 5 м подвешиваются веревки диаметром 25 мм, к ним с интервалом 0,5 м вплетают отрезки веревок с посадочным материалом.

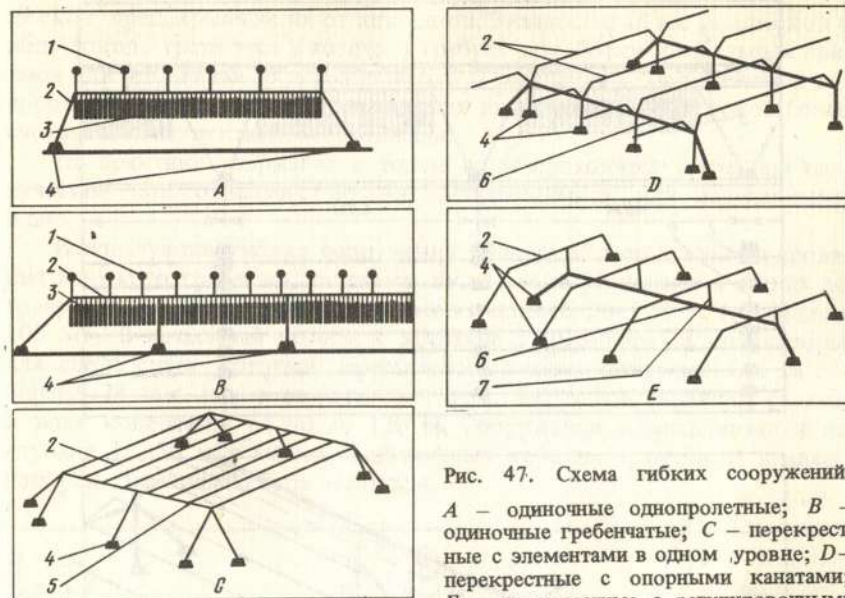


Рис. 47. Схема гибких сооружений:

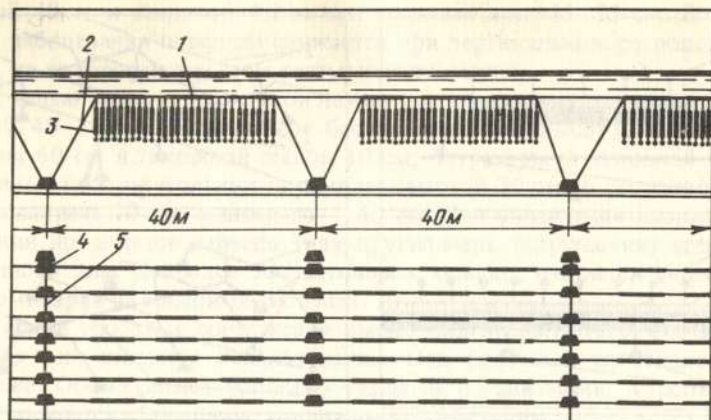
А – одиночные однопролетные; В – одиночные гребенчатые; С – перекрестные с элементами в одном уровне; D – перекрестные с опорными канатами; E – перекрестные с регулируемыми веревками; 1 – плавучесть; 2 – несущий канат; 3 – выростные элементы; 4 – якоря; 5 – канатная рама; 6 – опорные канаты; 7 – регулировочные веревки

1 – плавучесть; 2 – несущий канат; 3 – выростные элементы; 4 – якоря; 5 – канатная рама; 6 – опорные канаты; 7 – регулировочные веревки

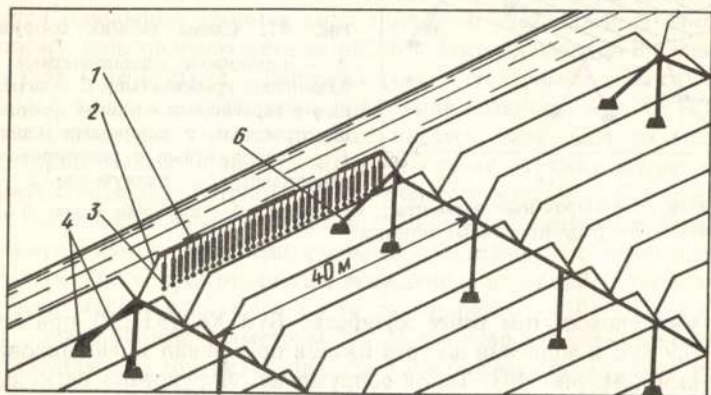
В уже упомянутом ранее хозяйстве Буп Хо (КНДР) при течении менее 0,9 м/с и волнении до трех баллов применяют комбинированные установки (см. рис. 48). Такое сооружение оборудовано несколькими (обычно пятью) подводными опорными канатами, расположенными на расстоянии 45 м. Опорные канаты располагаются так, чтобы даже во время самого сильного отлива они находились под водой. Опорные и якорные канаты – винилоновые диаметром 30 мм. Крайние якоря бетонные массой 2 т, а промежуточные – 1,5 т. Над опорными канатами перпендикулярно им располагаются несущие канаты длиной 40 м, которые также выполнены из винилона диаметром 18–21 мм.

В хозяйстве Су Хо (КНДР) установки состоят из пяти опорных канатов на расстоянии 50 м друг от друга, находящихся ниже поверхности воды. Несущие тросы длиной 200 м располагают перпендикулярно и выше опорных канатов через 6 м. Несущие и опорные канаты по вертикали в местах пересечения связываются регулируемыми веревками, которые по мере необходимости могут менять свою длину, поднимая или опуская канаты с водорослями. Якоря лаповые – металлические адмиралтейского типа.

В последнее время выявилась тенденция создания целых водорос-



A



B

Рис. 48. Сооружения хозяйств Буп Хо (А) и Су Хо (В) КНДР:

1 — плавучести; 2 — несущий канат; 3 — выростные элементы; 4 — якоря; 5 — межъякорные связи; 6 — опорные канаты

ледовческих комплексов, в состав которых входят и выростные сооружения. В США, например, разработан проект завода по искусственному разведению и первичной обработке водорослей в открытом океане (рис. 49). При разработке проекта учитывали характерные особенности произрастания водорослей, механизацию работ по уходу за растениями и сбору урожая.

**Сооружения для выращивания двустворчатых моллюсков.** В естественных условиях моллюски обитают на дне. Считается, однако, что выращивание их в толще воды имеет такие преимущества, как использование всего объема воды, постоянная циркуляция воды около мол-

люсков, предохранение их от хищников. Значительный вес моллюсков в воде (около трети веса в воздухе) требует разработки специальных приемов для удержания их в толще воды. В сравнении с сооружениями водорослевых плантаций сооружения для выращивания моллюсков более сложны в конструктивном отношении.

На практике удержание в толще воды проводится усиленной плавучестью или опорами-стойками, опирающимися или заделанными в дно.

Используются гибкие сооружения. Японский метод культивирования морского гребешка, например, включает выращивание в садках до товарного вида на тросовых хребтинах длиной 50–300 м (в среднем 100 м). В начальный период к хребтине прикрепляются коллекторы для сбора спата, который пересаживают в садки-фонарики. С 1 га собирают 24 тыс. шт. товарного гребешка. Вес одной гирлянды садков в воде колеблется от 80 до 120 Н. Сооружения устанавливаются на глубине 15–30 м в местах, защищенных от воды, и вдали от впадающих рек. Дно должно быть песчаным.

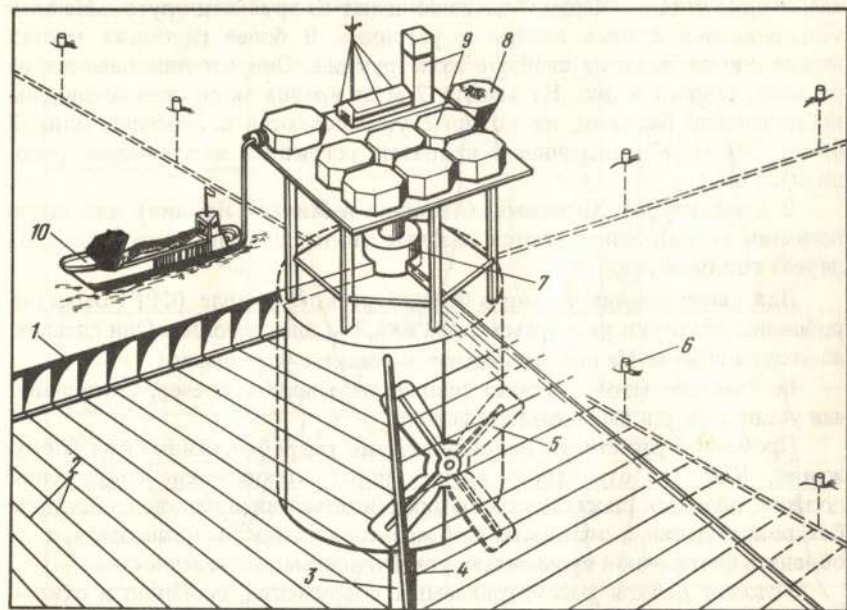


Рис. 49. Водорослеводческая ферма в открытом океане (США):

1 — водоросли; 2 — выростные канаты; 3 — труба апвеллинга; 4 — несущие трубы для подачи удобрений; 5 — стабилизатор; 6 — плавучести; 7 — насос апвеллинга; 8 — вертолетная площадка; 9 — обрабатывающий завод; 10 — водорослеборочный комбайн

Испанский метод культивирования основан на использовании плотов. Конструкция пюта проста — плавающая платформа, к которой подвешены веревки длиной 3–9 м на расстоянии 0,5 м друг от друга. На концах веревок — грузила для предохранения их от спутывания.

Культивирование мидии в Венесуэле основано на испанском методе. Размеры плотов 5x7 м и 16x26 м. К ним подвешиваются коллекторы длиной 4,5–6,5 м. Считается, что небольшие плоты на 200–300 коллекторов удобнее в работе [121].

