

Э.А. Титлянов, Т.В. Титлянова

МОРСКИЕ РАСТЕНИЯ
СТРАН АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА,
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И КУЛЬТИВИРОВАНИЕ



A.V. ZHIRMUNSKY INSTITUTE OF MARINE BIOLOGY
FAR EAST BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

E.A. TITLYANOV, T.V. TITLYANOVA

**MARINE PLANTS
OF THE ASIAN PACIFIC REGION COUNTRIES,
THEIR USE AND CULTIVATION**

Editor-in-Chief
Academician A.V. Adrianov



Vladivostok • Dalnauka
2012

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ МОРЯ ИМ. АКАДЕМИКА А.В. ЖИРМУНСКОГО ДВО РАН

Э.А. ТИТЛЯНОВ, Т.В. ТИТЛЯНОВА

**МОРСКИЕ РАСТЕНИЯ
СТРАН АЗИАТСКО–ТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА,
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
И КУЛЬТИВИРОВАНИЕ**

Под общей редакцией
академика А.В. Адрианова



Владивосток • Дальнаука
2012

УДК 582.273

Титлянов Э.А., Титлянова Т.В. **Морские растения стран Азиатско-Тихоокеанского региона, их использование и культивирование.** Владивосток: Дальнаука, 2012. 377 с.

Представленная книга является обзором литературы по использованию и культивированию морских растений в странах мира, и особенно подробно – в странах Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), а также – результатом собственных исследований, проводившихся авторами в течение более двадцати лет в России, Вьетнаме, Японии и Китае. В книге дается современная классификация морских растений, описание их морфологии и способов размножения. Показаны место и роль морских растений в природных экосистемах. Книга знакомит читателя с полезными веществами, выделенными из макроводорослей, морских трав и цианобактерий, с масштабами сбора, использования и культивирования водорослей в мире и в странах АТР, анализируются проблемы, возникающие при культивировании водорослей.

Заключает книгу глава «Массовые полезные для человека морские макрофиты стран АТР (путеводитель)», где дается описание на русском и английском языках 162 видов морских водорослей, произрастающих и используемых в странах АТР. Все цветные фотографии водорослей в естественных условиях произрастания, в аквариуме и под микроскопом в большей части сделаны авторами.

Книга будет полезна широкому кругу русскоязычных читателей: ученым, бизнесменам, студентам, школьникам и просто интересующимся морем людям, а также ученым-альгологам стран АТР.

Ил. 221, табл. 3, библи. 593 назв.

Рецензенты:

д.х.н. *Ермак И.М.*, к.б.н. *Суховеева М.В.*

Утверждено к печати Ученым советом ИБМ ДВО РАН

Titlyanov E.A., Titlyanova T.V. **Marine plants of Asian-Pacific Region, their use and cultivation.** Vladivostok: Dalnauka, 2012. 377 p.

The present book is survey of the world literature on the use and cultivation of marine plants in over the World and especially in countries of the Asian-Pacific Region (APR) on the one hand and it is a result of own investigations conducted by the authors during more than twenty years in Russia, Vietnam, Japan and China on the other hand.

There are given modern classification of marine plants, description of their morphology and reproduction patterns in the book. The position and role of marine plants in natural ecosystems are shown. The book makes readers familiar with useful substances, obtained from macroalgae, seagrasses and cyanobacteria, with harvesting scales, seaweed use and cultivation in the World and in the APR countries. Problems arising under the seaweed cultivation by various methods are analyzed.

«Mass useful marine macrophytes of the APR countries (guide)» is a final chapter giving description in the Russian and English languages of 162 species of marine algae grown and used in the APR countries. All color photographs of algae in habitat, aquarium and under microscope are mainly made by the authors.

We hope for the book will be useful to the broad circle of the Russian readers: scientists, businessmen, students, pupils, and people interesting in the sea and also to phycologists of the APR countries.

Ill. 221, Tables 3, bibl. 593.

ВВЕДЕНИЕ

Дорогой читатель!

Книга, которую вы держите в руках, является, с одной стороны, обзором мировой литературы по использованию и культивированию морских растений в странах мира, и особенно в странах Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) Северо-Западной Пацифики, с другой стороны – результатом собственных исследований, проводившихся авторами в течение более двадцати лет. Авторы книги – профессионалы в различных областях науки по морским растениям: Титлянов Э.А. – в области биохимии, физиологии и экологии морских бентосных водорослей и герматипных кораллов, Титлянова Т.В. – в области таксономии и экологии макроводорослей умеренных, субтропических и тропических широт.

