

Марикультура

Лекция **2**

Культивирование водорослей

Морские растения

- Морские растения - все автотрофные организмы, обитающие в море, содержащие хлорофилл А и осуществляющие процесс фотосинтеза с созданием органических веществ из двуокиси углерода (или бикарбоната) и воды с выделением молекулярного кислорода за счет энергии света.
- Морские растения представлены микро- и макроорганизмами, обитающими в толще воды (фитопланктон), на дне (фитобентос) или на искусственном субстрате (фитообрастания).
- Фитопланктонные организмы – это в основном одноклеточные микроводоросли, свободно дрейфующие в водной толще и неспособные противостоять течению.
- Фитобентосные организмы – одноклеточные и многоклеточные растения, живущие на поверхности грунта или внутри него.
- Фитообрастатели: микро- и макроводоросли, плавающие или прикрепленные к грунту (лежащие на дне), обрастающие естественные и искусственные предметы (субстраты).

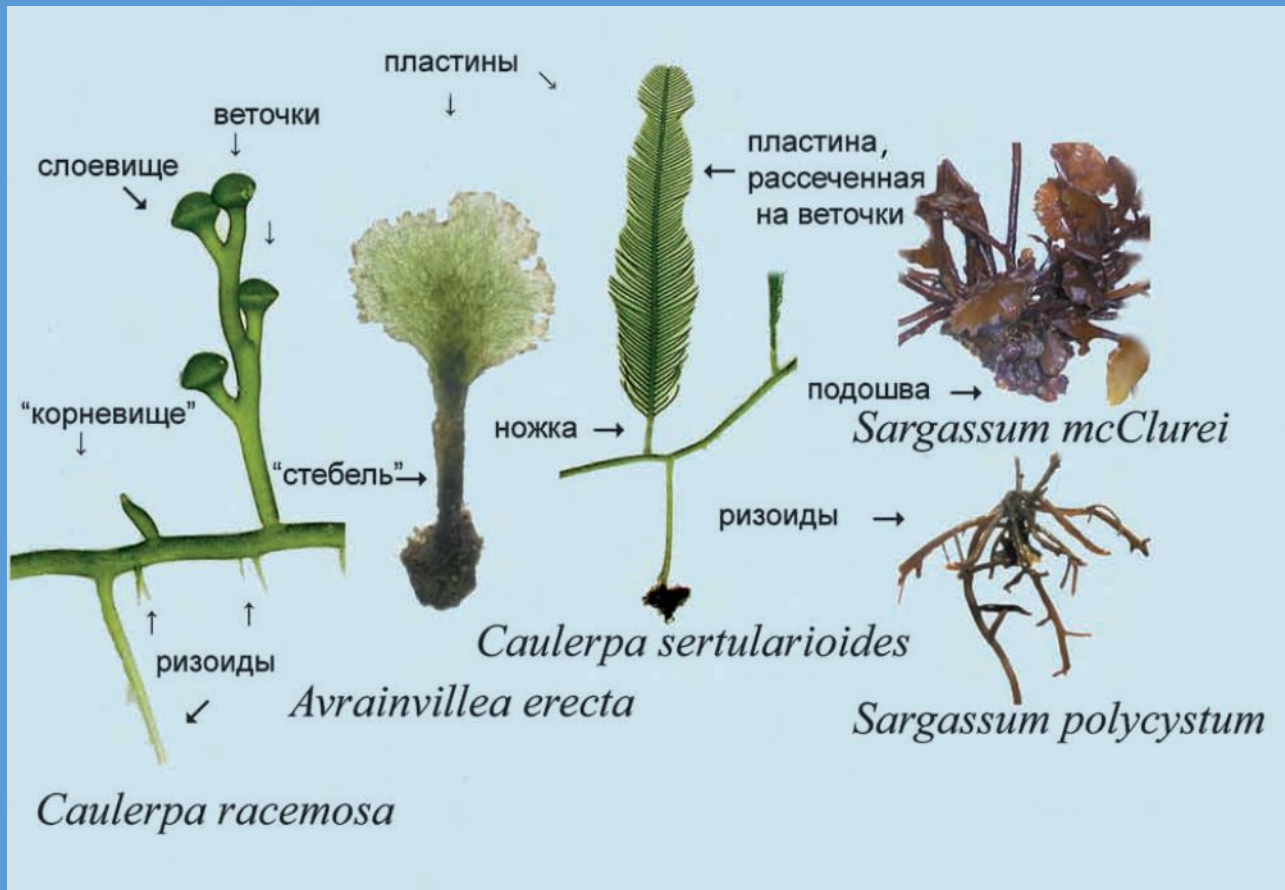
Систематика водных растений

- К царству **Plantae** (водные растения) принадлежат морские травы, зеленые и красные водоросли. Морские травы входят в Отдел **Magnoliophyta** (цветковые растения); зеленые водоросли – в Отдел **Chlorophyta**, красные водоросли – в Отдел **Rhodophyta**.
- Царство **Chromista** включает в себя бурые водоросли, принадлежащие Отделу **Heterokontophyta**, и диатомовые водоросли, принадлежащие Отделу **Bacillariophyta**.
- В царство **Protozoa** входят одноклеточные водоросли динофлагеллаты, принадлежащие Отделу **Myxozoa**.
- Царство **Bacteria** включает синезеленые водоросли, принадлежащие Отделу **Cyanobacteria**.

Макроводоросли (Chlorophyta, Heterokontophyta, Rhodophyta)