В прибрежных мелководных участках Атлантического побережья Франции, отличающихся значительными приливными колебаниями уровня, используются установки типа "Бушо". Они представляют собой правильные ряды столбов, тянущиеся перпендикулярно берегу. Столбы диаметром 200–300 мм расположены вдвоенными рядами с шагом до 1 м. Между рядами предусмотрено расстояние, достаточное для прохода обслуживающих механизмов. На столбах укрепляются сетные рукава с молодью мидий. Для защиты от хищников нижняя часть столба обернута полиэтиленовой пленкой, а верхняя — крупноячеистой сеткой.

На мелководных участках используются также элементы, выполненные в виде столов. "Столы" изготавливают из труб или прутьев. На стол укладываются сетные мешки с устрицей. В более глубоких местах используются жесткие свайные конструкции. Они изготавливаются из рельсов, вбитых в дно. На высоте 2 м от уровня моря сваи соединены продольными балками, на которые укладываются поперечины длиной около 10 м. К поперечинам крепятся устричные коллекторы (около 1000 шт.).

В префектурах Хиросима, Сидзюка и Мияги (Япония) для выращивания устриц используются свайные столы, но выполняются они из дерева или бамбука.

Для выращивания устриц в Флендбургском фиорде (ФРГ) были опробованы стеллажи размерами 2,4x1,6x1,3 м для зимовки. Они сделаны из уголка 50x5 м. На них размещаются ящики с устрицами.

Во Франции (п-ов Бретань) создана на основе землечерпалки плавучая установка для выращивания устриц.

**Проблемы расчетного проектирования гидробиотехнических сооружений.** Как уже отмечалось выше, гидробиотехнические сооружения должны обладать способностью сопротивляться внешним воздействиям без повреждений и опасности для жизнедеятельности организмов, т. е. обладать достаточной прочностью, устойчивостью, долговечностью.

*Условия работы* рассматриваемых сооружений, особенно в открытом море, сложны и до конца не изучены. Особенностью изучаемых объектов является также то, что нагрузка на них зависит не только от характеристик воздействия и конструктивных особенностей самих сооружений, но и от роста и развития организмов, для выращивания которых они предназначены. Это не дает возможности непосредствен-

но приспособить существующие методики расчета подобных сооружений, а требует их изменения и дополнения.

Натурные наблюдения и инструментальные записи показали, что параметры воздействия (длина волны, высота ее) соизмеримы с размерами сооружений. Это обуславливает пространственную их работу. Осциллограммы (рис. 50, 51) записи усилий в элементах сооружений (в якорной оттяжке и поводе), полученные во время штормов, показывают их динамический характер, являющийся следствием волновых воздействий [24].

*Волновое воздействие* дает основную нагрузку на сооружения. Разрушение их наблюдалось именно во время штормов. При статическом подходе к расчету, который используется в практике проектирования гидротехнических сооружений и орудий промышленного рыболовства, бегущие волны заменяются горизонтальным и вертикальным неустановившимся потоком, действующим на преграду таким же образом, как и волнующаяся жидкость. При суммировании постоянного морского течения и потока от бегущих волн можно получить общий вектор скорости и ускорения, по которому и вычисляется нагрузка. Так как свободные выростные элементы с морскими организмами устанавлива-

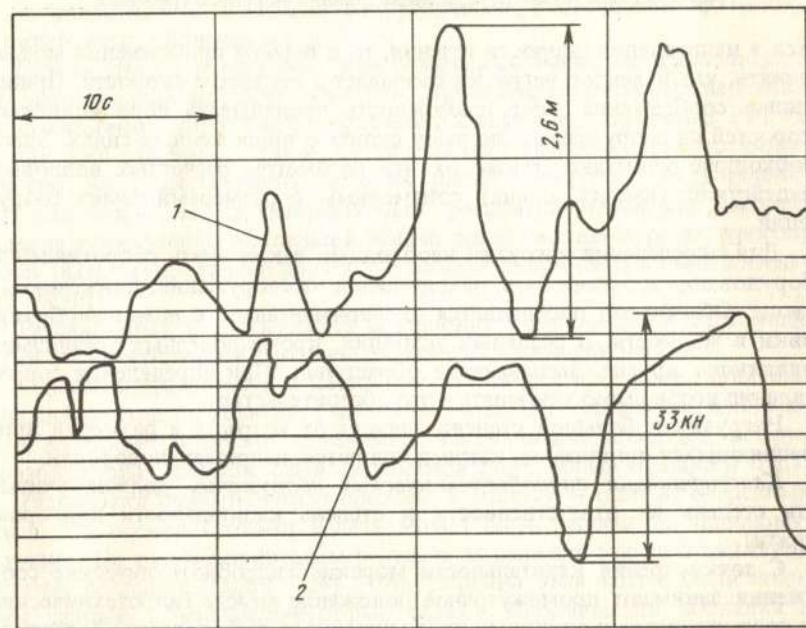


Рис. 50. Фрагмент записи высот волн (1) и усилий в якорной оттяжке (2) в экспериментальной установке по выращиванию водорослей

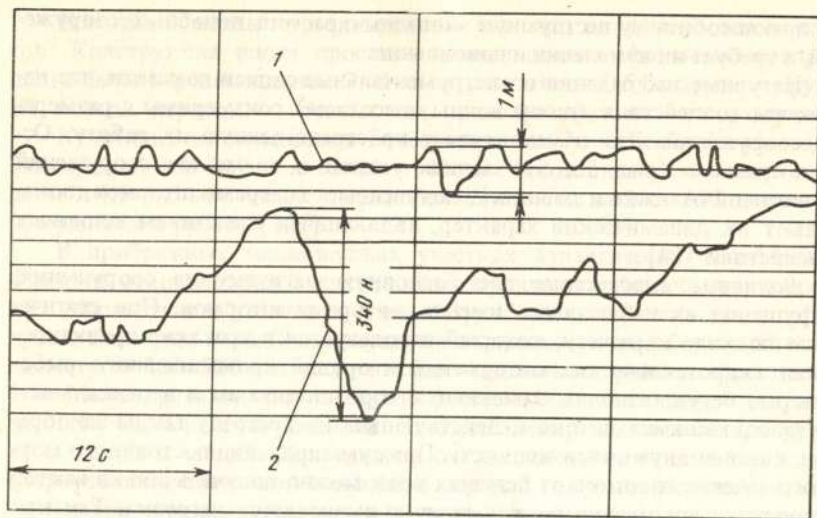


Рис. 51. Фрагмент записи высот волн (1) и усилий в связи с гирляндой (2) в экспериментальной установке для выращивания морского гребешка

ются в направлении скорости течения, то в первом приближении можно принять, что и вектор нагрузки совпадает с вектором скорости. Приведенные соображения дают возможность накладывать поле волновых скоростей на сооружение и по нему судить о приложенных силах. Здесь необходимо учитывать также то, что параметры расчетных волновых воздействий (высота, длина) соизмеримы с размерами самих сооружений.

Для определения нагрузки необходимо также знать сопротивление оборудования и организмов, находящихся на сооружении, движению их в воде. Обычно это определяется экспериментально с помощью буксировки в жидкости. В реальных условиях, кроме полезных организмов появляются другие, вызывающие обростания. При определении сопротивления необходимо учитывать и это обстоятельство.

Нагрузка в большой степени зависит от возраста и размеров прикрепляющихся организмов, какими являются, например, водоросли.

*Классификация гидробиотехнических сооружений* должна учитывать степень их ответственности и степень капитальности или срок службы.

С точки зрения капитальности морские гидробиотехнические сооружения занимают промежуточное положение между гидротехническими сооружениями и орудиями промышленного рыболовства. Долговечность этих сооружений определяется циклами роста водорослей, беспозвоночных, рыб, для выращивания которых они предназначены.

Стационарные сооружения можно подразделить на основные и вспо-

могательные. Основные гидробиотехнические сооружения предназначены для выращивания организмов на конечных стадиях развития до товарной продукции в течение одного или более циклов. Разрушение их приводит к значительной или полной гибели объекта выращивания и, следовательно, потере урожая. К вспомогательным относятся сооружения, используемые в течение одного или нескольких периодов развития организмов на начальных или промежуточных стадиях (выращивание рассады, сбор спата, подращивание).

В зависимости от способов содержания объектов разведения можно выделить:

загонные сооружения-заграждения, прорезающие толщу воды от дна до поверхности;

подвесные, в которых выростные элементы находятся в толще воды или на поверхности;

донные, на которых выращивание осуществляется в придонных слоях, где интенсивность волнового воздействия значительно уменьшается.

Жесткость несущего каркаса тоже оказывает влияние на величину волновой нагрузки: гибкие сооружения, в которых элементы выполнены из канатов, тросов, нитей, хорошо приспособляются к волновым воздействиям и за счет существенной подвижности уменьшается нагрузка по сравнению с жесткими сооружениями, состоящими из балок, стержней, плит, оболочек и т. д.

*Гибкие тросовые системы*, как отмечалось выше, часто используют для выращивания морских объектов. Проведенные натурные наблюдения показывают, что такие сооружения обладают подвижностью. Работа их, как уже отмечалось ранее, носит пространственный характер. Большинство же существующих методик расчета построено на упрощенных гипотезах, не характерных для рассматриваемых сооружений. Решение существенно нелинейной задачи, какой является расчет тросов, может быть осуществлено только с помощью современных вычислительных средств.

Рассчитанные в статической постановке сооружения в настоящее время эксплуатируются в различных районах Приморского края.

Однако применяемый в настоящее время для проектирования статический подход не объясняет полностью поведение установок, наблюдаемое во время штормов (например, закручивание поводцов вокруг горизонтальных канатов, срыв организмов с них, обрыв гирлянд и т. п.).

*Разработка динамического подхода к расчету* — одна из очередных задач. Эта весьма сложная задача может быть решена, по-видимому, поэтапно. На рис. 52 приведены результаты решения задачи о движении системы поплавков-садок [24]. При решении этой задачи были получены данные, объясняющие обрыв садков. Перемещение поплавка и садка при этом происходит с различной частотой. В нити, связывающей поплавков и садок, возникают рывковые усилия, в 4–5 раз превышающие статические в спокойном состоянии.