Для написания первых четырех глав нашей книги мы выбрали русский язык, надеясь, что книга будет полезна широкому кругу русскоязычных читателей: ученым, бизнесменам, студентам, школьникам и просто интересующимся морем людям. Последняя глава «Массовые полезные для человека морские макрофиты стран АТР (путеводитель)» написана на русском и английском языках и может быть интересна всем, знающим русский или английский языки и интересующимся флорой Тихого и Индийского океанов. Первые четыре главы написаны Э.А. Титляновым, последняя – путеводитель – Т.В. Титляновой. Фотографии водорослей в естественных условиях, в аквариуме и на суше сделаны в основном Э.А. Титляновым, под микроскопом – Т.В. Титляновой.

Книга содержит 5 глав: «Морские растения», «Химический состав морских растений и физико-химические свойства полезных для человека веществ», «Использование морских растений», «Культивирование морских водорослей: способы и проблемы» и упомянутый выше «Путеводитель».

В главе «Морские растения» приводятся современная классификация морских растений, описание их морфологии и способов размножения. Показаны место и роль морских растений в природных экосистемах и подробно в одной из них – в экосистеме коралловых рифов (наиболее распространенной в тропических и субтропических странах АТР).

Глава «Химический состав морских растений...» знакомит читателя с полезными веществами, выделенными из макроводорослей, морских трав и цианобактерий; приведены химические формулы и описаны физико-химические свойства наиболее ценных веществ.

Глава «Использование морских растений» дает представление о масштабах сбора, культивирования и использования водорослей в мире и особенно подробно – в странах АТР. В этой главе приводится таблица с указанием где (страна) и как (в пищу, для производства фикоколлоидов и удобрений, в медицине и др.) используются морские растения в странах мира (более 300 видов растений).

В главе «Культивирование морских водорослей: способы и проблемы» сделана попытка показать современное состояние марикультуры в мире и описать основные способы культивирования морских макрофитов в странах АТР. Анализируются проблемы, возникающие при культивировании водорослей различными способами. Одной из основных проблем является негативное влияние массовой промышленной монокультуры водорослей на естественные донные биоценозы, предлагаются пути решения некоторых из проблем.

В главе «Массовые полезные для человека морские макрофиты стран АТР (путеводитель)»

дается описание 162 массовых видов морских водорослей, произрастающих и используемых в странах АТР. Цветные фотографии водорослей в естественных условиях произрастания, в аквариуме и под микроскопом в большей части сделаны авторами в процессе научной работы на Дальнем Востоке России (Японское море), во Вьетнаме (Южно-Китайское море), в Японии на Окинаве (Восточно-Китайское море), в Китае (Желтое море) и в Корее (Восточно-Китайское море).

В списке литературы приводятся публикации, использованные авторами в написании обзора и при определении таксономического положения водорослей. В «Алфавитном указателе» дан список (на латинском языке) всех видов водорослей, упоминавшихся в книге, указаны страницы, где можно найти эти упоминания.

При описании водорослей (без ссылки на литературные источники) даются современные названия таксонов, согласно базе данных по водорослям (<http://www.algaebase.org>. 2011). В тех случаях, когда цитируются литературные данные, названия таксонов даются по цитируемым источникам; если ко времени написания нашей книги название таксона было изменено, то дается его новое название следуя базе данных по водорослям, а цитируемое дается в квадратных скобках.

Работа была выполнена благодаря финансовой поддержке со стороны академий наук России, Вьетнама, Китая, а также Университета Рюкю (Япония, Окинава). Наши исследования финансировали главным образом три научно-исследовательских института: Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения Российской Академии наук (РАН) (г. Владивосток), Институт океанографии и Институт технологических и прикладных исследований Вьетнамской Академии наук (г. Нячанг). Авторы благодарят бывших и настоящих директоров этих институтов за постоянную поддержку в работе: академиков РАН А.В. Жирмунского, В.Л. Касьянова, А.В. Адрианова, профессоров Нгуен Ким Хунга, Нгуен Так Ана, Буи Хонг Лонга и Буи Минь Ли.

