

## АДАПТАЦИОННЫЕ РЕАКЦИИ МАССОВЫХ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ПРИБРЕЖЬЯ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ В СВЕТЕ РАЗРАБОТКИ БИОТЕХНОЛОГИЙ ИХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

*Т.Н. Крупнова*

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр  
(ФГУП «ТИНРО-Центр»), г. Владивосток

### Введение

Одним из важных направлений многогранной деятельности академика В.Л. Комарова является учение об исторической связи эволюции вида с эволюцией окружающей его природы. Так, в одном из своих трудов он подчеркивал, что «...жизнь автоматически реагирует на все ей враждебное целесообразными регуляциями и приспособлениями. Превращая часть имеющейся в ее распоряжении химической энергии в энергию деформации и расходуя последнюю на образование наследственно повторяющихся форм или, специальнее, на морфологические признаки, «живое» образует стойкие системы энергии» (Комаров, 1945). Морские водоросли в процессе эволюции также выработали адаптационные механизмы к различным условиям температуры, солености, длины светового дня, количеству биогенных элементов, что позволяет им широко расселяться в различных биогеографических зонах. В данной публикации делается попытка рассмотреть приспособленческие реакции массовых бурых водорослей побережья Японского и Охотского морей к их океанолого-климатическим условиям.

## Распространение, условия произрастания, морфологические особенности массовых видов бурых водорослей

В настоящее время культивированию бурых водорослей во многих странах мира уделяют большое внимание. Это связано в первую очередь с возрастающей необходимостью использования водорослевого сырья в пищевых и лечебно-профилактических целях. Также немаловажное значение имеет и возможность культивировать водоросли для восстановления продуктивности прибрежных сообществ, а именно для обогащения воды кислородом, создания кормовой базы морским животным и, в частности, для питания морского ежа (Fuji, 1967; Марковцев, Крупнова, 1987; Nabata et al., 1992; Крупнова, Павлючков, 2000). В связи с этим изучение сроков образования репродуктивной ткани макрофитов, особенностей формирования жизненных циклов в зависимости от гидрологических и температурных условий в местах обитания представляется полезным для разработки биотехнологий их культивирования.

Для изучения спороношения водорослей и времени появления молодых проростков отбор проб проводился водолазным способом в прибрежье Японского моря (в районе бух. Валентина) в 1975–2002 гг. и в прибрежье Охотского моря (в Тауйской губе и зал. Бабушкина) в 1997, 1999 и 2000 гг. (рис. 1). Для сравнения объемов продуцированной водорослями репродуктивной ткани вычислялись значения коэффициентов покрытия слоевищ спороносной тканью (К), рассчитываемые как отношение общей спороносной площади 50 экземпляров к их общей площади (Мальцев, Моисеенко, 1979). Отбор проб водорослей для изучения спороношения проводился с глубины 5–8 м еженедельно, в Японском море с июня по декабрь, в Охотском море с июня по октябрь. Отбор проб на наличие молодых проростков водорослей на донном субстрате проводился в Японском море ежемесячно, в Охотском — в период с июня по октябрь. Температура воды измерялась в районе произрастания водорослей в поверхностном слое.

### Японское море

Наиболее массовыми видами бурых водорослей в прибрежье Приморья (Японское море) являются ламинария японская (*Laminaria japonica* Aresch.) и костария ребристая (*Costaria costata* (Turn.) Saund) (рис. 2).



Рис. 1. Карта-схема района работ в прибрежье Японского и Охотского морей

Изучение проб этих водорослей в течение годового цикла позволило выявить, что период их спороношения занимает около 3–4 мес. Максимальное развитие спороносной ткани у *Laminaria japonica* со значением коэффициента покрытия (К), равного 0,6, приходится на осенний период, когда температуры изменяются от 14 до 10°C. У *Costaria costata* наибольшего развития спороносная ткань достигает также при значениях температуры воды от 14 до 10°C, но весной со значением К, равным 0,5. Длительность периода максимального развития спороносной ткани у обеих водорослей занимает около 20–25 дней. Для *Laminaria japonica* это наблюдается с конца сентября до середины октября и для *Costaria costata* – с середины мая по начало июня (рис. 3).