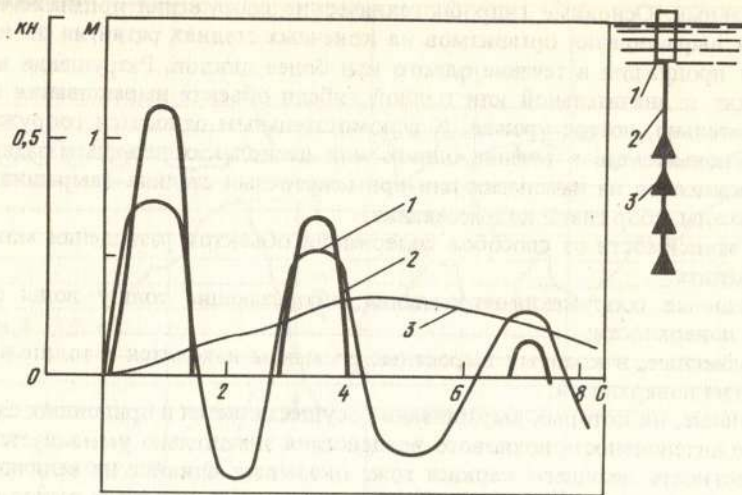


Рис. 52. Усилия и перемещения в системе поплавков—садок:  
1 — поплавок; 2 — связь; 3 — садок

Во второй задаче решался вопрос о движении несвязанного поплавка на волне. В результате получено, что только при малой массе поплавка следует за частицами жидкости. С увеличением массы поплавок начинает отставать от движения частиц по фазе и амплитуде (рис. 53).

При решении динамической задачи создается возможность учесть динамическое действие волн на сооружение, т. е. обоснованно ввести в расчет нагрузку от волнового воздействия.

**Волновое воздействие и биомасса** на установках являются основными двумя факторами, влияющими на загрузку сооружений. Очевидно, что максимальная нагрузка на установку будет в том случае, когда на сооружении находится максимальное количество биомассы и будут наблюдаться экстремальные параметры волнового воздействия [76]. Оказалось, что по времени года эти два периода не совпадают для отдельных районов. Это приводит к тому, что при соответствующих исследованиях в этом направлении можно будет допустить увеличение

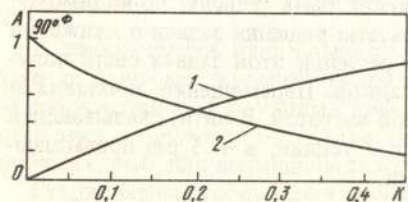


Рис. 53. Параметры движения свободнопоплавка при волнении в зависимости от параметра затухания ( $K$ ):  
1 — отставание по фазе ( $\Phi$ ); 2 — относительная амплитуда ( $A$ )

урожая без изменения конструкции сооружений. Предварительные расчеты показывают, что за счет увеличения урожайности может быть достигнут значительный экономический эффект.

**Канаты**, из которых выполнены изучаемые сооружения, изготавливаются на основе полимеров. Однако известно, что разрыв капроновых канатов может произойти при любом напряжении, кроме самого малого. Время от загрузки до разрыва зависит от величины напряжения и температуры. Учет этих свойств полимеров в расчете может обеспечить получение обоснованного срока службы сооружения, коэффициента запаса прочности при проектировании и др.

Предварительные расчеты показывают, что существующий коэффициент запаса предполагает наличие максимальных расчетных условий во время всего срока службы, что мало вероятно (менее одной сотой процента).

**Якорные устройства** изучаемых сооружений должны быть, во-первых, дешевыми. Во-вторых, якоря не должны смещаться по поверхности дна, так как при перемещении якорей одного из элементов сооружения происходит разрушение других элементов. В-третьих, они должны быть технологичны как в изготовлении, так и в монтаже. В-четвертых, направление держащей силы не должно быть ограничено. Это обуславливается тем, что направление основного воздействия — волнового — может быть самым различным. Но даже при одном направлении волнения установка отклоняется в противоположные стороны и, следовательно, меняет направление усилия, прикладываемого к якорю. В-пятых, материал якорей должен быть стойким против действия морской воды. И наконец, в-шестых, устройство крепления оттяжек к якорю должно обеспечить удобство постановки и смены тросовых якорных оттяжек. Таким требованиям отвечают гравитационные якоря, свайные анкеры и комбинированные системы закоривания. Устойчивость и надежная работа якорных устройств обеспечиваются правильным учетом грунтовых условий размещения плантаций. Поэтому изучение грунтов донных отложений и взаимодействия якорных систем с ними является необходимым условием, которое должно выполняться во всех районах размещения плантаций.

**Проектирование сооружений в Приморском крае.** В Приморье имеются необходимые природные условия для культивирования морских организмов. Однако побережье моря здесь мало изрезано. Большой частью встречаются участки с полным отсутствием закрытых и полужакрытых бухт. Поэтому плантации располагаются в открытом море и подвержены значительным силовым воздействиям.

Первые опытные сооружения в Приморье были построены в 1970 г., но они разрушились. Анализ причин разрушения, достоинств и недостатков сооружений, существующих в жестких природно-климатических условиях, исследования их работы в натуре, на моделях и теоретические разработки позволили установить основные принципы конструирования сооружений.



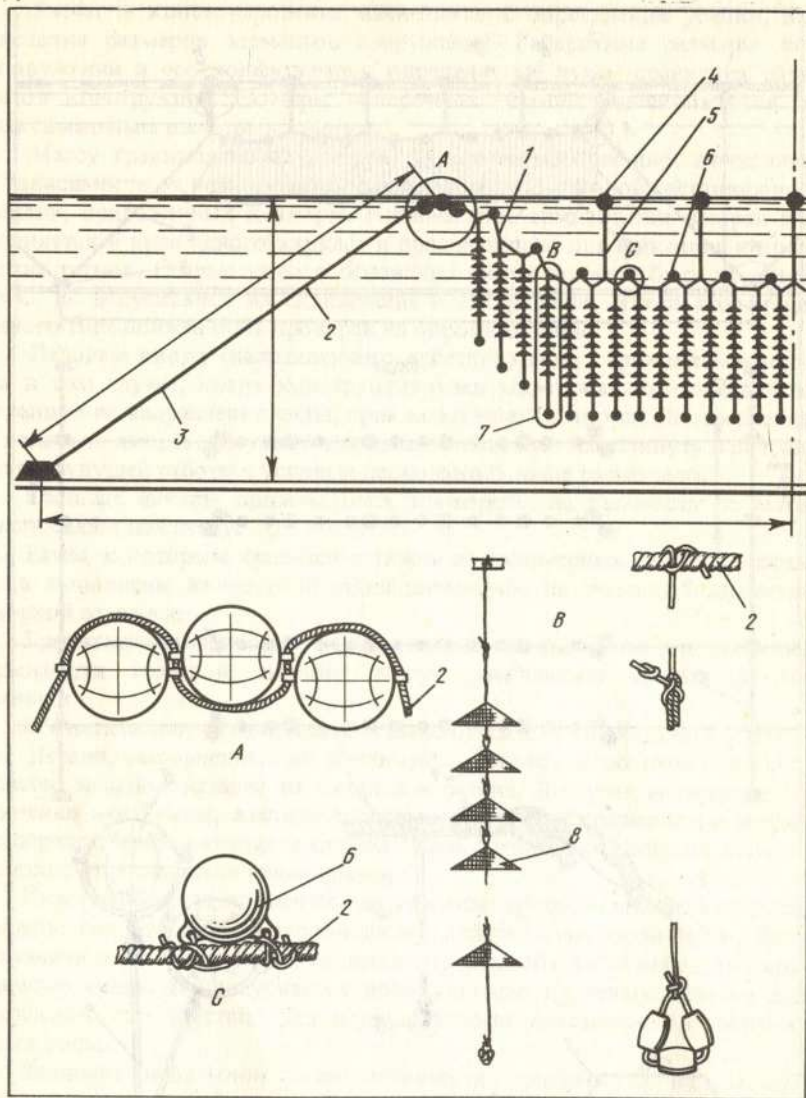


Рис. 55. П-образный элемент с системой погружения-всплытия типа "Бриджстоун":  
 1 — несущий канат; 2 — якорная оттяжка; 3 — якорь; 4, 6 — плавучести; 5 — регулировочный поводок; 7 — выростной элемент (гирлянда); 8 — садок

(НМ), которые сейчас проходят проверку в проектных и производственных подразделениях.

Промышленные сооружения водорослевых плантаций на всем побережье Приморского края выполняются из П-образных элементов (рис. 54). Подобные элементы используются и для выращивания морского гребешка и устриц.

В местах, где это необходимо, П-образные элементы позволяют использовать как традиционные способы погружения-всплытия с помощью грузов, так и способ типа "Бриджстоун" (рис. 55).

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что эксплуатируемые за рубежом сооружения выставляются один раз на весь биологический период развития водорослей. Они должны быть рассчитаны на максимальную нагрузку, возможную в период эксплуатации. Нагрузка определяется в основном размерами живых организмов, максимальное количество которых наблюдается в период сбора урожая. Таким образом, большой период службы элементы сооружений недогружены. Ввиду этого в Приморье приводятся в соответствие технология разведения и конструкция сооружения.

Например, период развития водорослей в двухгодичном цикле можно разбить на два периода: во-первых, выращивание рассады и, во-вторых, доразшивание ее до товарной продукции. Границей этих двух периодов является пересадка. В эти два периода могут быть использованы различные по конструкции сооружения. В первый период они должны быть легкими, а во второй — выдерживать более значительные нагрузки.

Как отмечалось ранее, сооружения, предназначенные для выращивания устриц, мидий, морского гребешка, должны обладать усиленной плавучестью или опираться непосредственно на дно водоема. Для условий эксплуатации на юге Приморья разработаны свайно-балочные системы, представляющие собой стол, выполненный из рельсов-стоек с поперечными и продольными балками. Перекрестная система балок имеет окна размером 6х6 м, в которые подвешиваются несущие хребтины с коллекторами или садками.

Перспективными и экономичными являются сооружения, выполненные на основе свайных анкеров. В них привлекается к работе грунт донных отложений. Трудности, связанные с погружением свай в открытом море, задерживают широкое их внедрение.