Мы благодарны О.С. Белоус (Сергеевой) за помощь в сборе и обработке материала, а также нашим коллегам [Л.П. Перестенко](#), [А.А. Калугиной-Гутник](#), Дам Дык Тьену, А.В. Скрипцовой, Нгуен Суан Хоа, П.В. Буторину, И.И. Чербаджи, Ле Ньы Хау, Фам Ван Хуену, Хюнг Куанг Нангу, Ёшикатсу Накано, Нгуен Хьу Зиню, Ли Ши Бо, Панг Шаоджуну, И.М. Яковлевой за участие в полевых работах. Специальную благодарность мы выражаем профессору [Киёши Ямазато](#), профессору Макото Тсучия, профессору Мичио Хидака за приглашения работать на Морской биологической станции Университета Рюкю, профессору Хуанг Хуи за приглашения работать на Морской биологической станции Института океанологии Южно-Китайского моря, доктору биологических наук В.И. Радашевскому за приглашение сотрудничать в составе рабочей группы Северо-Тихоокеанской морской научной организации (PICES), а также доктору Инке Барч за приглашение работать с гербарным материалом в Институте полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (Бремерхафен, Германия). Работу рецензировали и редактировали: д.х.н. И.М. Ермак, к.б.н. М.В. Суховеева и Ю.И. Переплеткин, все замечания к книге авторы приняли с благодарностью.



О.С. Белоус на плантациях красной водоросли каппафикус в зал. Шон Хай, Вьетнам, март 2006 г.



А.В. Скрипцова (на переднем плане) на плантации красной водоросли грацилярии, Приморье (Россия), июнь 1994 г.

INTRODUCTION

Dear reader!

The book, which you hold in your hands, is summarizing of world literature on the use and cultivation of marine plants in over the world and especially in countries of the Asian-Pacific Region (APR) on the one hand and it is a result of own investigations conducted by the authors during more than twenty years on the other hand. The authors of the book are professionals in different areas of the science on marine plants: Titlyanov E.A. is specialist in biochemistry, physiology and ecology of marine benthic algae and hermatypic corals; Titlyanova T.V. – in taxonomy and ecology of macroalgae in temperate and tropical zones.

The book contains five chapters: «Marine plants», «Chemical structure, physical and chemical properties of useful substances of marine plants», «Cultivation of marine algae: methods and problems» and «Guide on common species of useful marine algae in countries of the APR».

In the Chapter «Marine Plants», the authors explain how they understand the term «marine plants». Modern classification of marine plants, description of their morphology and reproductive patterns are given. The position and role of marine plants in natural ecosystems is shown.

The Chapter «Chemical structure, physical and chemical properties of useful substances of marine plants» acquaints readers with useful substances, obtained from macroalgae, seagrasses and cyanobacteria. In the chapter, chemical formulae are given, physical and chemical properties of the most valuable substances are described.

The Chapter «Use of marine plants» gives a notion of a large scale harvesting, cultivation and the use of seaweeds in the World and especially in countries of APR (in detail). In the Chapter, table is given where pointed out common algae (about 300 species of more than 130 genera), which are used (in food industry, in production of phycocolloids and fertilizers, in medicine, etc.) and are cultivated in countries of over the world.

In the Chapter «Cultivation of marine algae: methods and problems», the attempt to show a modern state of mariculture in the world was made. Methodical approaches and main methods of marine macrophytes cultivation in the APR countries are described. Problems, which occur under algal cultivation by various methods are analyzed. One of the most problems is a negative influence of mass industrial monoculture of algae on natural bottom biocenoses; ways of the solution of some of problems are suggested.

In the Chapter «Guide on common species of useful marine algae in countries of the APR», description of 162 species of common useful marine plants growing in countries of the APR. In most cases, color photographs of marine algae in habitat, in aquarium and under microscope were made by the authors during scientific work in the Far East of Russia (The Sea of Japan), in Vietnam (South-China Sea), in Japan, Okinawa (East-China Sea), in China (Yellow Sea, South China Sea) and in Korea (South-China Sea).

In the «List of used literature», all publications used by the authors in the time of writing the book and identifying taxonomic status of algae are given. In alphabetic index (in Latin) all algal species mentioned in the book and pages are given.

When describing algal species (without references), modern names of taxons are given, according to Algaebase (<http://algaebase.org/species>). In the cases, when literature data are quoted, taxon names

are given according to the literature data, if the name was changed by the time of writing the book, we give new one according to algaebase after this the quoted name put in square brackets.

