



Звягинцева Т.Н.
Шевченко Н.М.
Кусайкин М.И.

Тихоокеанский институт
биоорганической химии
Дальневосточное отделение РАН
Владивосток

Рис. 1. Фукус в прибрежной зоне.
Курильские острова

БУРЫЕ ВОДОРОСЛИ И СОХРАНЕНИЕ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ МОРСКИХ ОРГАНИЗМОВ

Морские организмы являются источником множества новых природных соединений, отличающихся от веществ наземных организмов, как химическим строением, так и ярко выраженными особенностями физиологического действия на живые организмы, в том числе и на человека. Показаны уникальные возможности применения бурых водорослей и веществ, получаемых из них, для приготовления фармацевтических, пищевых и сельскохозяйственных препаратов. Кроме того, затронута проблема неумеренного истребления водорослей в ряде стран, результатом чего явились катастрофические нарушения экологии акваторий.

В России на сегодняшний день остаются в достаточной степени неразвитыми как область переработки водорослей в целях многостороннего использования их свойств, так и методы восстановления природных запасов морских организмов. Однако владеть информацией о том, какими возможностями обладаем при освоении отдельных ресурсов Мирового океана, а также о том, что становится результатом неуправляемых промышленных процессов, организованных без учета методов, восстанавливающих и поддерживающих природный баланс, мы должны.

Уникальные химические структуры, необычно высокая биологическая активность, участие во внутри- и межвидовых отношениях морских сообществ – все это привлекает к веществам морского происхождения большое внимание. На их основе разрабатываются новые лечебные и лечебно-профилактические средства, ветеринарные препараты, пищевые добавки и другие биопрепараты, создаются технологии для их производства. Морские водоросли – древнейшие фотосинтезирующие организмы, составляют многочисленную группу в царстве растений, содержащую более 30 000 видов. В настоящее время человечеством используется около 250 видов водорослей: порядка 150 видов употребляется в пищу, и около 100 видов служат в качестве источников фикоколлоидов [1, 2]. Потребление морских водорослей в год в сухой массе составляет в Северной Америке –

240 тонн, в Европе (без России) – 70 тонн. Среди европейских стран лидером использования морских водорослей в питании является Франция, потребляя ежегодно 27 тонн. Среднее потребление населением Франции морских водорослей в пищу в расчете на сухое вещество составляет около 10 г на человека в год, что в 100 раз превосходит данный показатель в других европейских странах. И все же это намного меньше, чем в Китае, Корее и, особенно, в Японии [1], где годовой рацион включает от 70 до 90 тысяч тонн водорослей. Среднее потребление населением Японии морских водорослей в пищу в расчете на сухое вещество составляет около 10 кг на человека в год.

В России в качестве пищевых используются только две бурых водоросли: *Laminaria japonica* (дальневосточная) и *Laminaria saccharina* (беломорская), причем потребление их в расчете на душу населения является незначительным. В то же время, суммарные запасы только ламинариевых водорослей в многочисленных морях России составляют от 4,5 до 8,8 млн. тонн, что позволяет получать 400-800 тыс. тонн водорослевого сырья ежегодно [1-3]. Тут к месту заметить, что практически все бурые водоросли съедобны, многие из них по вкусовым качествам не уступают *Laminaria japonica* (морской капусте), а иногда и превосходят ее.

Мы затронем два крупных фактора в проблеме использования бурых водорослей: их уникальные лечебные возможности, перспективные для фармакологической сферы, и необходимость сохранения баланса морской среды, который в значительной степени поддерживается популяцией водорослей.

Лечебные свойства бурых водорослей

Морские водоросли являются источником различных лечебно-профилактических препаратов, пищевых, косметических и кормовых добавок, поскольку содержат целый ряд веществ, обладающих биологической активностью. Что касается отдельных витаминов, маннита, микроэлементов и йодсодержащих органических соединений, то их в морских водорослях больше, чем в других продуктах. Но наибольшую ценность представляют полисахариды водорослей, особен-

но бурых, которые составляют в зависимости от вида и стадии развития водоросли 40-80% от сухого веса [4, 5].