Экономика воспроизводства рыбных запасов в нашей стране уже достаточно разработана, однако для процессов культивирования водорослей и беспозвоночных сделаны только первые попытки [33, 50, 81, 82].

По мнению Дж. Бардача с соавторами, эффективность (аква) марикультуры зависит от комплекса сложных и взаимоувязанных факторов, скорее социально-экономического, чем технического характера, и которые, как правило, обусловлены конкретными местными особенностями [9]. Это, в свою очередь, не позволило получить удовлетворительных результатов при попытке сделать широкие обобщения и определить основные экономические принципы (аква) марикультуры.

В настоящее время марикультура, как известно, получает все большее развитие во многих странах, экономика которых тяготеет к океану. Однако их вклад в общие объемы мировой марикультуры, направленность ее и масштабы различны. В 1980 г. более 80% мировой продукции аквакультуры давали страны Азии. На европейские государства приходилось около 13% продукции, а Северная, Латинская Америка и Африка производили соответственно 1,72; 0,86 и 0,05%.

При этом чаще всего именно экономическая целесообразность диктует выбор объектов культивирования. Например, в Японии отдается предпочтение культивированию тех видов рыб и нерыбных объектов, цены на которые стабильно держатся на высоком уровне, а темпы роста и накопление биомассы при интенсивном выращивании достаточно высоки.

В США в 1982 г. объем товарного выращивания водных объектов достиг 150 тыс. т, а к началу 90-х годов этот показатель, как полагают, превысит 600 тыс. т. США намерены сделать марикультуру устойчивым источником, во-первых, деликатесной продукции для внутреннего рынка и уменьшения тем самым ее импорта (ежегодно на сумму до 2 млрд. долларов), а во-вторых, дешевых продуктов для экспорта в развивающиеся страны (в целях усиления экономического давления на них).

В Китае основу продукции марикультуры занимает традиционный объект — ламинария.

Отечественная марикультура базируется главным образом на традиционных объектах, ранее добываемых промышленностью, но в силу обстоятельств, потерявших промысловое значение. Примером может служить культивирование ламинарии, гребешка, сельди.

Таким образом, все вышеизложенное еще раз подтверждает, что развитие марикультуры осуществляется по экономическим принципам, определяющим эффективность морских хозяйств по разведению и выращиванию. Производственная их направленность диктуется, как правило, местными условиями и особенностями.

Марикультура Дальнего Востока также имеет свои особенности, вызванные региональными условиями. Поэтому целесообразным будет рассмотреть основные региональные проблемы экономики марикультуры Дальневосточного бассейна. Одной из таких проблем (весьма сложной) является рациональное размещение хозяйств марикультуры, направленности их хозяйственной деятельности и оптимальных мощностей.

Дальний Восток имеет большую протяженность береговой полосы с севера на юг и большую территорию, весьма разнообразную по уровню хозяйственного освоения и природно-климатическим условиям. Все это определяет дифференциацию экономического результата деятельности морских производств в зависимости от их размещения.

По уровню развития экономики, особенностям хозяйственного освоения и заселения территория Дальнего Востока может быть разделена на зоны интенсивного, умеренного и очагового освоения. Последняя включает северные и островные районы, которым присуща локализация в размещении производства и заселения. В каждой из этих зон действует свой комплекс природных, социально-экономических, технологических, транспортных и других условий и факторов. Они как каждый в отдельности, так и во взаимосвязи определяют направленность марикультуры в конкретном районе.

Рассматривая природно-климатические условия как постоянно действующий фактор на уровень и направленность развития марикультуры, следует подчеркнуть их неоднозначность для различных районов. Они проявляются в значительной дифференциации стоимости строительства морских гидротехнических сооружений, применяемой техники и технологии. Сочетание таких условий, как ледовый режим, длительность периода низких температур, резкие перепады температур в отдельные периоды года, всегда выступает, как причина удорожания гидротехнического строительства.

Как важный фактор размещения следует рассматривать научно-технический прогресс. Он направлен на изменение географии размещения морских хозяйств, интенсификации марикультуры, уменьшения отрицательного влияния местных условий на эффективность производства. Научно-технический прогресс оказывает влияние на размещение марикультуры по следующим основным направлениям:

территориальное расширение, выращивание за счет вовлечения новых видов животных и растений или выведения новых сортов и форм, совершенствование биотехники культивирования. Например, с помощью селекционных работ культивирование ламинарии в Китае осуществляется до 21° северной широты, где в природе ламинария отсутствует; снижение трудоемкости производства в результате совершенствования орудий и предметов труда, что создает условия для продвижения

хозяйств марикультуры в районы со сложными природно-климатическими условиями, ограниченными трудовыми ресурсами и слабой хозяйственной освоенностью;

повышение экономической эффективности производства в результате концентрации и расширения возможностей использования природных и трудовых ресурсов отдельных районов.

К экономическим факторам размещения относятся население и трудовые ресурсы, существующий производственный аппарат и инфраструктура. Под фактором "население и трудовые ресурсы" понимается не столько территориальная дифференциация численности, сколько качественные (квалификационные) различия.

Для районов Дальнего Востока характерна невысокая численность населения, наблюдается крайняя неравномерность расселения вдоль прибрежной полосы с севера на юг. Поэтому решение проблемы трудовых ресурсов на Дальнем Востоке должно идти в направлении интенсификации их использования в сложившихся экономических районах, максимальной замены ручного труда машинами, механизмами, робототехникой, высокоэффективным оборудованием.

Существующий производственный аппарат оказывает влияние на размещение производительных сил благодаря эффективности реконструкции и расширения действующих предприятий и производств. В понятие "производственный аппарат" включается не только основное производство, но и ремонтные предприятия, складское хозяйство и т. п. Такие факторы размещения, как существующий "производственный аппарат" и "инфраструктура", отражают качественные особенности овеществленного труда на данной территории.

С точки зрения трудовых ресурсов, производственного аппарата и инфраструктуры морские хозяйства тяготеют к сложившимся экономическим районам.

Высокая территориальная концентрация производств, тяготеющих к прибрежной зоне, создает в них так называемый агломерационный эффект. В районах высокой концентрации человеческой деятельности, как правило, имеются неиспользованные резервы экономических факторов ("производственный аппарат и инфраструктура", "рабочая сила" и др.) и потенциальные возможности их создания. Здесь представляется возможным использовать свободную рабочую силу и транспорт, догружать производственные мощности основного и вспомогательного производств, емкости холодильных камер и площади складских помещений и т. п. Именно в этих районах и целесообразно с точки зрения эффективности производства размещать хозяйства марикультуры. К ним относятся районы юга Дальнего Востока и в первую очередь Приморского края. Однако, с другой стороны, именно здесь комплекс отрицательных факторов, связанных с урбанизацией территории, может во многом ограничить развитие марикультуры.

Морские хозяйства привязаны к узкой прибрежной полосе моря,

где часто сталкиваются интересы различных отраслей и производств. Например, залив Славянский (Южное Приморье) по комплексу условий перспективен для размещения здесь морских хозяйств по культивированию моллюсков и разведению сельди с помощью искусственных нерестилищ. В настоящее время эти работы широко ведутся в северной части залива. Однако его южная часть, хорошо закрытая и глубоководная, занята судоремонтным предприятием, не совместимым с марикультурой. Таким образом, на акватории залива размещаются альтернативные производства. Это, несомненно, снижает эффективность работы хозяйств марикультуры.

Крупные города и промышленные центры, судоремонтные базы и базы флота занимают, как правило, наиболее удобные заливы и бухты. Масштабы промышленной деятельности в них возрастают, что, как правило, приводит к значительному отрицательному воздействию на элементы морских экосистем. В перспективе урбанизация этих районов усилится. В данном случае имеется в виду:

усиление промышленного использования ресурсного потенциала морей и океанов и в первую очередь их шельфовой зоны;

перспективы комплексного использования морской воды как исходного сырья для различных отраслей промышленности;

разработка эффективных методов и расширение масштабов опреснения морской воды и получения соли и др.

При организации морских хозяйств необходимо также учитывать, что эти районы шельфа могут быть более перспективными с точки зрения добычи различного минерального сырья.

Не следует забывать и о влиянии организованного отдыха и туризма на юге Приморья, которые в отдельных случаях сравнимы с производственной деятельностью.

Таким образом, лишь на первый взгляд в условиях Дальнего Востока перспективных площадей для морских хозяйств достаточно. Однако это не так. Комплекс ограничивающих факторов, рассмотренный нами, значительно лимитирует экстенсивную марикультуру в регионе и ставит задачу ее интенсивного развития. Поэтому при оценке морских акваторий важное значение получает понятие их емкости, или возможная норма одновременного выращивания нескольких неконкурирующих видов. При этом одновременно решается проблема "экономии" пространства акваторий.

Таким образом, с учетом всех социально-экономических факторов морские хозяйства рационально размещать в южных районах Дальнего Востока в непосредственной близости от действующих береговых рыбокомбинатов и поселков рыболовческих колхозов. Это диктуется:

наличием перерабатывающих мощностей на рыбокомбинатах, которые постоянно испытывают потребность в "своем" сырье и поставщиком которого в требуемых объемах могут быть хозяйства марикультуры;

имеющимися трудовыми ресурсами на рыбокомбинатах и в поселках рыболовецких колхозов, которые могут быть потенциально использованы на работах в морских хозяйствах;

территориальным размещением береговых рыбокомбинатов и рыболовецких колхозов, с одной стороны, в непосредственной близости друг от друга, а с другой — в удалении от антропогенных источников; прилегающими к рыбокомбинатам акваториями бухт и заливов, удобными для организации морского хозяйства, где строительство морских гидротехнических сооружений обеспечивается минимальными капитальными затратами;

развитыми транспортными связями с близлежащими поселками, позволяющими обеспечивать производство недостающими трудовыми ресурсами;

минимальными транспортными издержками на доставку сырья к перерабатывающим базам, а готовой продукции — к рынкам сбыта.

О целесообразности размещения морских хозяйств в "зоне" рыбокомбинатов можно говорить в связи с требованиями максимальной концентрации строительства на ограниченной территории с целью экономии капитальных затрат. В данном случае эффект от размещения хозяйств марикультуры вблизи действующих рыбокомбинатов является по сути эффектом прежних капитальных вложений.