For writing of the four chapters, the Russian language was chosen in the hope that the book will be useful to the broad circle of the Russian readers: scientists, businessmen, students, pupils and people interesting in the sea.

The last chapter was written in the Russian and English languages and may be useful to all of knowing the both languages and interesting in flora of the Indo-Pacific Region. The first four chapters were written by E.A. Titlyanov, «Guide on common species of useful marine algae of the Asian-Pacific Region» was written by T.V. Titlyanova. Photographs of marine plants in natural conditions, in aquarium and on land were mainly made by E.A. Titlyanov, photographs under microscope were made by T.V. Titlyanova.

The work was fulfilled owning financial support by Academies of Sciences of Russia, Vietnam, China and University of the Ryukyus (Japan, Okinawa). Our investigations were mainly supported by the three research institutes: A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology, Far East of Russia (Vladivostok), Institute of Oceanography and Institute of Technology Research and Application of the Vietnamese Academy of Sciences (Nha Trang). The authors thanks former and present directors of these institutes for constant support in the investigations: the academicians of the Russian Academy of Sciences A.V. Zhirmunsky, V.L. Kasyanov, A.V. Adrianov, the Professors Nguyen Kim Hung, Nguyen Tac An, Bui Hong Long and Bui Minh Ly.

We grateful to O.S. Belous (Sergeeva) for help in sampling, in processing materials and in preparation of the chapters «Use of marine plants» and «Chemical structure, physical and chemical properties of useful substances of marine plants». We also grateful to our colleagues Prof. [L.P. Perestenko](#), Prof. [A.A. Kalugina-Gutnik](#), Prof. Nguyen Huu Dinh, Dr. Nguyen Huu Dai, Dr. A.V. Skriptsova, Nguyen Xuan Hoa, P.V. Butorin, Dr. I.I. Cherbadi, Le Nuu Hau, Pham Van Huyen, Phycologist Huynh Quang Nang, Eshikatsu Nakano, Dr. Li Xiubao, Dr. Pang Shaojun, Dr. I.M. Yakovleva. Special thanks to Prof. [Kiyoshi Yamazato](#), Prof. Makoto Tsuchiya, Prof. Michio Hidaka for invitations to work at the Marine Biological Station of the Ryukyu University, Prof. Huang Hui – at the Marine Biological Station of the South-China Sea Institute of Oceanology, Dr. V.I. Radashevsky for the invitation to participate at workshops of the North Pacific Marine Science Organization (PICES); and also to Dr. Inka Bartsch for invitations to work at the Alfred-Wegener Institute for Polar and Marine Research (Bremerhaven, Germany) with herbarium material. The book was reviewed and edited by Professor I.M. Yermak, Doctor M.V. Sukhoveeva and Honoured Journalist of the Russian Federation Yu.I. Perepletkin. The authors of the book are grateful for all comments.



ГЛАВА 1

МОРСКИЕ РАСТЕНИЯ

Морскими растениями мы называем все автотрофные организмы, обитающие в море, содержащие хлорофилл *a* 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). Данная книга посвящена главным образом используемым человеком бентосным макроводорослям и морским травам, которые имеют общее название – макрофиты. В этой главе кратко описаны некоторые биологические, физиологические и экологические характеристики основных групп бентосных микро- и макроводорослей, используемых человеком.

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ МОРСКИХ РАСТЕНИЙ

Классификация живых и мертвых организмов осуществляется методами таксономии и систематики. Таксономия объединяет организмы по морфологическим и анатомическим признакам в группы, называемые таксонами, в то время как систематика ищет родство (эволюционные связи) между таксонами. В альгологии (науке о водорослях) таксономия Линнея является доминирующей. По современной линнеевской таксономии морские растения, описанные или упоминаемые в данной книге, принадлежат двум империям и четырем царствам. В империю Eukaryota входят царства: Plantae, Chromista, Protozoa, а в империю Prokaryota – царство Bacteria.

К царству Plantae 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 Myzozoa. Царство Bacteria включает синезеленые водоросли, принадлежащие Отделу Cyanobacteria.

В каждый отдел входят классы, в классы – порядки. В порядок входят семейства, в семейство – роды. Род может состоять из одного или многих видов. В одном виде могут быть несколько форм.