- Форма тела (слоевища, таллома) морских макроводорослей варьирует от относительно простой, состоящей из одной или нескольких клеток, до высокодифференцированной, разделенной на органы, подобные листьям, стеблям и корням высших растений.

Морфология макроводорослей



Морские травы



Размножение водорослей

- Многоклеточные водоросли имеют два основных способа размножения: **бесполой (вегетативный)** и **половой**. Бесполой способ размножения включает в себя образование и выделение спор, пропагул и фрагментацию слоевищ. Подвижные споры и зооспоры формируются в специальных репродуктивных органах – зооспорангиях, а неподвижные апланоспоры – в апланоспорангиумах.

Пропагулы (споры) и фрагменты талломов развиваются в новые особи.

- Саргассовые водоросли имеют только одну соматическую генерацию – спорофит, который, однако, продуцирует через мейоз не споры (как большинство водорослей), а подвижную мужскую и неподвижную женскую гаметы. После оплодотворения зигота прорастает, а проросток через некоторое время отрывается от взрослого растения. Весь репродукционный процесс протекает на рецептакулах, расположенных в верхней части слоевища.
- У большинства видов зеленых водорослей в жизненном цикле представлены две чередующиеся генерации, а у красных водорослей из класса флоридеевых присутствует третья соматическая генерация – диплоидный карпоспорофит, развивающийся из зиготы и паразитирующий на женском гаметофите. Карпоспорофит продуцирует репродуктивные клетки – карпоспоры, развивающиеся в карпоспорангиях. Карпоспоры дают спорофит (или тетраспорофит), образование спор (тетраспор) на котором идет через мейоз. Тетраспоры развиваются в гаметофитные мужские и женские растения, завершая жизненный цикл водоросли.