Концентрация морских хозяйств преимущественно в прибрежных районах Приморского края объясняется его более широкой освоенностью рыбной промышленностью. Здесь расположены 8 рыбокомбинатов и рыбозаводов, основные из которых тяготеют к южным районам. Они выпускают широкий ассортимент рыбной продукции, включая консервы, полуфабрикаты, кулинарию, копченую и вяленую продукцию. Среднесписочная численность промышленно-производственного персонала составляет более 9 тыс. человек, в основном это постоянные кадры.

Показательна роль рыбной промышленности Приморья в структуре рыбопромышленного комплекса Дальнего Востока. Здесь выпускается почти половина всех рыбных консервов, производимых в регионе, производится до 40% пищевой и около 50% всей технической продукции. На долю приморских портов приходится более 90% всего грузооборота рыбной продукции. На территории края размещены значительные судоремонтные мощности для судов флота рыбной промышленности, созданы лесотарные, жестянобаночные, сетеснастные и другие обслуживающие производства.

Рассмотренные нами основные положения рационального размещения хозяйств марикультуры определяют необходимость их увязки с действующими рыбокомбинатами юга Дальнего Востока. При этом размещение марихозяйств по отдельно выбранным районам сводится к поиску такого варианта среди возможных, который обеспечит минимум суммарных затрат (капитальных и текущих). Проблема решается в рамках ограничения на доступные в данном районе природные ресурсы и

естественные условия; площади пригодных территорий, а также морских акваторий и подводных участков; трудовые ресурсы и перерабатывающие мощности; транспортное обеспечение и связь и т. д.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МАРИКУЛЬТУРЫ

В последние годы все большее значение в освоении ресурсов океана приобретают комплексные производства, обеспечивающие более полное использование природных и трудовых ресурсов, производственного потенциала и инфраструктуры в сложившихся условиях освоения прибрежных районов. Производственные объединения представляют собой, как правило, взаимно обусловленное сочетание предприятий и производств на конкретной территории в соответствии с ее природными условиями и уровнем экономического развития. Обычно они создаются на базе существующих производственных мощностей.

С учетом особенностей размещения хозяйств марикультуры в прибрежной зоне морей Дальнего Востока важная роль в развитии морского культивирования должна принадлежать прибрежным объединениям на базе существующих береговых рыбокомбинатов и рыбозаводов. В их состав должны входить:

существующая береговая база;

береговые цехи по обработке добываемого сырья и урожая, поступающего с морских плантаций и ферм;

добывающий цех и цех марикультуры, обеспечивающие полную нагрузку "своим" сырьем производственных мощностей;

малотоннажный флот комплексного назначения, работающий в прибрежной зоне на естественных запасах и способный вести необходимые работы на плантациях и фермах морских хозяйств;

вспомогательные производства и участки по изготовлению и ремонту орудий лова и промвооружения, обеспечивающих процесс добычи и культивирования;

цехи и участки, использующие отходы основного производства, включая цех по изготовлению сувениров, сырьем для которых будут отходы от переработки различных моллюсков и водорослей.

Экономические показатели производственной деятельности прибрежных объединений во многом будут зависеть от эффективности работы хозяйств марикультуры как структурной единицы. Известно, что наиболее трудоемким процессом в культивировании, требующим значительных материальных и трудовых затрат, является выращивание жизнестойкой молоди. Поэтому целесообразно ее производство на специализированных марикомбинатах. При этом создание марикомбинатов усматривает решение двух проблем. Во-первых, как уже было сказано, снабжение товарных морских хозяйств жизнестойкой молодью, а во-вторых, проведение широких комплексных научно-иссле-

довательских и опытно-экспериментальных работ в решении вопроса эффективности развития марикультуры.

Эффективное развитие марикультуры должно определить такие ее пути, при которых острота противоречий интересов марикультуры и производств других отраслей была бы наименьшей. Решение их или сглаживание может быть осуществлено за счет концентрации марикультуры, повышения эффективности культивирования и перехода от моно- к поликультуре. Это в первую очередь хозяйства, в которых различные объекты культивирования имеют схожую технологию обработки и не требуют дополнительных затрат на приобретение нового технологического оборудования.

Более эффективной может быть специализация морских хозяйств по выращиванию какого-то одного вида в больших объемах. До 80% ламинарии в перспективе планируется направлять на производство альгината натрия и манита. Поэтому целесообразно при заводах, специализирующихся на выпуске этой продукции, иметь мощные специализированные водорослеводческие плантации по выращиванию ламинарии японской, являющейся сырьем для производства этой ценной продукции. Примером повышения эффективности подобных сооружений может служить цех по производству рассады ламинарии и получению молоди лососей, который уже создан в Приморье.

Другим примером, подтверждающим эффективность специализации морских хозяйств, может быть культивирование водорослей-агароносов, являющихся сырьем для получения ценного продукта, потребность в котором очень велика.

Таким образом, отдавая предпочтение развитию того или иного направления марикультуры в регионе, мы должны исходить из учета всех изложенных факторов. Проведенный анализ показывает, что в ближайшие годы наиболее перспективными будут три направления: заводское разведение тихоокеанских лососей, культивирование морской капусты, культивирование моллюсков.

Несмотря на ряд проблем, уже сейчас ясно, что наиболее перспективным районом для марикультуры на Дальнем Востоке является Тихоокеанское побережье, особенно Приморье и Сахалин, где отмечаются высокие темпы ее развития, широта охвата объектов культивирования и достигнуты практические результаты. Достаточно сказать, что здесь ведутся исследования по культивированию дальневосточных лососей, трех видов моллюсков, трепанга, ламинарии, грацилярии, анфельдии, костарии, микроводорослей. Разрабатываются: замкнутые системы жизнеобеспечения и водоподготовки, теоретические основы расчетов конструкций и сооружений для хозяйств марикультуры, вопросы механизации трудоемких процессов культивирования организмов и обработки сырья, специализированный флот для работы на плантациях, экономические основы эффективности развития марикультуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прежде чем закончить обсуждение проблем марикультуры на Дальнем Востоке, представляется целесообразным кратко рассмотреть перспективы развития этой отрасли в регионе.

Прибрежные воды советского Дальнего Востока являются основным районом распространения бурых водорослей, главным образом морской капусты. Только у берегов Приморья ее запасы (по сырой массе) в отдельные годы оценивались в 200—250 тыс. т, а изъятие достигало 15 тыс. т. Еще более внушительны запасы в районе Курильских островов, где ежегодное изъятие может составлять более 100 тыс. т [31]. Однако данная биомасса распределена на больших площадях и ее добыча требует больших затрат немеханизированного ручного труда. Поэтому в последние годы добыча морской капусты резко сократилась.

Создание плантаций с устойчивым урожаем решает целый ряд проблем и в первую очередь приближает сырье к базам переработки, стабилизирует его поступление, позволяет полнее и ритмичнее использовать мощности береговых обрабатывающих предприятий. При этом, хотя себестоимость выращенной капусты на 10—15% выше, чем добытой из естественных зарослей, создание искусственных плантаций на современном уровне развития рыбного хозяйства оказывается более предпочтительным. Это очевидно хотя бы из того факта, что на созданных у берегов Приморья плантациях максимальная урожайность морской капусты может достигать 120 т/га сырой массы, а средняя составляет 70 т/га [49]. При двухгодичном цикле выращивания экономическая эффективность капиталовложений в расчете на 1 тыс. т воздушно-сухой массы капусты составляет 0,16 млн. руб. Одногодичный цикл культивирования в 1,4 раза больше капиталовложений, сокращает срок окупаемости хозяйств в 3, 4 раза.

По предварительным данным, только в водах Приморья общая площадь плантаций морской капусты может составить около 5 млн. га с получением 150—200 тыс. т сырья за год при условии сочетания двух- и одногодичного циклов культивирования и 350 тыс. т в случае полного перевода всех плантаций на одногодичный цикл.

Последние 10—15 лет численность промысловых моллюсков, в частности приморского гребешка и мидии, в водах Приморья держится на низком уровне. Как следствие, возникла острая необходимость создания промышленных плантаций. Данная цель в отношении приморского гребешка может достигаться двумя путями. Во-первых, возможны покровительственные мероприятия, способствующие повышению выживаемости молоди в местах естественного воспроизводства. Во-вторых, практикуется получение молоди в контролируемых условиях. В обоих случаях дальнейшее подращивание производится на дне или в подвесных садках. В первом случае затраты минимальные, но не обеспечивается

стабильность получения посадочного материала в межгодовом аспекте. Во втором случае требуются значительные затраты, эффективность которых повышается с увеличением масштабов производства. Из четырех возможных вариантов самым рентабельным является тот, когда спат собирается в природе и молодь после годичного подращивания в садках отсаживается на грунт. Из-за трудности регуляции численности хищников, непредсказуемых миграций гребешка и по ряду других причин эта технология не гарантирует стабильного урожая. Тем не менее донный способ пока является основным. По ориентировочным подсчетам, в Приморье возможно создание плантаций на площади около 5 тыс. га с получением 47 тыс. т гребешка в створках. Потенциально для этих целей подходит и шельф о-ва Сахалина.

Несколько иначе обстоит дело с культивированием устрицы. Данный вид промысловых банок в условиях Приморья не образует. Вместе с тем экспериментами на полупромышленных установках доказана возможность создания плантаций. Биотехнология культивирования учитывает климатические особенности региона, но в общих чертах не отличается от принятой в мировой практике. Рентабельность будущих хозяйств достаточно высока, так как основные затраты несут только кроветельственные мероприятия на начальных стадиях развития молоди. Существенное значение имеет и относительно короткий производственный цикл. Экспериментальным путем установлено, что в Южном Приморье урожайность устричной плантации составляет 7–8 т/га чистого мяса и в 8–10 раз выше, чем при выращивании гребешка на дне. Общая возможная площадь плантаций только в заливе Петра Великого может составить около 6 тыс. га.