Бурые водоросли морей Дальнего Востока представляют собой возобновляемый, легко культивируемый источник интересных по структуре и биологической активности полисахаридов: водорастворимых ламинаранов (1,3- β -D-глюканов), фукоиданов (высокосульфатированных α -L-фуканов), уронанов и щелочерастворимых альгиновых кислот. Следует отметить, что 1,3;1,6- β -D-глюканы – аналоги ламинаранов, а также альгиновые кислоты, хотя и обнаружены в наземных объектах, в море распространены гораздо более широко, фукоиданы же обнаружены только в морских организмах. Широко изучается иммуностимулирующее, радиопротекторное, антивирусное действие этих полисахаридов, а также антикоагулянтная, тромболитическая, контрацептивная и другие активности, характерные для фукоиданов. Эти свойства делают перспективным использование их в медицине, косметической и пищевой промышленности, в сельском хозяйстве, рыбоводстве, микробиологии и т.д. [5-10]. В разных странах действует множество лабораторий и центров по поиску и изучению, прежде всего, противоопухолевых, противовоспалительных, радиозащитных веществ из водорослей [6-8].

Противоопухолевую активность прояв-

ляют как сами водоросли и их экстракты, так и различные отдельные вещества, выделенные из них. Например, экстракты, содержащие полисахариды из бурой водоросли *Laminaria angustata*, а также фукоидан из фукуса угнетали рост перевиваемых опухолей у мышей. Из бурой водоросли *Eisenia bicyclis* Setchell выделен модификатор биологического ответа эйсенин-трипептид, стимулирующий естественную цитотоксическую активность лимфоцитов периферической крови человека. Имеются данные о благоприятном симптоматическом действии съедобной бурой водоросли *Laminaria japonica* или иначе, морской капусты, на онкологических больных. Эпидемиологи обнаружили, что эскимосы Аляски и Гренландии значительно реже заболевают злокачественными новообразованиями, особенно раком толстой кишки и молочной железы, хотя содержание жира в диете у эскимосов высокое, и заболеваемость раком должна была бы соответствовать диете так называемого западного типа. Диета же эскимосов отличается большим количеством мяса морских животных и других морепродуктов, что и обеспечивает защитный эффект. У крыс, подвергнутых воздействию ионизирующей радиации, пищевой рацион, обогащенный порошком из



Рис. 2. На борту НИС «Академик Опарин» научные сотрудники ТИБОХ демонстрируют пластину бурой водоросли *Laminaria japonica*. Охотское море



Рис. 3. Заготовка бурой водоросли *Laminaria japonica* для научно-исследовательских целей. На борту НИС «Академик Опарин». Охотское море

Laminaria japonica, оказывал профилактическое действие на развитие лейкозов, рака молочной железы, легких и матки, а также опухолей других локализаций. Эти примеры можно продолжать и дальше. Очевидно одно, что арсенал антиопухолевых средств можно серьезно пополнить препаратами на основе веществ из морских водорослей [1].

Кроме антиопухолевой активности, бурые водоросли и вещества, получаемые из них, обладают активностью антимутагенной, иммуностимулирующими и радиопротекторными свойствами. Так, на модели с бактериями *Salmonella typhimurium*, подвергаемыми воздействию различных химических мутагенов и канцерогенов, обнаружены антимуtagenные свойства у водорослевых экстрактов из *Laminaria japonica*. Производные альгиновой кислоты увеличивали резистентность животных в условиях воздействия на организм внешнего облучения, увеличивали выживаемость и среднюю продолжительность их жизни, снижали частоту основных синдромов лучевого поражения. Хорошо известна способность производных альгиновой кислоты выводить радионуклиды стронция и цезия из организма животных и человека. Особо-го упоминания достоин препарат «Транслам» – 1,3:1,6-β-D-глюкан, полученный в ТИБОХ ДВО РАН ферментативным пре-