- Во многих прибрежных странах морские водоросли, особенно бурые, являются важной экономической составляющей. В Японии, например, производство продукции из бурых водорослей («Вакаме» и «Комбу») варьирует в пределах **1200** тыс.\$/год.
- В морях Дальнего Востока произрастает более **150** видов бурых водорослей, заросли которых образуют водорослевые пояса вдоль всего дальневосточного побережья. С экономической точки зрения наибольшую ценность представляют макрофиты, относящиеся к двум порядкам — **Laminariales Kylin** (ламинариевые) и **Fucales Kylin** (фукусовые). Их основные запасы сосредоточены вдоль побережья Дальнего Востока и оцениваются в **25–28** млн т

Использование макрофитов

- По данным ФАО, в **2012** г. мировая добыча водорослей из естественных популяций достигла **1,1** млн т. За счет продукции аквакультуры общее количество используемых водорослей составляет более **20** млн т в год. Сфера их применения обширна: от непосредственного употребления в пищу до применения в качестве источника веществ для пищевой промышленности, фармакологии, медицины, сельского хозяйства. Наиболее важной областью использования водорослей является получение из них полисахаридов (фикоколлоидов) для различных областей промышленности. Например, мировое производство альгината из бурых водорослей в **2009** г. составило **26,5** тыс. т (**318** млн дол.). Основное количество альгинатов получают в Китае, Норвегии, США, Франции, Англии. В этой области Россия, обладающая огромными водорослевыми ресурсами, значительно отстает от ведущих производителей.

- Представление об общем современном запасе морских макрофитов на Дальнем Востоке весьма приблизительное и ресурсный потенциал достоверно неизвестен.
- Общий запас бурых водорослей в промысловых районах можно оценить в объеме не менее **3** млн т, что вполне достаточно для организации устойчивого промысла и переработки водорослей на побережье Дальнего Востока. Например, лишь треть этого количества (**880** тыс. т) нужно для получения пищевого загустителя (альгината) в объемах мирового производства. Однако выпуск альгината в России практически отсутствует, потребности нашей страны покрываются за счет его импорта, в основном из Китая.

РАЙОНИРОВАНИЕ МОРСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЮЖНОГО САХАЛИНА

- На распределение фитоценозов влияет целый ряд гидрологических факторов, которые на Сахалине имеют сложный характер из-за многочисленных разнонаправленных течений и омывания побережья водными массами бассейнов Охотского и Японского морей.
- Основными фитопродуцентами сублиторали Сахалина являются ламинариевые водоросли: **Laminaria cichorioides** и **Alaria sp.** – на восточном побережье, **Saccharina japonica**, **Alaria sp.** и **Laminaria cichorioides** — на западном побережье.
- На западном побережье п-ова Крильон основу биомассы составляют виды **Arthrothamnus**, **Kjelmaniella** и **Cystoseira**. Из багрянок максимальные значения фитомасс наблюдаются у красных кустистых водорослей родов **Odonthalia**, **Tichocarpus**, **Ptilota**, **Neoptilota**, **Chondrus**.

Выращивание водорослей

- Многолетняя практика культивирования морских водорослей в Японии, КНР, КНДР, Чили и в России показывает, что на искусственно создаваемых плантациях можно получать высокие урожаи.
- К началу третьего тысячелетия в странах Азиатско-Тихоокеанского региона урожай выращенных водорослей стал измеряться миллионами тонн. Наиболее развито водорослеводство в Японии, Южной Корее, Китае, Северной Корее, Филиппинах, Таиланде, Вьетнаме, Индии.
- Вплоть до **1950**-х годов почти все морские водоросли, используемые в промышленных отраслях, собирались только из естественных местообитаний. **Porphyra** (красная водоросль), известная как «нории» в Японии, «зицаи» в Китае и «лавер» на западе, является единственной водорослью, имеющей долгую историю культивирования.

- Способы культивирования водорослей разнообразны. Выбор видов водорослей для культивирования зависит от места расположения ферм или плантаций, от продукционных и адаптационных возможностей культивируемых видов, от характера водных экосистем, а также от таких условий окружающей среды, как свет, температурный режим, содержание питательных веществ, загрязнение, скорость движения воды и сила волнового воздействия. Применение того или другого способа культивирования связано с целью выращивания водорослей и с его экономической целесообразностью.
- Способы культивирования можно объединить в две группы: *экстенсивная марикультура* и *интенсивная марикультура*.