Мидия, съедобная при культивировании приморского гребешка в садках, является сопутствующим видом-образателем и отрицательно влияет на его рост. Разработанная технология ее культивирования в монокультуре показала очень высокую эффективность: 1 га плантации способен давать до 70 т чистого мяса. Неприхотливость данного вида к условиям обитания позволяет создавать любые плантации, площади которых лимитируются лишь комплексом социально-экономических факторов.

Особенно следует остановиться на перспективах культивирования трепанга. У него, как ни у одного из рассмотренных беспозвоночных, резко выражена межгодовая изменчивость количества личинок в планктоне. Как следствие, трудно гарантировать стабильность сбора молоди. В силу этого заводской способ получения молоди является предпочтительным, несмотря на дополнительные расходы. В дальнейшем при 20% выживаемости подращенной молоди на грунте через два года можно получить до 4 т кожно-мускульного мешка с 1 га.

Таким образом, в водах Дальнего Востока реально крупномасштабное культивирование беспозвоночных и водорослей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрийская А. О., Котляр О. Выращивание рыбы в циркуляционных системах. – Рыбоводство и рыболовство, 1979, № 6, с. 17.
2. Алексин М. Трепанг (*Stichopus japonicus* Selenka) и его промышленное значение. – В сб.: Рыбная промышленность Дальнего Востока. Спб., 1912, с. 1–63.
3. Андреева Н. М., Заславский Е. М., Климова В. Л. Взаимосвязь концентрации органического вещества в осадках и распределения бентоса залива Петра Великого. – Труды ВНИРО, 1979, т. 136, вып. 1, с. 82–87.
4. А. с. 660634 (СССР). – Б.И., 1979, № 17.
5. А. с. 793533 (СССР). – Б.И., 1981, № 1.
6. Аси А. А. Экспериментальная рециркуляционная установка БИОРЕК для выращивания форели. – Рыбное хозяйство, 1980, № 2, с. 30–32.
7. Бабенко А. И. Конструкции водорослевых плантаций в Приморье. – Рыбное хозяйство, 1981, № 10, с. 68–69.
8. Баранова З. И. Иглокожие залива Посыета Японского моря. Фауна и флора залива Посыета Японского моря. – Исслед. фауны морей, 1971, вып. 8 [16], с. 242–264.
9. Бардач Дж., Ритер Дж., Макларни У. Аквакультура. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 294 с.
10. Белогрудов Е. А. Биологические основы и биотехника разведения гребешка (*Patinopecten Yessoensis* Jay). – В сб.: Биол. ресурсы морей Дальнего Востока. Владивосток, 1975, с. 85–86.
11. Белогрудов Е. А., Раков В. А. Биотехника и результаты искусственного воспроизводства промысловых запасов двусторчатых моллюсков залива Посыета (Японское море). – В сб.: I съезд советских океанологов: М., 1977, вып. 2. – 144 с.
12. Белянин В. Н., Тренкеншу Р. П. Параметрические модели. – В сб.: Вопросы управления биосинтезом низших растений. – Новосибирск: Наука, 1982, с. 6–35.
13. Бирюлина М. Г. Биолого-экологические особенности, распределение и запасы промысловых беспозвоночных в заливе Петра Великого. Дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук. Владивосток, 1972. – 191 с.
14. Блинова Е. И. Ресурсы морских водорослей и трав в океане. – В сб.: Биологические ресурсы и их использование. М., 1976, с. 179–192.
15. Бочкарева Н. А. Некоторые данные о видовом составе фитопланктона бухт залива Посыета. – В сб.: Исследования по биологии рыб и промысловый океанографии. – Владивосток: ТИНРО, 1974, вып. 5, с. 11–34.
16. Брегман Ю. Э. Взаимосвязь роста и энергетического обмена у некоторых промысловых донных беспозвоночных залива Посыета (Японское море). Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук. Владивосток, 1973. – 33 с.
17. Виноградов Л. Г. Камчатский краб. Владивосток: ТИНРО, 1941, 94 с.
18. Виноградов Л. Г. Годичный цикл жизни и миграции краба в северной части западнокамчатского шельфа. – Известия ТИНРО, 1945, т. 19, с. 3–54.
19. Волков А. Ф., Говоруха А. Г., Ефимкин А. Я. Развитие ранних стадий и рост травяного шримса *Pandalus kessleri* в аквариальных условиях. – Известия ТИНРО, 1979, т. 103, с. 39–42.
20. Вышквардцев Д. И. Особенности продукционных процессов в мелководных бухтах залива Посыета (Японское море). Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук. Владивосток, 1979. – 21 с.
21. Ялов О. С. О некоторых устрицах залива Петра Великого. – ДАН СССР, 1945, т. 50, с. 521–524.
22. Габеев Д. Д. Оседание личинок двусторчатых моллюсков и мор-

ских звезд на коллекторы в заливе Посыета (Японское море). — Биология моря, 1981, № 4, с. 59–64.

23. Горомосова С. А., Шапиро А. З. Физиолого-биохимические аспекты адаптивных свойств мидий в норме и в экстремальных условиях. — В сб.: Промысловые двустворчатые моллюски — мидии и их роль в экосистемах. — Л.: ЗИН АН СССР, 1979, с. 45–47.

24. Давлетшин В. Х., Стоценко А. А. Измерение усилий в элементах установки для выращивания морского гребешка в натуральных условиях. — Труды ДВПИ, 1975, т. 109, с. 60–66.

25. Закс И. Г. Биология и промысел краба *Paralithodes* в Японском море. — Вестник Дальневосточного фил. АН СССР, 1936, № 18, с. 49–79.

26. Зубкова Н. А. Опыт содержания камчатского краба в аквариуме. ММБИ, 1964, вып. 5 (9), с. 161–169.

27. Иванов А. В., Стрелков А. А. Промысловые беспозвоночные дальневосточных морей. — Владивосток, 1949. — 43 с.

28. Иванова М. Б. К распространению и распределению *Mytilus edulis* L. на литорали дальневосточных морей СССР. — В сб.: Промысловые двустворчатые моллюски — мидии и их роль в экосистемах. Л.: ЗИН АН СССР, 1979, с. 58–60.

29. Карпевич А. Ф., Михайлов Б. Н. Солевые и температурные требования тихоокеанской креветки (*Pandalus latirostris* Rathbun). — Труды ВНИРО, 1964, т. 55, 2, с. 185–191.

30. Карпевич А. Ф. Теория и практика акклиматизации водных организмов. — М.: Пищевая промышленность, 1975. — 432 с.

31. Кизеветтер И. В., Суховеева М. В., Мелькова Л. П. Промысловые морские водоросли и травы дальневосточных морей. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 113 с.

32. Кинне О. Реализм в аквакультуре — взгляд эколога. — Биология моря, 1983, № 6, с. 3–11.

33. Кисилев В. К., Кисилева Р. А. Экономика воспроизводства рыбных запасов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. — 192 с.

34. Кобякова З. И. О некоторых изменениях фауны в прибрежных участках залива Петра Великого. Вестник МГУ, 1962, № 12, с. 63–71.

35. Кожин В. Ф., Кожин И. В. Озонирование воды. — М.: Стройиздат, 1974. — 170 с.

36. Коновалов С. М. Субизолят как относительно жесткая система. Функция субизолята. — Общая биология, 1975, № 35 (5), с. 731–743.

37. Коновалов С. М. Популяционная биология тихоокеанских лососей. — Л.: Наука, 1980. — 237 с.

38. Крупнова Т. Н., Подкорытова А. В. Морфобиологические группы *Laminaria japonica* Aresch. и их биохимические особенности. — Растительные ресурсы, 1985, т. XXI, вып. 2, с. 210–216.

39. Куличкова В. А. Питание камчатского краба в весенне-летний период у берегов Камчатки и Сахалина. — Известия ТИНРО, 1955, т. 43, с. 21–42.

40. Кун М. С., Микулич Л. В. Состав пищи дальневосточных промысловых крабов в летний период. — Известия ТИНРО, 1954, т. 41, с. 319–332.

41. Кучерявенко А. В. Расчет потенциальной мощности устричного хозяйства в заливе Посыета. — В сб.: Шельфы: проблемы природопользования и охраны окружающей среды. Владивосток, 1982. — 106 с.

42. Лавровская Н. Ф. Выращивание водорослей и беспозвоночных в морских хозяйствах. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 124 с.

43. Лавровский В. В. Пути интенсификации рыболовства. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 168 с.

44. Логвиненко Б. М. и др. О генетическом и морфологическом разнообразии приморского гребешка (*Patinopecten yessoensis*) в трех заливах Японского моря. — Зоологический журнал, 1982, т. 61, вып. 11, с. 1643–1651.

45. Логвиненко Д. Н. Аквариальные наблюдения над питанием камчатского краба. — Известия ТИНРО, 1945, т. 19, с. 79–97.

46. Макиенко В. Ф. Исследование водорослей (*Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf.), перспективных для культивирования на Дальнем Востоке. — Труды ВНИРО, 1979, т. 138, с. 51–59.

47. Макиенко В. Ф., Золотухина Л. С. Жизненный цикл *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. у берегов Дальнего Востока. — Известия ТИНРО, 1979, т. 103, с. 55–60.

48. Макарова Л. Г., Кучерявенко А. В. К расчету потенциальной мощности гребешкового хозяйства в бухтах залива Посыета. Тезисы докладов IV Всесоюзного совещания по научно-техническим проблемам мариккультуры. — Владивосток: ТИНРО, 1983, с. 184–185.

49. Марковцев В. Г., Чигиринский А. И. Современное состояние и перспективы развития аквакультуры в Дальневосточном бассейне. — В сб.: Научно-техн. проблемы развития мариккультуры. Владивосток, 1980, вып. 3, с. 8–10.

50. Марковцев В. Г., Чижов Л. Н. Состояние и перспективы развития мариккультуры в Приморском крае. — В сб.: Проблемы и основные направления комплексного развития Приморского края. Владивосток, 1981, с. 135–141.

51. Микулич Л. В., Ефимкин А. Я. Распределение скоплений травяной креветки (*Pandalus kessleri* Czerniawski) в заливе Петра Великого. — Известия ТИНРО, 1982, т. 106, с. 54–61.

52. Микулич Л. В., Цихон-Луканина Е. А. Состав пищи приморского гребешка. — Океанология, 1981, т. 21, вып. 5, с. 894–897.