Классификация морских растений дается на латинском языке. Каждый вид имеет научное имя, которое состоит из двух названий (биномиал): первое – родовое название и второе – видовое. Первая буква родового названия пишется с прописной (большой) буквы, видовое название – со строчной (маленькой) буквы. Оба названия выделяются курсивом или подчеркиванием. Обычно биномиал сопровождается фамилиями авторов, описавших этот вид. В настоящее время название растения определяется «Международным кодексом ботанической номенклатуры» (МКБН) и входит в международную базу данных по водорослям (Guiry & Guiry, 2011). Следуя этому кодексу, например, номенклатура красной водоросли *Halymenia dilatata* (рис. 1) будет выглядеть следующим образом:

НАЗВАНИЕ: *Halymenia dilatata* Zanardini

Классификация

Империя	Eukaryota
Царство	Plantae
Подцарство	Biliphyta
Отдел	Rhodophyta
Подотдел	Eurhodophytina
Класс	Florideophyceae
Подкласс	Rhodymeniophycidae
Порядок	Halymeniales
Семейство	Halymeniaceae
Род	<i>Halymenia</i>



Рис. 1. Красная водоросль *Halymenia dilatata*, растущая на каменистом грунте в бухте Сом Бау на глубине 2 м, г. Нячанг (Вьетнам), апрель 2006 г.

В книге приводятся современные названия видов (на июнь 2011 г.), при цитировании литературных данных за современным названием в квадратных скобках даны синонимы (старые названия), которыми пользовались авторы.

1.2. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ

1.2.1. 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.

В макроводорослях различают части талломов, служащие для прикрепления к субстрату. Они могут быть дисковидными, пальцевидными, шнуроподобными или другими хорошо развитыми формами (подошвы, ризоиды, корнеподобные выросты) (рис. 2). Сразу за ризоидальной частью таллома следует стеблеподобный вырост таллома (ножка, «стебель»), поддерживающий листовидный вырост слоевища (пластину, пластинку), хотя у многих видов этих образований нет, а ризоидальная часть таллома сразу переходит в пластину. Пластина может быть толстой, тонкой, пленчатой, нитчатой, цельной или рассеченной. Стелющиеся побеги (столоны), соединяющие вертикальные пластины, иногда называют «корневищем».