Ежегодное обследование поселений этих водорослей показало, что молодые спорофиты *Laminaria japonica*, видимые глазом (длиной от 0,5 см до 10 см), появляются на природном субстрате в конце зимы или ранней весной следующего года, обычно в феврале. Массовое их прорастание наблюдается в марте–апреле при температуре воды 4–6 °С. В это время их плотность в сред-

нем составляет около 600–800 экз/м<sup>2</sup>, иногда достигает 3000 экз/м<sup>2</sup>. В мае их появление сокращается до 10 экз/м<sup>2</sup> (рис. 4). С июня и по февраль заросли ламинарии представлены практически только взрослыми растениями второго и первого годов развития, молодые проростки отсутствуют.

Молодые проростки *Costaria costata* появляются в ноябре–декабре. Массовое их появление обычно приурочено к январю, плотность при этом составляет в среднем около 120 экз/м<sup>2</sup>. С апреля по октябрь на дне моря можно видеть только взрослые растения костарии, ее молодые проростки в это время отсутствуют (рис. 4).

### Охотское море

В Охотском море образуют обширные поля такие виды бурых водорослей, как *Laminaria gurjanovae* A. Zin., *Laminaria inclinorhiza* Ju. Petr. et V. Voz., *Laminaria appressirhiza* Ju. Petr. et V. Voz., *Lessonia laminariaeoides* Post. et Rupr., *Arthrothamnus bifidus* (Gmel.) J. Ag., *Alaria marginata* P. et R., и новая водоросль, названная нами *Tauya basicrassa* Kloczc. et Krupn. (рис. 2).

Максимальное развитие спороношной ткани у этих водорослей занимает более длительный период по сравнению с водорослями побережья Приморья и охватывает срок с июня по октябрь со значением К, равным 0,4, например для *Alaria marginata*. Температура воды в это время изменялась от 8 °С в июне до 14 °С к концу сентября и в октябре составила около 12 °С (рис. 5). Данные по спороношению охотоморских водорослей в другие месяцы у нас отсутствуют. Но, судя по значениям коэффициента покрытия, можно предположить, что спороношение водорослей в прибрежье Охотского моря происходит круглогодично. В пользу этого свидетельствует то, что одновременно с наличием крупных взрослых растений на субстрате присутствуют и молодые проростки этих водорослей. Так, для *Alaria marginata* с июня и по октябрь плотность поселения молодых растений длиной от 0,5 см до 10 см практически не менялась и составляла около 120 экз/м<sup>2</sup> (рис. 4). Молодые проростки располагались как под пологом взрослых растений, так и занимали свободные от них площади.

Остановимся подробнее на описании *Tauya basicrassa*, обнаруженной нами в Тауйской губе (рис. 2). Прежде всего обращали на себя внимание очень большие размеры талломов. Отдельные