53. Милн П. Х. Морские хозяйства в прибрежных водах. — М.: Пищевая промышленность, 1978. — 196 с.

54. Моисеев П. А. Мировое рыболовство и аквакультура. — Тезисы докладов IV Всесоюзного совещания по научно-техническим проблемам мариккультуры. — Владивосток: ТИНРО, 1983, с. 3–5.

55. Мокрецова Н. Д. Биология размножения трепанга *Stichopus japonicus* Selenka как основа биотехники его разведения. Дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук. Владивосток, 1978. — 168 с.

56. Нарыгин О. А. Перспективы использования оборотного водоснабжения на лососевых рыболовных заводах. — В сб.: Мариккультура на Дальнем Востоке. — Владивосток: ТИНРО, 1980, с. 127–133.

57. Никифоров С. М. К систематике устриц, обитающих у берегов Южного Приморья. — В сб.: Материалы I Всесоюзной конференции по морской биологии. Владивосток, 1977. — 108 с.

58. Ничипорович А. А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений. — В кн.: Физиология фотосинтеза. — М.: Наука, 1982, с. 7–33.

59. Одум Ю. Основы экологии. — М.: Мир, 1975. — 740 с.

60. Патин С. А. Мировая и отечественная мариккультура: Достижения, трудности, перспективы. Тезисы докладов I Всесоюзного симпозиума "Теоретические основы мариккультуры". М., 1982, с. 46–47.

61. Петров Ю. Е. Отдел бурые водоросли. — В кн.: Жизнь растений. Т. 3. Водоросли. Лишайники. — М.: Просвещение, 1977, с. 143–192.

62. Поганкин М. В. Материалы по экологии иглокожих залива Петра Великого. — Известия ТИНРО, 1952, т. 37, с. 175–201.

63. Пржеменецкая В. Ф., Климова В. Л. Эпифиты ламинарии (*Laminaria japonica*, Phaeophyta) в культуре. — В сб.: Мариккультура на Дальнем Востоке. — Владивосток: ТИНРО, 1983, с. 110–119.

64. Проссер Л. Сравнительная физиология животных. — М.: Мир, т. 1, 1978. — 608 с.

65. Разин А. И. О запасах промысловых моллюсков в заливе Посыета. — Социалистическая реконструкция рыбного хозяйства Дальнего Востока, 1931, № 5–7, с. 135–141.

66. Разин А. И. Морские промысловые моллюски Южного Приморья. — Известия ТИНРО, 1934, т. 8, с. 3—100.
67. Резниченко О. Г., Солдатова И. Н. Экспериментальное обоснование специфики ценозов обрастания. — В сб.: Материалы симп. по эксперимент. экол. морск. беспозвоночных. Владивосток, 1976, с. 150—153.
68. Саенко Г. Н., Пржеменецкая В. Ф., Балдина О. Г. Микроэлементы в грацилярии. Тезисы докладов IV Всесоюзного совещания по научно-техническим проблемам марикультуры. — Владивосток: ТИНРО, 1983, с. 136—137.
69. Сарочан В. Ф. Об искусственном разведении морских водорослей в условиях Дальнего Востока. — Труды Всесоюзного совещания работников водорослевого промысла СССР. Архангельское кн. изд-во, 1962, № 1, с. 45—49.
70. Скарлато О. А. Двустворчатые моллюски дальневосточных морей СССР (отряд *Dysodonta*). Определитель по фауне СССР. — Л.: ЗИН АН СССР, 1960, т. 71. — 150 с.
71. Скарлато О. А., Старобогатов Я. И. Положение в системе и распространение мидий. — В сб.: Промысловые двустворчатые моллюски—мидии и их роль в экосистемах. — Л.: ЗИН АН СССР, 1979, с. 106—111.
72. Скарлато О. А. Двустворчатые моллюски умеренных широт западной части Тихого океана. — Л.: Наука, 1981. — 479 с.
73. Скаткин П. Н. Биологические основы искусственного рыборазведения. — М.: Наука, 1962. — 244 с.
74. Соин С. Г. и др. О некоторых биологических основах интенсификации рыбного хозяйства. — Тезисы докладов I Всесоюзного симпозиума "Теоретические основы аквакультуры". М., 1983, с. 59—61.
75. Спичак М. К., Душкина Л. А., Чернышов В. И. Задачи аквакультуры как специфической отрасли народного хозяйства и ее проблемы как инженерно-биологической науки. Тезисы докладов I Всесоюзного симпозиума "Теоретические основы аквакультуры". М., 1983, с. 61—63.
76. Стоценко А. А. О сроках проведения испытаний натуральных установок для выращивания марикультуры. — В сб.: Долговечность строительных конструкций и материалов в условиях Дальнего Востока. — Владивосток, 1977, вып. 1, с. 133—141.
77. Судzuki А. М. Основные направления развития аквакультуры Японии в условиях введения 200-мильной зоны. — ЭИ ЦНИИТЭИРХ. М., 1978, вып. 6. — 16 с.
78. Гарвердиева М. И. Питание крабов в Беринговом море. — В сб.: Гидробиология и биогеография шельфов холодных и умеренных вод Мирового океана. — Л.: Наука, 1974, с. 62—67.
79. Усов А. И., Иванова Е. Г., Макиенко В. Ф. Полисахариды водорослей. XXIX. Сравнение образцов агара из различных генераций *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Parrenf. — Биоорганическая химия, 1979, т. 5, № 11, с. 1647—1653.
80. Фоминых А. М. Применение гидроциклонов для грубой очистки речной воды. — Водоснабжение и санитарная техника, 1964, № 10, с. 32—33.
81. Чижов Л. Н. Теоретические аспекты экономики марикультуры. — В сб.: Научно-технические проблемы развития марикультуры. Владивосток, 1980, вып. II, с. 6—7.
82. Чижов Л. Н. Вопросы эффективности развития марикультуры на Дальнем Востоке. Тезисы докладов IV Всесоюзного совещания по научно-техническим проблемам марикультуры, Владивосток, ТИНРО, 1983, с. 16—17.
83. Шепель Н. А. Экология мидии *Mytilus edulis* в связи с ее культивированием в заливе Посьета (Японское море). — В сб.: Промысловые двустворчатые моллюски—мидии и их роль в экосистемах. — Л.: ЗИН АН СССР, 1979, с. 126—127.
84. Яковлев С. И. Трепанг. — Хабаровск—Владивосток, 1927. — 48 с.
85. Anderson L. G. An economist looks at mariculture. MTS Journal, 1973, Vol. 7, No. 3, p. 9—15.
86. Anon. Pressure type rapid sand filters. — "Ebara—Infilco" Co. Ltd., 1979.
87. Anon. Fish farms in a factory basement. — "Fish farming international", 1980, No. 9, p. 16—19.
88. Baird R. H. Notes on an scallop (*Pecten maximus*) population in Holyhead harbour. Mar. Biol. Ass. U.K., 1966, Vol. 46, No. 1, p. 33—47.
89. Bird C. A., Edelstein T., McLachlan J. Studies on *Gracilaria* Occurrence in Atlantic Canada, with particular reference to Pomquet Harbour, Nova Scotia. "Natur. can.", 1977, Vol. 104, No. 3, p. 257—266.
90. Burrows R. E., Combs B. D. Controlled environments for salmon propagation. "The Progressive Fish—Culturest", 1968, Vol. 30, No. 3, p. 123—137.
91. Cabioch J. Un nouveau cas d'anomalie du cycle des Gigartinales (algues floridees). "C.R. Acad. Sci.", 1972, D 215, No. 18, p. 1979—1981.
92. Carmignani G. M., Bennett J. P. Rapid start-up of a biological filter in a closed aquaculture system. — "Aquaculture", 1977, Vol. 11, p. 85—88.
93. Chapman A. R. and Craigie J. S. Seasonal growth in *Laminaria longicuris*: relation with dissolved inorganic nutrients and internal reserves of nitrogen. Mar. Biol., 1977, Vol. 40, p. 197—205.
94. Chapman A. R., Markham J. W., Luning K. Effects of nitrate concentration on the growth and physiology of *Laminaria saccharina* (Phaeophyta) in culture. J. Phycol., 1978, Vol. 14, No. 2, p. 195—198.
95. Cheng T. H. Production of Relp a major aspects of China exploitation of the sea. — Econ. Bot., 1969, Vol. 23, No. 3, p. 215—236.
96. Cossou J. Action de la temperature et de lumiere sur le developement du gametophyte de la *Laminaria digitata* (L.) Lamour. (Pheophycees, Laminariales). — C.R., Acad. Sci., 1973, Vol. 276, No. 6, p. 973—975.
97. Curry C. Management of salt water fish. "Jowa state uneversty Vetrinarian", Vol. 38, No. 2, p. 76—79.
98. DeBoer L. A., Ryther J. H. Potential yields from a wasterecycling algal mariculture system. In: The Marine Plant Biomass of the Pacific Nortwest — A Potential Economic Resource (Krauss R.W., Ed.), Oregon State University Press, 1978, Corvallis, p. 231—249.
99. Droop M. R. The nutrient status of algal cells in continous culture. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 1974, Vol. 54, p. 825—855.
100. Droop M. R., Mickelson M. J., Scott J. M., Turner M. F. Light and nutrient status of algal cells. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 1982, Vol. 62, p. 403—434.
101. Edelstein T. Studies on *Gracilaria* sp.: experiments on inocula incubated under greenhouse conditions. "J. Exp. Mar. Biol. and Ecol.", 1977, Vol. 30, No. 3, p. 249—259.
102. Fralick R. A., Deboer J. Growth physiology of *Gracilaria foliifera* (Rhodophyta, Gigartinales). "J. Physol.", 1977, Vol. 13, No. 2, Suppl., 22.
103. Forster J. Studies of nitrification in marine biological filters. — Aquaculture, 1974, Vol. 4, p. 387—397.
104. Glude J. B. Oyster culture — A World Review. — Advances in Aquaculture. Fish. News Books LTD., Farnham, Surrey, England, 1979, p. 325—332.
105. Goldman J. S. Steady-state growth of phytoplankton: comparison of internal and external nutrient equation. J. Phocol., 1977, Vol. 13, p. 251—258.
106. Golikov A. W., Scarlato O. A. Abundance, dynamics and production properties of pooulations of edible bivalves *Mpzuhopecten Yessoensis* and *Spisula sachalinensis* related to the problem of organization of controllabe submarine farms of the western shores of the sea of Japan. Helgolander wiss. Meeresunters., 1970, Bd. 20, p. 498—513, fig. 1—14.
107. Hasegawa Y. Progress of *Laminaria* Cultivation in Japan. — J. Fish. Res. Board Can., 1976, Vol. 33, No. 4, part 2, p. 1002—1006.
108. Hirayama K. Studies on water control by filtration through sand bed in a marine aquarium with closed circulatins system. — "Bull. Jap. Soc. Sci. Fich.", 1965, Vol. 31, No. 12, p. 977—982.