образованием неактивного ламинарана из дальневосточной бурой водоросли *Laminaria cichorioides*. «Транслам» показал высокой иммуностимулирующий, антиопухолевой и радиотерапевтический эффект на всех стадиях исследования его биологического действия. Он проявлял положительное действие во всех испытаниях, начиная со стимулирования у мышей функциональной активности иммунокомпетентных клеток, ответственных за гуморальный иммунитет, и заканчивая выживанием практически 60% обезьян, облученных смертельной дозой радиации, в результате лечения их «Трансламом» [8].

Бурые водоросли и вещества из них оказывают гиполипидемическое действие, препятствуют развитию ожирения, улучшают функции сердца при ишемической болезни. Фукоидан – нетоксичный сульфатированный полисахарид бурых водорослей улучшал функцию сердца после ишемии у ягнят. Большой интерес представляет антикоагулянтное действие бурых водорослей, обусловленное сульфатированными полисахаридами – фукоиданами, содержащимися в них [1, 9, 10]. Так, фракция из *Ascophyllum nodosum*, содержащая фукоидан, при внутривенном введении кроликам препятствовала образованию тромбов. Фракции из средиземноморской водоросли *Fucus vesiculosus*

и дальневосточной *Fucus evanescens*, содержащие фукоидан, проявляли антикоагулянтные свойства и *in vitro*, и *in vivo*. В Японии запатентованы и производятся напитки с антикоагулянтными свойствами на основе фукоиданов бурых водорослей, которые особенно показаны пожилым людям как профилактическое средство при повышенном тромбообразовании [11]. Эти же напитки (например, Aroidan-U, Капраиичибан) обладают стимулирующим действием, облегчают аллергические явления, устраняют запоры, предупреждают простуду, улучшают общее состояние [11].

Водоросли содержат вещества, обладающие широким спектром антимикробной активности в отношении патогенных для человека бактерий, простейших и грибов. Фукоиданы из фукусовых водорослей ингибировали рост некоторых патогенных грамотрицательных и грамположительных бактерий в культуре, стимулировали *in vivo* фагоцитоз и другие реакции клеточного и гуморального иммунитета. В ряде исследований выявлено, что вещества из бурых водорослей проявляют противовирусную активность в отношении вирусов иммунодефицита человека, возбудителя герпеса. Так, активность вируса иммунодефицита *in vitro* подавляли экстракты, сульфатированные полисахариды и полифенолы, выделенные из бурой водоросли *Fucus vesiculosus*. Сульфатированные полисахариды из другой съедобной бурой водоросли *Nothogenia fastigiata* ингибировали также активность цитомегаловируса, респираторного синцициального вируса [1, 6]. Фукоиданы, выделенные из бурых водорослей *Ascophyllum nodosum*, дальневосточных *Laminaria cichorioides*, *L. japonica* и других, проявляли антикомплементарную и противовоспалительную активность на экспериментальных моделях [12].

У водорослей выявлены и другие виды биологической активности. Добавление в пищу водорослей предупреждало развитие у крыс язвы желудка, вызываемой стрессом. В клиническом исследовании было показано, что соединения, содержащие кальций, легко усваиваются организмом и полезны для профилактики и лечения остеопороза. Экстракты и фукоиданы из бурых водорослей проявляли у животных контрацептивное действие. Местное применение альгинатов оказывало благоприятное лечебное действие у боль-

ных с донорскими кожными трансплантами. Косметические изделия на основе фукоидана ингибировали старение кожи под действием УФ-облучения [1, 13].

Необходимо отметить, что в России налаженная переработка бурых водорослей практически не развита. Более того, если для получения альгиновых кислот имеются хотя бы небольшие производства, то водорастворимые полисахариды – ламинараны, фукоиданы – являются отходами переработки водорослей, несмотря на то, что они, представляют самостоятельный интерес.