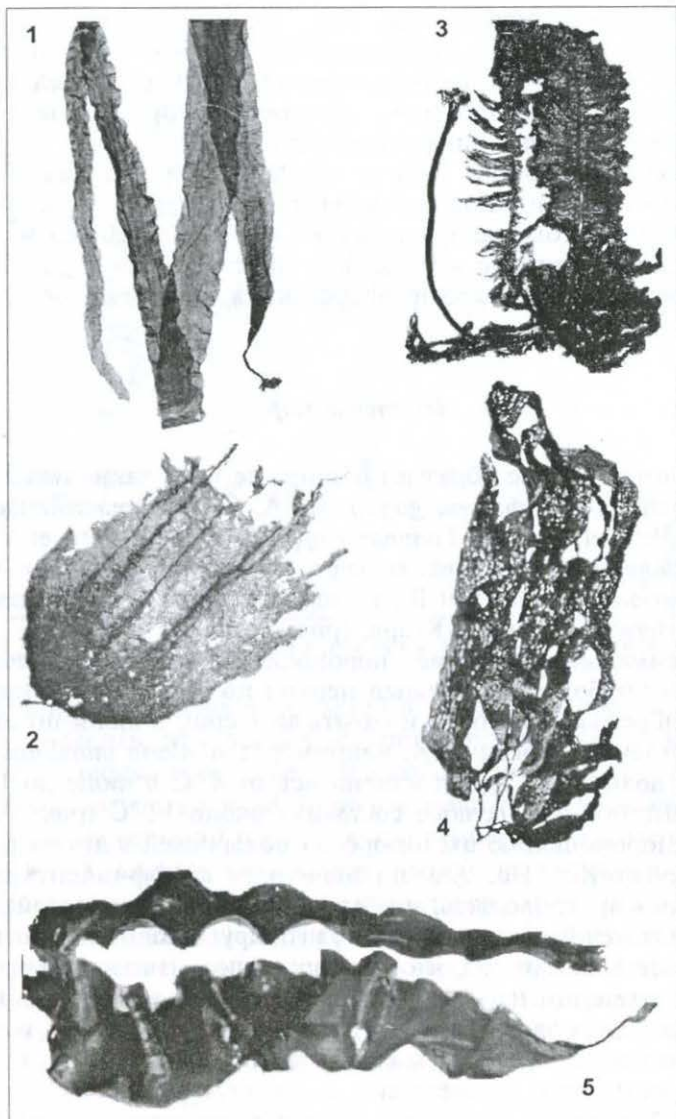
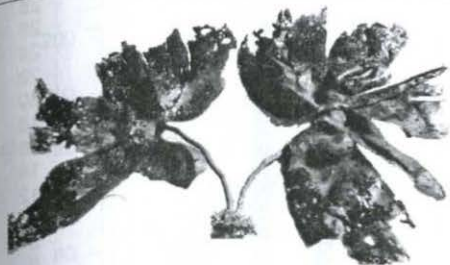
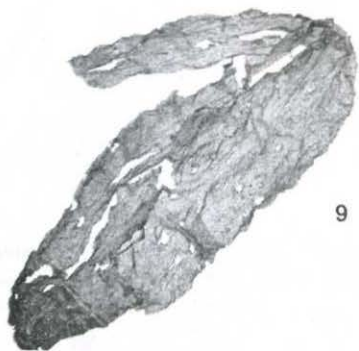


Рис. 2. Массовые виды бурых водорослей побережья Японского и Охотского морей. 1 — *Laminaria japonica*, 2 — *Costaria costata*, 3 — *Alaria marginata*, 4 — *Lessonia laminarioides*, 5 — *Laminaria gurjanovae*, 6 — *Laminaria inclinatorhiza*, 7 — *Laminaria apressirhiza*, 8 — *Arthrotamnus bifidus*, 9 — *Tauya basicrassa*, 10 — основание пластины *Tauya basicrassa*