Экстенсивная марикультура

- Экстенсивная марикультура основана на выращивании водорослей в природных водоемах с эксплуатацией только природных ресурсов: света, тепловой энергии, энергии движения воды и минеральных ресурсов. Способы экстенсивного культивирования водорослей можно разделить на две группы:
- 1) использование для марикультуры естественных водорослевых сообществ и проведение мероприятий по повышению их продуктивности, поддержанию стабильности структуры, защите от негативного воздействия некоторых природных и антропогенных факторов, планированию урожая и его полному изъятию без нарушения структуры естественных экосистем;
 - 2) внедрение в естественный биоценоз местных или новых видов, как правило, с изменением или даже с разрушением естественных биоценозов и с их полной заменой на другие (искусственные) сообщества с доминированием культивируемых видов.

Интенсивная марикультура

Существует несколько способов интенсивного культивирования водорослей:

- культивирование одного или нескольких видов водорослей в баках (чанах) и бассейнах с использованием естественного или искусственного света с добавлением в воду питательных веществ, а также веществ, регулирующих рост водорослей;
- культивирование водорослей в небольших естественных водоемах (прудах, озерах, лагунах) с искусственной подкормкой (внесение в воду питательных неорганических и органических веществ) и осуществлением таких агротехнических мероприятий, как борьба с сорными видами водорослей и эпифитами, регулирование светового режима и водного протока;
- к способам интенсивного культивирования относят также поликультуру, или объединенную культуру водорослей и животных. В объединенной марикультуре может использоваться система баков или бассейнов, в которых культивируются водоросли и куда поступает вода, богатая органическими и минеральными веществами (жидкими отходами от производства животных: рыб, ракообразных и моллюсков). Водоросли поглощают большую часть этих отходов, превращая их в вещества своих тканей и очищая воду, которую можно снова использовать в культивационной системе.

Экстенсивное культивирование неприкрепленной агароносной водоросли **Ahnfeltia tobuchiensis**

- В **90-х** гг. прошлого столетия был разработан и опробован метод культивирования неприкрепленной агароносной водоросли **A. tobuchiensis**, образующей отдельные поля и занимающей десятки квадратных километров площади морского дна в бухтах и проливах зал. Петра Великого Японского моря.
- Анфельция занимает обычно илистые и илисто-песчаные участки пологого дна, концентрируясь в районах с антициклоническими течениями. Толщина пласта анфельции в антициклонических круговоротах может достигать **1** метра, а по краям поля – не более **10** см. В местах выноса анфельции с поля штормами толщина пласта может составлять более **1** м. При сильных течениях во время штормов пласт анфельции остается неподвижным только благодаря его целостности и большой массе. Во время сильных штормов тонкий пласт водорослей может разорваться и отдельные его части могут быть выброшены на берег или перенесены течением в другие участки акватории.