Для установления связи «структура – биологическое действие», получения лекарственных препаратов на основе полисахаридов водорослей необходимо решать проблемы, связанные с характеристикой полисахаридных композиций отдельных источников, технологией получения полисахаридов из перспективных источников. Кроме того, природные препараты не всегда удовлетворяют необходимым для использования требованиям, поэтому с целью увеличения биологической активности особое внимание привлекает модификация природных полисахаридов, в том числе с использованием высокоспецифичных ферментов. Наиболее перспективным методом модификации полисахаридов и других углеводсодержащих биополимеров является их трансформация под действием специфических ферментов – ламинариназ, фукоиданаз и альгиназ.

Исследования биологического действия полисахаридов дальневосточных бурых водорослей и продуктов их ферментативной трансформации на животных и растениях, проводимые ТИБОХ ДВО РАН и другими институтами, расширило возможности использования их в различных научных экспериментах, медицине и сельскохозяйственной практике. «Транслам», полученный в ТИБОХ ДВО РАН, изучается в настоящее время в качестве радиопротектора совместно с Институтом биофизики (Москва) МЗРФ и НИИЭМ СО РАМН (Владивосток) Минздрава России, другой препарат – «Анти-вир», применяется для профилактики вирусных и вироидных заболеваний сельскохозяйственных растений [8].

Продолжение этих исследований позволит создать комплексные технологии переработки различных водорослей, а также получения биологически активных

полисахаридов водорослей и продуктов их ферментативной трансформации, что является важным для Дальневосточного региона [14].

Проблема использования морских бурых водорослей имеет и другую сторону. Неуправляемый процесс переработки и активной реализации морских запасов, без восстановления, реабилитации и поддержки природных популяций, приводит к уничтожению естественных условий природной среды и нарушению баланса между различными ее составляющими: животными и растениями. Уже сегодня необходимо предупредить возможные экологические проблемы. А именно, обратить особое внимание на одно из наиболее эффективных средств – развитие деятельности по искусственному разведению водорослей.

Сохранение и поддержка природных популяций

Выбросы водорослей прибоем на линию берега [15] не во всех странах воспринимаются, как гниющая, дурно пахнущая масса, мешающая отдыху и туризму. В некоторых странах, как, например, Австралия, Тасмания и других островных государствах, имеются компании по сбору выброшенных масс водорослей и получению из них различных продуктов, прежде всего, таких ценных веществ, как альгинаты, агары, карра-

гинаны. Выбросы находят применение в качестве корма для скота и птицы, а также как удобрение, улучшающее к тому же структуру почв.

Однако жители этих регионов через некоторое время столкнулись с экологическими проблемами – наступила стадия, когда неограниченный сбор выброшенных водорослей вступил в противоречие с экологией этих мест. В местах, где развито такое производство, их собирают, что называется, «подчистую», поскольку производственная инфраструктура для сбора, высушивания, гранулирования, переработки, транспортировки, экспорта сухих водорослей и продуктов из них оказалась прибыльным делом.

В процессе развития водорослевого промысла выяснилось, что для очень многих видов береговых птиц, крабов (ракообразных), некоторых видов рыб и прочей морской живности выбросы водорослей являются средой обитания. Здесь они выводят потомство, которое находит в залежах водорослей достаточное количество пищи практически без помощи родителей, легко скрывается от хищников. Концентрация растворенных питательных веществ в зоне прибоя, где имеются дрейфующие морские водоросли и их выбросы, превышает в десятки и сотни раз концентрацию этих веществ в местах, где растения не скап-



Рис. 4. Заготовка бурой водоросли *Fucus evanescens*

Биология моря

ливаются. Именно в этих местах наблюдаются скопления самой разной морской живности. Вследствие неконтролируемого сбора водорослей экология этих мест катастрофически нарушена. Исчезли многие виды птиц и рыб, даже тех, которые обитают достаточно далеко от берега. Для примера можно привести исследования, которые показали, что в прибойной полосе береговой линии Южной Африки, где выбросы водорослей пока остаются нетронутыми, идентифицировано только ракообразных более 30 видов. На берегах же Западной Австралии, где происходил интенсивный сбор водорослей, обнаружен всего один вид ракообразных. В итоге, стоимость восстановления экологии этих мест оказалась намного дороже, чем выгода от сбора и переработки водорослей [15].