6



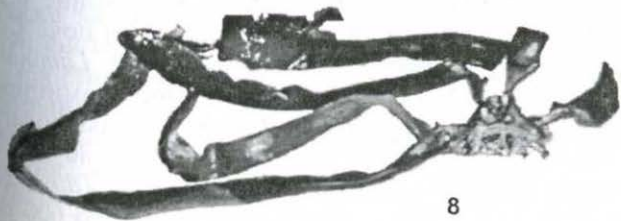
9



7



10



8

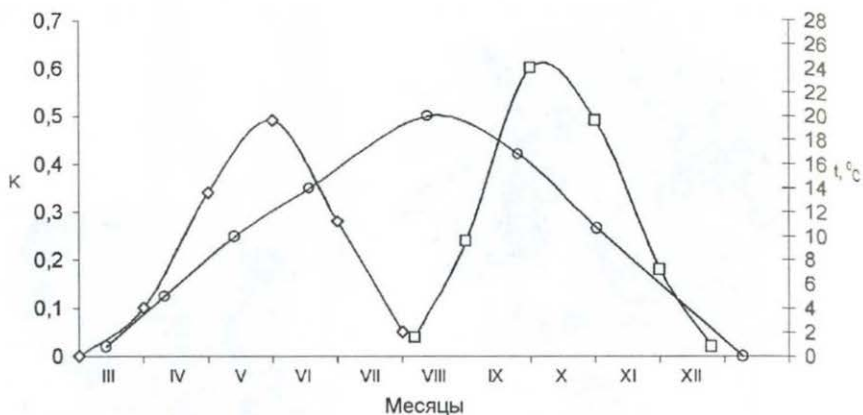


Рис. 3. Многолетние соотношения значений коэффициентов развития спороносной ткани *Laminaria japonica* (—□—), *Costaria costata* (—◇—) температуры воды (—○—) за период с 1975 по 2001 г. в прибрежье Японского моря

экземпляры достигали 6 м длины и 1,8 м ширины. Вместе с тем они имели слабо развитую ризоидальную систему. Пластинчатая часть слоевища была тонкой и достаточно ломкой, а основание пластины грубым и толстым. Имелись и другие черты морфологической организации, не обычные для ламинариевых водорослей Охотского моря.

Вся исследованная акватория в зависимости от характера зарослей этой необычной водоросли подразделяется на два участка. Первый участок расположен от м. Островного до траверза северо-западной части о-ва Недоразумения, общей площадью 100 000 м<sup>2</sup>. Грунты на выходных мысах здесь представлены валунными пляжами шириной от 10 до 30 м, простирающимися от уреза воды и до глубины 10 м и прерываемыми песками с примесью одиночных камней. Все каменистые грунты на этом участке покрыты поясом бурых водорослей. Так, у самого берега на глубине 0,5–1,5 м на валунах и более мелких камнях прослеживается пояс *Cystoseira* sp. + *Lessonia laminariaeoides* + *Fucus evanescens* + *Laminaria appressirhiza* + *L. inclinatorhiza* без четко выраженного доминирования того или иного вида. На глубине от 2 до 8–10 м располагается пояс водорослей с проективным покрытием до 70–80 %, состоящий из *Laminaria gurianovae*, *Tichocarpus crinitus* и *Tauya basicrassa*. Длина пластин *T. basicrassa* варьировала от 120 до 600 см, в среднем составляла 320 см при средней массе около 2000 г.

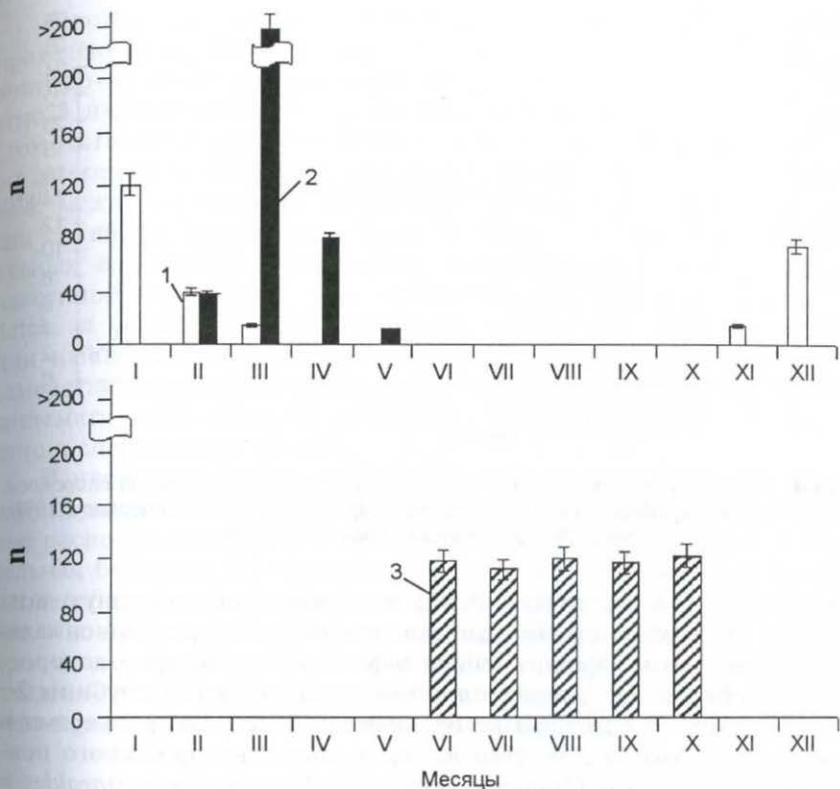


Рис. 4. Динамика численности молодых проростков водорослей размерами от 0,5 до 10 см на природном субстрате в зависимости от времени года. 1 — проростки *Costaria costata*; 2 — проростки *Laminaria japonica*; 3 — проростки *Alaria marginata*