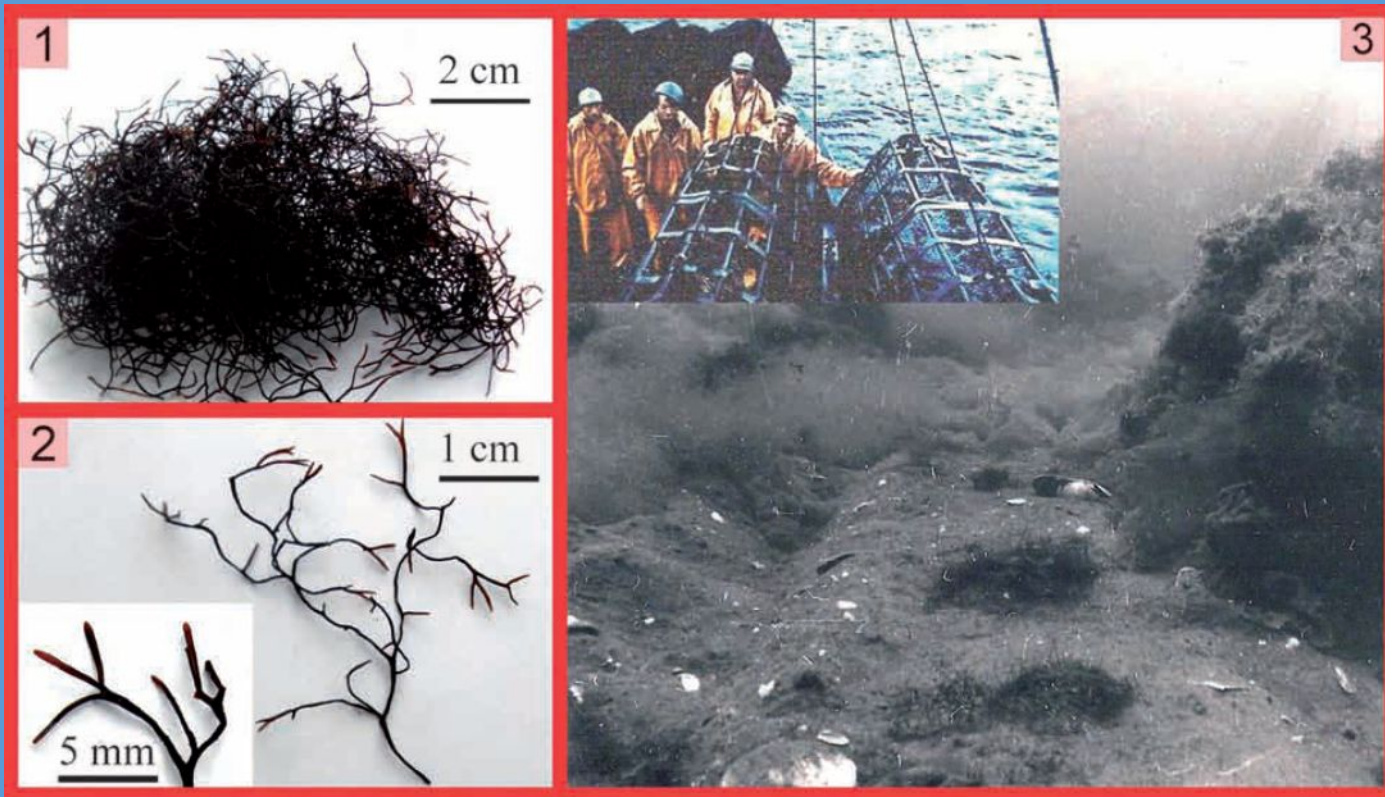


Рис. 1 - 1) Характерный пучок переплетенных слоевищ. 2) Образец ветвления. 3) Пласт анфельции в зал. Петра Великого (Японское море, Россия). Вставка: сбор анфельции грейфером.

Мероприятия по расширению естественных полей и созданию новых плантаций.

- Расширение площади естественных полей возможно путем перенесения анфельции на дно проливов и бухт (в условиях, где она способна образовать естественное поле) и создания искусственных плантаций.

1) основным условием образования поля является наличие в месте обитания анфельции антициклонических циркуляций и отсутствие сильного волнения моря. Глубина формирования промыслового пласта должна быть больше одной трети длины наиболее экстремальных штормовых волн в этом районе.

2) конструкции по закреплению анфельции на дне могут быть самыми разными: система барьеров, установленных поперек направления основного сноса водорослей, ячейки-садки, представляющие собой прямоугольные каркасы из нержавеющей стали, обтянутые сетью.