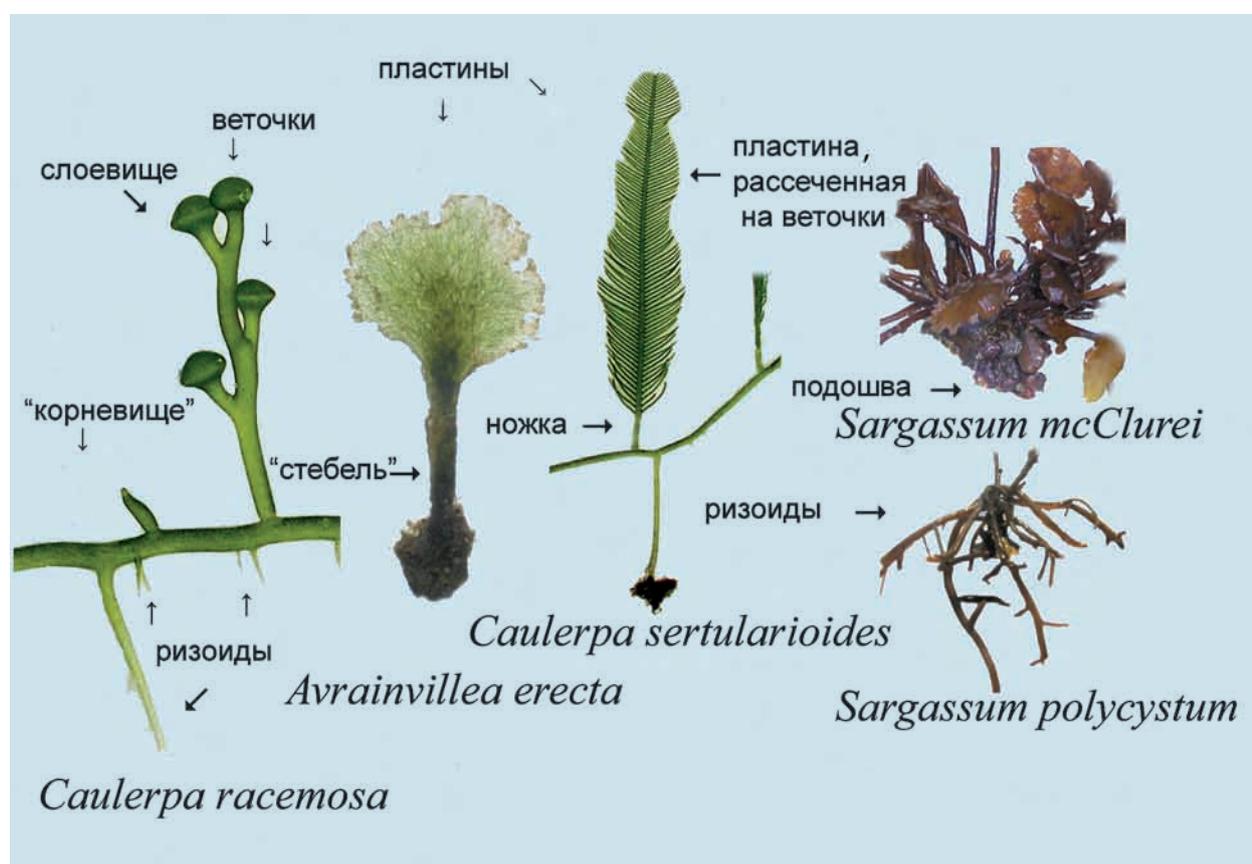


Рис. 2. Морфология макроводорослей

Тип ветвления растений является важной морфологической характеристикой при таксономической идентификации водорослей. Макроводоросли имеют в основном такие типы ветвления, как очередной, дихотомический (трихотомический), односторонний, неправильный и мутовчатый (рис. 3).

1.2.2. СИНЕЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРΟΣЛИ, ИЛИ ЦИАНОБАКТЕРИИ (Cyanobacteria)

Синезеленые бентосные водоросли представлены одноклеточными и колониальными формами (рис. 4). Колониальные водоросли (колонии водорослей) имеют плоскую, сферическую, нитчатую, ветвистую или аморфную формы. Студенистая (желатинозная) оболочка индивидуальных клеток может сливаться в желатинозный матрикс. Нить может состоять из одной или нескольких цепочек (трихом) клеток. Синезеленые водоросли не имеют органелл для осуществления движения. Однако некоторые формы цианобактерий, такие как представители рода *Oscillatoria*, могут двигаться за счет вибрирования.