Второй участок включает северо-западное побережье о-ва Недоразумения и акваторию к северо-западу от северной оконечности острова до траверза устья р. Окса. Для этого участка также характерно наличие твердых грунтов, представленных валунной отмосткой, являющихся продолжением береговых пляжей и простирающихся до глубины 15–17 м. Этот район отличается от соседних тем, что между островом и материковой частью создаются специфические гидрологические и геоморфологические условия, которые обеспечивают благоприятную среду для роста *Tauya basicrassa*. Постепенное увеличение глубин от побережья о-ва Недоразумения, переходящего в ровное плато, и затем умень-

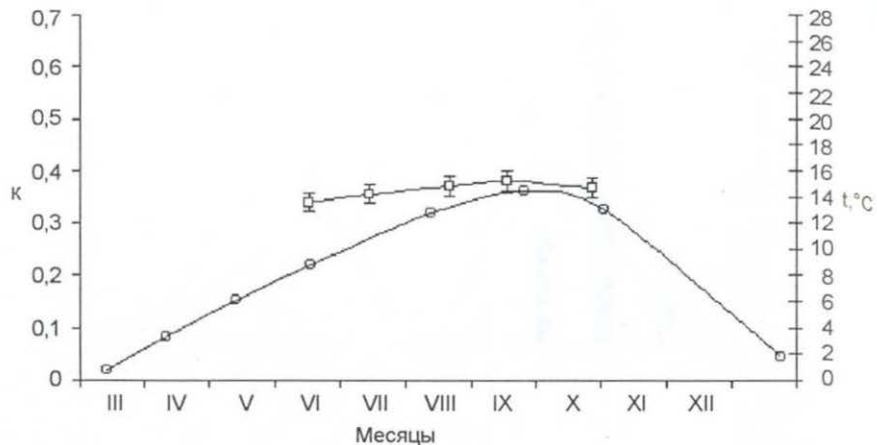


Рис. 5. Многолетние соотношения значений коэффициентов развития споронной ткани *Alaria marginata* (—□—) и температуры воды (—○—) за период с 1997 по 2000 г. в прибрежье Охотского моря

шение глубин к материковой части образуют своеобразную котловину, где слабые придонные течения способствуют максимальному развитию морфологических и весовых параметров водоросли. Так, вблизи береговой полосы острова начиная с глубины 2–5 м слоевища *T. basicrassa* не отличаются большими размерами и имеют длину около 2 м. Они входят в состав водорослевого пояса, представленного *Cystoseira crassipes* + *Lessonia laminariaeoides* + *Fucus evanescens* + *Laminaria appressirhiza* + *L. inclinatorhiza* + *L. gurjanovae* с примерно равным соотношением всех компонентов (у северной оконечности острова в этот пояс включается *Alaria marginata*). Но на большей глубине начиная с 7 м и до глубины 14–17 м, где грунт представлен галькой и ракушечником, мозаика водорослевого поселения постепенно сменяется зарослями *Tauya basicrassa*, которые простираются вплоть до траверза устья р. Окса. Общая площадь дна, занятая «чистым» поселением этой водоросли, составляет около 300 000 м<sup>2</sup>. При 90%-ном проективном покрытии плотность поселения составляет 10–12 экз/м<sup>2</sup>. Морфологические и весовые параметры растений на этом участке в большей массе стабильны и не отличаются значительным разбросом. Средняя длина слоевищ составляла 500 см при максимальной 600 см, средняя ширина 120 см при максимальной 180 см, средняя масса 2000 г при максимальной 2600.