Массовая промышленная марикультура

- В настоящее время массовое культивирование водорослей сосредоточено преимущественно в странах Восточной Азии и Южной Америки. В Китае и в Корее в больших количествах культивируют такие бурые водоросли, как ***Saccharina japonica*** [= ***Laminaria japonica***] и ***Undaria pinnatifida***, которые используются в пищу и для производства альгинатов.
- В промышленной аквакультуре водоросли выращивают на грунте (***Gracilaria spp.***), на веревках (***S. japonica***, ***U. pinnatifida***, ***Cladophora spp.***, ***Eucheuma spp.***, ***Hypnea musciformis***, ***Gigartina atropurpurea***) и на сетках (***Porphyra spp.***, ***Gracilaria spp.***, ***Cladosiphon okamuranus***, ***Ulva spp.***, ***Monostroma spp.***).

Культивирование водорослей на грунте

- Этим способом выращивают грацилярию, каппафикус, каулерпу в таких странах, как Чили, Филиппины, Вьетнам и др. Фрагменты водорослей закрепляют на грунте, рассчитывая количество использованного посадочного материала таким образом, чтобы ко времени сбора урожая водоросль полностью занимала поверхность дна.
- Иногда водоросли выращивают на грунте, не закрепляя их на субстрате и сооружая на дне перегородки, мешающие выносу водорослей на берег или в другие части водоема.
- Водоросли умеренных широт наиболее активно растут в весенние и летние месяцы.
- Скорость роста тропических водорослей напрямую связана с температурой воды и содержанием в ней питательных веществ. На скорость роста влияют также освещенность, скорость течения и высота волн. Урожай зависит от плотности посадки, качества посевного материала, частоты и способа сбора водорослей (вручную или граблями с лодок).

Культивирование водорослей на веревках и канатах

- Основной способ является закрепление посадочного материала водорослей на веревках, которые размещают в толще или у поверхности воды. Для этого используются полипропиленовые канаты и веревки, прикрепленные к буям или плотам, установленным на якорях.
- В случае, если культивирование проводится у поверхности воды, к веревкам крепятся дополнительные поплавки. Веревки натягивают параллельными рядами на расстоянии от **10** см до **1** м друг от друга, их длина составляет от нескольких до сотен метров в зависимости от гидрологических условий водоема, морфологии и скорости роста выращиваемых видов водорослей. Плантации располагают как на открытых участках акваторий, так и в закрытых бухтах, лагунах и эстуариях рек.
- Для посадки грацилярии вместо канатов и веревок иногда используют сетки или бамбуковые рамки с натянутыми между бамбуковыми палками веревками, к которым прикрепляют фрагменты водорослей.

Культивирование **Saccharina japonica** в
Китае. Желтое море, г. Вэйхэй



Культивирование водорослей на сетках

- Этот способ распространен повсеместно в местах, где выращивают водоросли из родов **Porphyra, Cladosiphon, Monostroma, Ulva, и Caulerpa**, а также некоторые виды грацилярии. Размер ячеек сеток и толщина их нитей варьируют в зависимости от габитуса выращиваемых растений и действия на сетчатые конструкции таких факторов, как течения и седименты. Размер ячеек сеток определяется также техникой посадки водорослей и сбора урожая. В зависимости от метода культивирования и видовых особенностей водоросли сетки располагают в литоральной или в сублиторальной зоне, закрепляя их на бамбуковых (деревянных) конструкциях над дном, или подвешивают в толще воды на канатах, прикрепленных к наплавам.
- Водоросли культивируют на мелководье, на расстоянии не менее **0,5** м от поверхности воды, в наиболее мелководных местах их высаживают на сетку, прикрепленную ко дну.
- Посадочным материалом для ульвы и моностромы, выращиваемых на сетках, являются споры. Оспоривание сеток может быть как естественным, так и искусственным.

Интенсивная марикультура

- Существует несколько способов интенсивного культивирования водорослей:
 - культивирование одного или нескольких видов водорослей в баках (чанах) и бассейнах с использованием естественного или искусственного света с добавлением в воду питательных веществ, а также веществ, регулирующих рост водорослей;
 - культивирование водорослей в небольших естественных водоемах (прудах, озерах, лагунах) с искусственной подкормкой (внесение в воду питательных неорганических и органических веществ) и осуществлением таких агротехнических мероприятий, как борьба с сорными видами водорослей и эпифитами, регулирование светового режима и водного протока.