В Австралии эта проблема стоит очень остро, делаются попытки решить ее на государственном уровне. К настоящему времени создан ряд законодательных актов, регламентирующих сбор и переработку водорослей, выброшенных на берег; на данный вид деятельности выдаются лицензии. Законом оговаривается возможность отмены действия лицензий, если выброшенных водорослей оказывается меньше, чем ожидалось. Тем не менее, эти меры еще крайне несовершенны, имеется большой дефицит данных. Отсутствуют точные знания о том,

какое количество выбросов (15% или 30%, а может 50%) можно изымать без ущерба для экологии. Необходимо проводить исследования влияния береговых выбросов водорослей на питание и нерест птиц, а также на структуру и воспроизводство других сообществ макро- (прежде всего ракообразных, рыб) и, что немаловажно, микроорганизмов, составляющих прибрежную экосистему. Необходима оценка рециркуляции в прибрежной экосистеме питательных веществ, возникающих при разрушении водорослей, а также оценка ресурсов – биомассы водорослей, ее плотности, ежегодной изменчивости, для создания стабильного производства на основе выбросов дрейфующих или дикорастущих водорослей без ущерба для экологии.

В Российской Федерации, в случае налаживания масштабного производства и осознания выгоды от переработки и использования водорослей, с этими проблемами может столкнуться Приморский край. Локальные экологические стрессы в Дальневосточных морях уже имеются, например, в районе Владивостока. Еще более тревожным является то, что в качестве такого примера могут уже служить и более отдаленные места, как, например, бухта Троица (залив Посыет), ранее отличавшиеся богатейшим разнообразием морских животных. Бедность флоры и фауны в этом районе в настоящее

время связана не только с развитием морского порта или созданием зон отдыха. Не последнюю роль сыграло исчезновение скоплений водорослей и морских трав с береговой линии. И это, повторимся, даже в условиях отсутствия налаженного процесса промышленной переработки водорослей.

Альтернативой сбору выбросов водорослей может и должно быть развитие аквакультуры; в этом случае выбросы могут быть только дополнением к культивируемым водорослям. Тем более, что для развития данного вида деятельности в Приморье имеются все условия. Однако, несмотря на имеющиеся, детально разработанные сотрудниками ТИПРО-Центра, технологии выращивания (в основном морской капусты), аквакультура водорослей в Приморье остается практически неразвитой.

Цель этого на первый взгляд разнопланового сообщения – не только показать широкие перспективы дальнейшего освоения морских природных ресурсов, но также заранее предостеречь от чрезмерного их использования, граничащего с истреблением водорослей в отдельно взятых местах. В природе нет ничего лишнего, все связано друг с другом неразрывными узами. Если мы хотим не только использовать, но и управлять природными процессами, эти связи нам рано или поздно придется постигнуть, выстраивая свои действия в соответствии с нуждами не только человека, но и природы.

Работа по исследованию полисахаридов бурых водорослей и их ферментативной трансформации, проводимая в ТИ-БОХ ДВО РАН, поддерживается грантом РФФИ № 06-04-48540-а и программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Молекулярная и клеточная биология».