Всестороннее изучение собранных образцов этой водоросли, проведенное д-ром биол. наук Н.Г. Ключковой, показало, что их анатомо-морфологическое строение не укладывается в рамки диагноза ни одного из родов порядка *Laminariales*, известных для Охотского моря, Дальнего Востока и в целом Мирового океана, и он должен быть оформлен как новый. Отсутствие разветвлений в зоне между черешком и пластиной отличает его от представителей семейства *Lessoniaceae* Setch. et Gardn., а отсутствие специальных спороносных листочков, развивающихся под основной пластиной на черешке, — от представителей семейства *Alariaceae* Setch. et Gardn. По всем признакам морфологической организации найденные образцы близки к видам родов, принадлежащих семейству *Laminariaceae* (Bory) Rostaf. Подробное обоснование систематического статуса обнаруженной новой водоросли будет дано в специальном обзоре.

В настоящее время в Тауйской губе начат промысел бурых ламинариевых водорослей, в том числе и *Tauya basicrassa*. Удобное расположение района произрастания этой водоросли, значительная биомасса на ограниченной площади и небольшие глубины ее обитания являются привлекательными для промышленников. Однако следует помнить, что проведение активной добычи при недостаточном знании биологии и отсутствии каких-либо сведений по биотехнологии воспроизводства этого уникального вида может привести к его исчезновению.

### Обсуждение

Термопатию (способность организмов к обитанию в диапазоне температур, более или менее соответствующих экологическим требованиям вида и определяющих в конечном итоге их биогеографическую принадлежность) как пойкилотермных животных, так и водорослей с подвижной стадией размножения (зооспорами) наиболее четко определяют температуры, при которых происходит размножение вида. Диапазон этих температур, которые для простоты называют температурами размножения, много уже общего температурного диапазона обитания вида. Температуры размножения характеризуют при этом критические температуры условий обитания вида. Относительная консервативность температур размножения четко коррелирует с зональным типом ареала. В биогеографической литературе эту эмпирически установленную

## Литература

- Кафанов А.И., Кудряшов В.А. Морская биогеография. М.: Наука, 2000. 176 с.
- Комаров В.Л. Смысл эволюции. Избр. соч. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1945. С. 66–67.
- Крупнова Т.Н. Марикультура бурых водорослей в Приморье: современное состояние и перспективы развития. Докл. всерос. конф. «Пути решения проблем изучения, освоения и сохранения биоресурсов Мирового океан в свете морской доктрины Российской Федерации на период до 2020 года». М.: ВНИРО, 2002. С. 196–201.
- Крупнова Т.Н. Опыт культивирования ламинарии японской по двухгодичному циклу в Приморье. Издание отдела научно-технической информации ЦПК ТБ Дальрыбы. Владивосток, 1985. 41 с.
- Крупнова Т.Н., Павлючков В.А. Питание серого морского ежа (*Strongylocentrotus intermedius*) в северо-западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. 2000. Т.127. С. 372–381.
- Мальцев В.Н., Моисеенко Т.Н. Результаты исследований культивирования ламинарии японской в Приморье // Изв. ТИНРО. 1979. С. 47–54.
- Марковцев В.Г., Крупнова Т.Н. Биологическое обоснование культивирования ламинариевых водорослей для очистки сточных вод рыбодобывающих предприятий. Промысловые водоросли и их использование. М.: ВНИРО, 1987. С. 49–56.
- Цзен Ченкуй, У Чжаоюань. Разведение морской капусты и связанные с эти проблемы // Ботан. журн. 1956. Т. 41, № 2. С. 182–192.
- Fuji A. Ecological studies on the growth and food consumption of Japanese common littoral urchin *Strongylocentrotus intermedius* (Agassiz) // Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 1967. V. 51. P. 83–160.
- Nabata S., Abe E., Kakiuchi M. On the «isoyake» condition in Taise-Cho, southwestern Hokkaido // Sci. Repert. Hokkaido Fish. Exp. St., 1992. V. 38. P. 1–14.