Культивирование **Palmaria palmata** в баках на ферме (Германия)



Культивирование **Caulerpa lentillifera** в
прудах, Вьетнам



- К способам интенсивного культивирования относят также поликультуру, или объединенную культуру водорослей и животных. В объединенной марикультуре может использоваться система баков или бассейнов, в которых культивируются водоросли и куда поступает вода, богатая органическими и минеральными веществами (жидкими отходами от производства животных: рыб, ракообразных и моллюсков). Водоросли поглощают большую часть этих отходов, превращая их в вещества своих тканей и очищая воду, которую можно снова использовать в культивационной системе.

Совместная марикультура макроводорослей (нижний снимок) и устриц (верхний снимок) на о-ве Зульд в Германии



Культивирование водорослей в прудах

- Такие водоросли, как **Gracilaria spp.**, **K. alvarezii**, **C. lentillifera**, можно культивировать в прудах, располагая водоросли на дне прудов или на веревках и сетках.
- Вода в такие пруды поступает или только из моря, или частично из моря и из реки (или с рисовых полей), а также из водоемов, где культивируют животных. При культивировании водорослей в воде, бедной питательными веществами, в нее вносят минеральные и органические удобрения. Органические удобрения также часто вносят в грунт при подготовке прудов к посеву водорослей.
- Подача, обмен и проток воды в таких прудах регулируются через систему шлюзов. Культивируемые водоросли (например, **C. lentillifera**) могут затеняться сетками.
- Прудовая интенсивная культура грацилярии распространена в Китае и Вьетнаме.

Культивирование водорослей в бассейнах, баках (чанах)

- При выращивании растений в баках получают наибольшую продукцию (в расчете на **1 м²** водной поверхности) по сравнению с другими способами культивирования.
- Культура водорослей в бассейнах и баках используется для очистки воды после разведения морских животных, для получения посадочного материала водорослей и наиболее ценных продуктов из них.
- Для получения большой биомассы водорослей их выращивают в бассейнах, сделанных из бетона, объемом в десятки кубических метров, а для научно-исследовательских работ – в аквариумах или небольших пластиковых баках.
- Интенсивная марикультура в баках не применяется для массового выращивания макрофитов, что связано с высокой стоимостью получаемого сырья (большие энергозатраты, использование дорогих материалов и техники).
- Посадочным материалом в интенсивной марикультуре могут быть фрагменты талломов, проростки и споры.

Совместная (интегрированная) марикультура морских организмов

- Под термином «интегрированная марикультура» (морская поликультура) подразумевается совместное культивирование морских организмов в соленой (морской) или солоноватой воде.
- В совместной марикультуре морские растения могут выращиваться как экстенсивными, так и интенсивными способами. Методы экстенсивного культивирования используются в открытых водоемах, интенсивного – в прудах, бассейнах и других емкостях.
- Загрязненные при интенсивной и полуинтенсивной марикультуре животных воды, содержащие большое количество аммония, нитратов и фосфорных соединений, являются хорошей средой для культивирования водорослей, которые способны почти на **100%** очистить воду от этих веществ.

Способы интегрированной марикультуры водорослей

- Способы интегрированной марикультуры с включением водорослей можно разделить на группы:
- **1.** Выращивание водорослей в прудах, бассейнах и баках на воде, обогащенной органическими отходами от культивирования рыб или беспозвоночных.
- **2.** Выращивание водорослей в прудах совместно с рыбой, ракообразными и моллюсками.
- **3.** Культивирование водорослей в море вблизи от садков с животными.