Литература

1. Беспалов В.Г., Некрасова В.Б., Никитина Т.В., Курныгина В.Т. Использование биологически активных веществ морских водорослей в медицине. В кн.: Изучение и применение лечебно-профилактических препаратов на основе природных биологически активных веществ. Под ред. В.Г. Беспалова, В.Б. Некрасовой. – СПб.: Эскулап, 2000. – 468 с.
2. Звягинцева Т.Н., Беседнова Н.Н., Елякова Л.А. Структура и иммуноотропное



Рис. 5. Бурые водоросли прибрежной зоны. Курильские острова



Рис. 6. Фукус в прибрежной зоне Курильских островов

действие 1-→3; 1-→6 - D глюканов. Монография. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 157 с.

3. Кузнецова Т.А., Шевченко Н.М., Звягинцева Т.Н., Беседнова Н.Н. Биологическая активность фукоиданов из бурых водорослей и перспективы их применения в медицине // Антибиотики и химиотерапия. – 2004. – №5. – С. 83-90.

4. Кузнецова Т.А., Запорожец Т.С., Беседнова Н.Н., Шевченко Н.М., Мамаев А.Н., Момот А.П. Иммуностимулирующая и антикоагулянтная активность фукоидана из бурой водоросли Охотского моря *Fucus epanesces* // Антибиотики и химиотерапия. – 2003. – Т. 48. – № 4. – С. 11-13.

5. Способ комплексной переработки бурых водорослей с получением препаратов для медицины и косметологии / Шевченко Н.М., Имбс Т.И., Урванцева А.М., Кусайкин М.И., Корниенко В.Г., Звягинцева Т.Н., Елякова Л.А. – Патент RU 2240816. – С1. – 2004. – БИПМ 33. – С. 444.

6. Хотимченко Ю. С., Ковалев В. В., Савченко О. В., Зиганшина О. А. Физико-

химические свойства, физиологическая активность и применение альгинатов – полисахаридов бурых водорослей // Биология моря. – 2001. – Т. 27. – № 3. – С. 151-162.

7. Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России. Монография. – Владивосток: ТИНРО-центр, 2001. – Т.1. – 580 с.

8. Hugh Kirkman & Gary A. Kendrick. Ecological significance and commercial harvesting of drifting and beachcoast macroalgae and seagrasses in Australia: a review // Journal of Applied Phycology. – 1997. – V. 9. – P. 311–326.

9. Itoh H. Antitumor activity and immunological properties of marine algal polysaccharides, especially fucoidan, prepared from *Sargassum thunbergii* of Phaeophyceae // Anticancer Res. – 1993. – V. 13. – № 6 A. – P. 2045-2052.

10. Nagumo T., Nishino T. Fucan Sulfates and Their Anticoagulant Activities // Polysaccharides in medicinal applications / S. Dumitriu (Ed.). – New-York-Basel-Hong-Kong. – 1997. – P. 545-574.

11. Percival E., Dowell R.H. Chemistry and

Enzymology of Marine Algal Polysaccharides // Academic Press. – London, 1967. – P. 219.

12. Sagawa T., Kato I. Fucoidan as food. Structure and biological activity // Japan J. Phycol. (Sorui). – 2003. – V. 51. – P. 19-25.

13. Zemke-White W.L., Ohno M. World seaweed utilisation: An end-of-century summary // Journal of Applied Phycology. – 1999. – V. 11. – P. 369-376.

14. Zvyagintseva T.N., Shevchenko N.M., Nazarenko E.L., Gorbach V.I., Urvantseva A.M., Kiseleva M.I., Isakov V.V. Water-soluble polysaccharides of some brown algae of the Russian Far-East. Structure and biological action of water-soluble polyuronans // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2005. – V. 320. – P. 123-131.

15. Zvyagintseva T.N., Shevchenko N.M., Nazarova I.V., Scobun A.S., Luk'yanov P.A., Elyakova L.A. Inhibition of complement activation by water-soluble polysaccharides of some far-eastern brown seaweeds // Comp. Biochem. Physiol. – 2000. – V. 126. – P. 209-215. ■