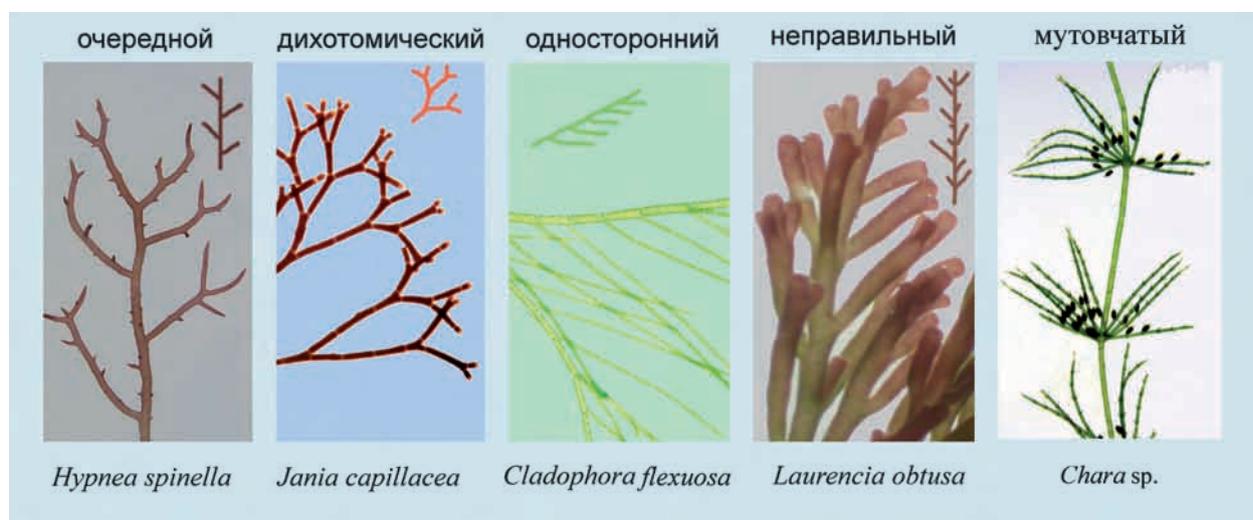


Рис. 3. Типы ветвления слоевищ макрофитов

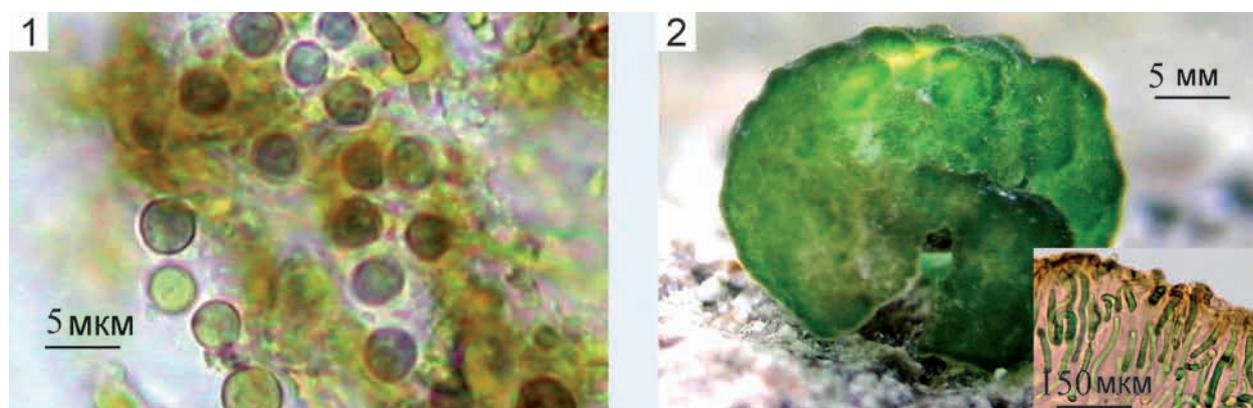


Рис. 4. Морфология цианобактерий: 1 – одноклеточные эндолитические синезеленые водоросли в скелете коралла; 2 – колониальная эпилитическая синезеленая водоросль *Brachytrichia quoyi*. Вьетнам, март 2007 г.

1.2.3. ДИАТОМЕИ (*Bacillariophyta*)

Диатомеи, или одноклеточные диатомовые водоросли (рис. 5), являясь самыми распространенными представителями фитопланктона, многочисленны также в бентосных сообществах. Они имеют сложный наружный скелет или своеобразный панцирь, состоящий из аморфного кремнезема, покрытого слоем органического материала. Панцирь диатомей состоит из двух половинок или створок: эпитеки и гипотеки. Более старые, верхние створки слегка перекрывают нижние, более молодые створки. Форма панциря сильно варьирует. В бентосных сообществах диатомеи обитают на поверхности илистого и песчаного дна, на камнях, морских растениях и животных (раковины моллюсков, панцири ракообразных).

1.2.4. ДИНОФЛАГЕЛЛАТЫ (*Dinoflagellata*), ЗООКСАНТЕЛЛЫ

Зооксантеллы – общее название микроводорослей, живущих в симбиозе с морскими животными: кораллами, актиниями, зоантариями, гидроидами, медузами и моллюсками. У далеких в систематическом положении хозяев обитают разные виды и даже роды зооксантелл. У рифостроящих кораллов, принадлежащих к разным видам, встречается в основном один вид зооксантелл – *Symbiodinium microadriaticum* Freudenthal. В клетке хозяина зооксантелла находится в форме неподвижной цисты (8–10 мкм в диаметре) с тонкой оболочкой (рис. 6). Зооксантеллы размножаются в клетках хозяина и передаются от родителей к потомству с половыми продуктами, или планулами.

1.2.5. МОРСКИЕ ТРАВЫ

Одним из основных компонентов рифовой экосистемы являются морские травы, которые заселяют песчаные и илисто-песчаные участки дна, а некоторые из них способны закрепляться корневищами за твердое основание рифа (например, *Thalassodendron ciliatum*). Морские травы, как и высшие наземные растения, имеют корневища, стебли, листья и цветки (рис. 7).