- Водоросли, поглощающие и усваивающие неорганические и органические вещества отходов от культивирования животных, накапливают большую биомассу и большее количество белка, чем водоросли, культивируемые в экстенсивной монокультуре. Они могут извлечь из воды до **80–90%** жидких отходов, из них – до **60%** соединений фосфора, примерно столько же азота и до **95%** аммония.
- Интегрированное экстенсивное или полуинтенсивное культивирование водорослей в одном водоеме с травоядными животными повышает продукцию последних и улучшает качество продукта (вкус, текстуру и жирность мяса).
- Использование водорослей, культивируемых в прудах и танках (в закрытой интегрированной системе), на корм морскому ушку увеличивает экономическую эффективность марикультуры и повышает доходы фермеров.

Культивирование ламинарии японской в прибрежье Приморья

- Начато более **40** лет назад. За это время были созданы биотехнологии выращивания в двухгодичном, полуторагодичном и одногодичном циклах для каждого конкретного эколого-климатического района прибрежья Приморья.
- Наиболее эффективным является комплексное выращивание с одновременным использованием всех трех технологий на одном хозяйстве, что дает удлинение сроков сбора урожая до **5** мес. что обеспечивает планомерную загрузку базы переработки и возможность консервации и сохранения урожая.
- Перспективными следует считать и исследования по созданию биотехнологических режимов выращивания урожая ламинарии с заданными товарными качествами – с повышенным содержанием альгиновой кислоты, маннита или минеральных веществ.

- Для получения рассады морской капусты осенью, когда температура морской воды опускается до **12°C**, предварительно вымачивают от вредных веществ веревочные поводки. Берут в море слоевища капусты с хорошо развитой спороносной тканью утром в пасмурный день.
- Слоевища закрывают от света, перевозят на берег, помещают под навес на **4-6 ч**.
- В емкость, не содержащую токсичных веществ, на дно укладывают слой слоевищ ламинарии, потом слой поводков, затем - слой слоевищ и т.д., всего **5-6** слоев тех и других. Верхним должен быть слой слоевищ. Оспоривания заливают отфильтрованной морской водой выше верхнего слоя на **10-15** см и выдерживают до утра, предварительно поместив туда предметные стекла. Если обнаруживается, что на контрольных стеклах в поле зрения обнаруживается **10-20** осевших зооспор, оспоривание считается хорошим.
- Оспоренные поводки выставляются пучками в море на канат, находящийся на глубине **2** м от поверхности. Затем поводки с привязанными грузиками развешивают на тросе через **0,5** м. Так как прорастание рассады при хорошем оспоривании очень густое, то весной осуществляют ее прореживание. На поводке оставляют не более **150** слоевищ, остальные вплетают в **4-5** новых поводков. На лето канат с поводками заглубляют на **4-5** м от поверхности в более холодную воду для предотвращения разрушения слоевищ. Осенью канат помещают на глубину **2** м от поверхности.
- Сбор урожая производят следующей весной, когда возраст ламинарии достигает **1,5** года, до прогрева морской воды до **10°C**.

- Отработаны биотехнологии выращивания других видов бурых водорослей. Например, костария быстро растет на плантациях, достигая урожайности до **50-70** т/га всего за **5-6** мес., является прекрасным сырьем для альгинатного производства.
- Ламинария цикориеподобная значительных зарослей у берегов Дальневосточных морей не образует, но легко поддается культивированию на плантациях с достижением урожайности в **50-100** т в зависимости от района. Потребность в сырье ламинарии цикориеподобной вызвана высоким содержанием в ее пластинах ламинарана и фукоидана (**до 15 %**), служащих исходным материалом для изготовления препаратов антиопухолевого и иммуностимулирующего действия.
- Создание крупномасштабных плантаций водорослей преследует цель не только получения ценного сырья, но и способствует увеличению общей продуктивности побережья за счет обогащения воды кислородом, органикой, а также плантации служат кормовой базой, местами нереста и укрытиями от врагов для многих видов рыб и беспозвоночных.