109. Hirayama K. Water control by filtration in closed culture system Aquaculture., 1974, Vol. 4, p. 369-385.
110. Huguenin J. E. An examination of problems and potentials for future large-scale intensive seaweed culture systems. "Aquaculture", 1976, Vol. 9, No. 4, p. 313-342.
111. Idyll C. P. Marine aquaculture: Problems and Prospects, J. Fish. Res. B. Can., No. 12, p. 2178-2183.
112. Ito S., Kanno H., Takahashi K. Some problems on culture of the scallops in Mutsu Bay. - Bull. Mar. Biol. St. Asamushi, 1975, Vol. 15, No. 2, p. 89-100.
113. Kashiwagi M. Ecological Studies on the "Hokkai-Ebi", *Pandalus kessleri*, Found in Yamaha Bay. 1. On growth and the egg carrying period. Bull. of the Japanese Soc. of Sci. Fish., 1974, Vol. 40, No. 10, p. 635-642.
114. Kurata H. The Post-Embryonic Development of the Prawn, *Pandalus kessleri*. Bull. of the Hokkaido reg. Fish. Res. Lab., 1955, No. 12, p. 1-15.
115. Kurata H. Studies on the larvae and post-larvae of *Paralithodes camtschatica* III. The influence of temperature and salinity on the survival and growth of the larva. Bull. Hokk. Reg. Fish. Res. Lab., 1960, Vol. 21, p. 9-14.
116. Lapointe B. E., Ryther J. H. Some aspects of the growth and yield of *Gracilaria tikvahiae* in culture. Aquaculture. 1978, Vol. 15, p. 185-193.
117. Lewis S., Inze. Mussel culture: An East Coast perspective. In: Developm. in Aquaculture and Fisher. Sci. 7. Ed. Richard A. Lutz. Amsterdam-Oxford, 1980, No. 7, p. 99-140.
118. Liao P. B., R. G. Mayo. Intensified Fish Culture combining water reconditioning with pollution abatement. - Aquaculture, 1974, Vol. 3, p. 61-85.
119. Liao P. B. Treatment unit used in recirculation systems for intensive aquaculture. - EIFAC/80+Symp., R/5, Stavanger, 1980, May.
120. Longwell A. C., Stiles S. S. The genetic system and breeding potential of the commercial American oyster. Endeavour, 1970, Vol. 29, p. 94-99.
121. Mandelli Enrique F., Acufia Amado C. The culture of the mussel *Perna* and the mangrove oyster *Crassostrea* in Venezuela. - Mar. Fish. Rev., 1975, Vol. 37, No. 1, p. 15-18.
122. Marukawa H. Biological and fishery research on Japanese king crab *Paralithodes camtschatica*. Journ. Fish. experimental station., 1933, No. 4, p. 123-190.
123. Mathieson A. C. A comparison of seaweed mariculture programs activities. In: World Conference on Aquaculture. Venezia, 1981, p. 10-11.
124. Mayo R. D. AA format for planning a commercial model aquaculture facility. Technical reprint N30, Krammer, Chin c., Mayo Inc. Consulting Engineers, Architects Scientist, Seattle, Washington 98101 (206), 447-5300, 1974, p. 1-60.
125. Meade T. L. The technology of closed system culture of salmonids in University of Rhode Island. Marine Technical Report, 1974, No. 30, p. 30.
126. Michanek G. Seaweed Resources of the Ocean. FAO Fish. Techn. Pap., 1975, No. 138, p. 127.
127. Milne P. H. Engineering and the economics of aquaculture. - J. Fish. Res. Board. Can., 1976, Vol. 33, No. 4, p. 888-898.
128. Nag K. S., Mueller J. S., Walden C. C. Foam separation for detoxication of bleached kraft mill effluents. - "Water Poll. Contr. Fed.", 1976, Vol. 48, No. 3, p. 458-471.
129. Nakaniishi T. Rearing larvae and post-larvae of the King crab (*Paralithodes camtschatica*). "FAO Techn. Conf. Aquaculture Prepr.", 1976, No. E44, III, 4pp.
130. Neish K. C., Knutson L. B. The significance of density and agitation during the propagation of detached macrophytes. "J. Phocol.", 1977, Vol. 13, No. 2, Suppl., p. 48.
131. Ogata E., Matsui T., Nakamura H. The life cycle of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyceae, Gigartinales) in vitro. "Phycologia", 1972, Vol. 11, (1), p. 75-80.

132. Pelay N. V. R. State of aquaculture 1981. World Conference on Aquaculture and International Aquaculture Trade Show. Venezia, 1981, p. 2.
133. Price K. S., Carriker M. R. et al. Mariculture in controlled environment seawater systems. A review of research at the University of Delaware (1968-75). FAO Techn. Conf. Aquacult. (prepr.), 1976, NE37, No. 1, p. 5.
134. Raju P. V., Thomas P. C. Experimental field cultivation of *Gracilaria edulis* (Gmel.) Silva. "Bot. Mar.", 1971, Vol. 14, No. 2, p. 71-75.
135. Saeki A. Studies on fish culture in the aquarium of closed-circulating system. Its Fundamental theory and standard plan. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 1958, No. 23, p. 684-695.
136. Sanbonsuga Y. Studies of the growth of forced *Laminaria*. Bull. Hokk. Reg. Fish. Res. Lab., 1984, No. 49, p. 83.
137. Sauvageau M. C. Recherches sur la Laminaires des cotes de France. - Mem. Acad. Ci., Paris, 1978, Vol. 56, p. 137-201.
138. Short Z., Olson P. R. Oyster shells and foam formations used to improve quality of water recirculated in a fish hatchery incubations, The progressive Fish-Culturest, 1970, Vol. 32, No. 3, p. 180-182.
139. Sivapalan A. Cultivation of *Gracilaria lichenoides* in Puttalam lagoon., Bull. Fish. Res. Stat. Ceylon, 1975, Vol. 26, No. 1-2, p. 1-3.
140. Shang Y. C. Economic aspects of *Gracilaria* culture in Taiwan., Aquaculture, 1976, Vol. 8, No. 1, p. 1-7.
141. Speese R. E. Trout metabolism characteristics and the rational design of nitrification facilities for water reuse in hatcheries. Trans. Amer. Fish. Soc., 1973, Vol. 102, No. 2, p. 323-334.
142. Sootte S. H. Fish and invertebrate culture. Water management in closed systems. Wiley, New York, 1970.
143. Tenore K. R. Food chain dynamics of abalone in polyculture system. Aquaculture, 1976, Vol. 8, No. 1, p. 23-27.
144. Vahl O. Efficiency of particle retention in *Mytilus edulis* Z., *Ophelia*, 1972, Vol. 10, No. 1, p. 17-25.
145. Yamada N. Current status and future prospects for harvesting and resource management of the agarophytes in Japan., J. Fish. Res. Board. Can., 1976, Vol. 33, No. 4, part 2, p. 1024-1030.
146. Yamamoto Y. Recent advances in the ecological studies on the Japanese scallop. Bull. of the Mar. Biol. St. of Asamushi Tohoku Univ., 1975, Vol. 15, No. 2, p. 53-58.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение (Ю. Э. Брегман, В. Г. Марковцев, В. А. Силкин) . . . . .	3
Культивирование водорослей-макрофитов (В. Ф. Пржеменецкая) . . . . .	8
Управление ростом в аквакультуре водорослей (В. Д. Дзизюров, В. А. Силкин) . . . . .	10
Управление ростом анфельдии в искусственных условиях (В. Д. Дзизюров, В. А. Силкин) . . . . .	16
Культивирование грацилярии (В. Ф. Пржеменецкая) . . . . .	20
Биология и культивирование ламинарии японской (С. К. Буянкина, Т. Н. Крупнова) . . . . .	32
Культивирование двусторчатых моллюсков (Ю. Э. Брегман, Е. А. Белогрудов, В. А. Раков, Н. А. Шепель) . . . . .	55
Методология конхокультуры (Ю. Э. Брегман) . . . . .	61
Методы определения потенциальной нагрузки на акватории (Ю. Э. Брегман, А. В. Кучерявенко) . . . . .	63
Биология и культивирование приморского гребешка (Е. А. Белогрудов) . . . . .	66
Биология и культивирование устриц (В. А. Раков) . . . . .	72
Биология и культивирование мидии обыкновенной (Н. А. Шепель) . . . . .	85
Культивирование промысловых ракообразных (А. Я. Ефимкин, Л. В. Микулич) . . . . .	91
Травяная креветка . . . . .	92
Камчатский краб . . . . .	100
Культивирование трепанга (Н. Д. Мокрецова) . . . . .	116
Биология трепанга . . . . .	117
Биотехника культивирования трепанга . . . . .	124
Технические устройства, применяемые в марикультуре (И. В. Проскуренко, О. А. Нарьгин, А. А. Стоценко) . . . . .	136
Проектирование и расчет систем водоподготовки с частичной регенерацией воды . . . . .	136
Гидробиотехнические сооружения . . . . .	158
Экономические аспекты развития марикультуры (В. Г. Марковцев, Л. Н. Чижов) . . . . .	176
Размещение хозяйств марикультуры . . . . .	177
Основные направления развития марикультуры . . . . .	181
Заключение (В. Г. Марковцев) . . . . .	183
Список использованной литературы . . . . .	185