Рис. 5. Морфология бентосных диатомовых водорослей

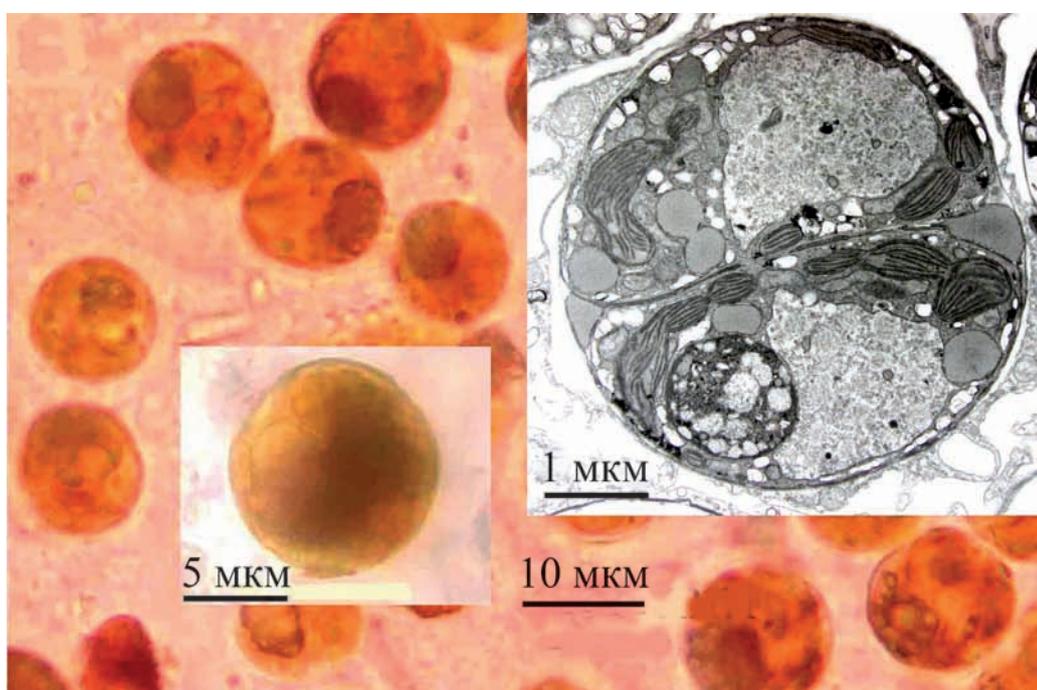


Рис. 6. Эндосимбиотические водоросли зооксантеллы из ткани склерактиниевого коралла *Porites lutea*, краевой риф о-ва Сесоко (Окинава, Япония), март 1998 г. Вставка: фотография делящейся клетки зооксантеллы под электронным микроскопом (Фото Джунзо Тсукахары)



Рис. 7. Морская трава *Cymodocea serrulata*, о-в Фукуок, Вьетнам, апрель 2009 г. Вставка: морская трава *Thalassia hemprichii*, о-в Хайнань, Китай, октябрь 2008 г.

1.2.6. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ФОРМЫ

Морские растения, играющие определенную роль в подводных экосистемах, рационально объединять в группы не по систематическому положению, а по схожести их основных морфологических (рис. 8) и физиологических признаков. Так, тонкие нитчатые, трубчатые и тонко разветвленные формы водорослей, талломы которых часто построены из одного или двух слоев клеток,



Рис. 8. Морфологические формы морских растений

а также нитчатые колонии цианобактерий, имеющие высокое отношение площади слоевища (или колонии) к объему, можно объединить в одну группу высокопродуктивных, быстро растущих и короткоживущих морских растений, которые обычно занимают супралиторальную, литоральную и самую верхнюю часть сублиторальной зоны с резко и часто меняющимися условиями существования (эфимеры-оппортунисты) (рис. 9, 10).

В противоположность вышеописанным формам, мясистые, грубые мешковидные, толстокожистые, жесткосуставчатые формы имеют низкое отношение поверхностной площади слоевищ к их объему. В большинстве случаев их талломы покрыты толстой кутикулой и состоят из большого числа клеточных слоев, стенки клеток построены из множества целлюлозных тяжей. Эта группа растений менее продуктивна, чем вышеупомянутая, и, как правило, представлена медленнорастущими и долгоживущими видами, обитающими в сублиторали (рис. 11).



Рис. 9. Сообщество тонконитчатых и тонкоразветвленных водорослей с доминированием зеленой водоросли *Ulva clathrata* и красной *Gayliella flaccidum* на литорали о-ва Хайнань (Китай), октябрь 2008 г.

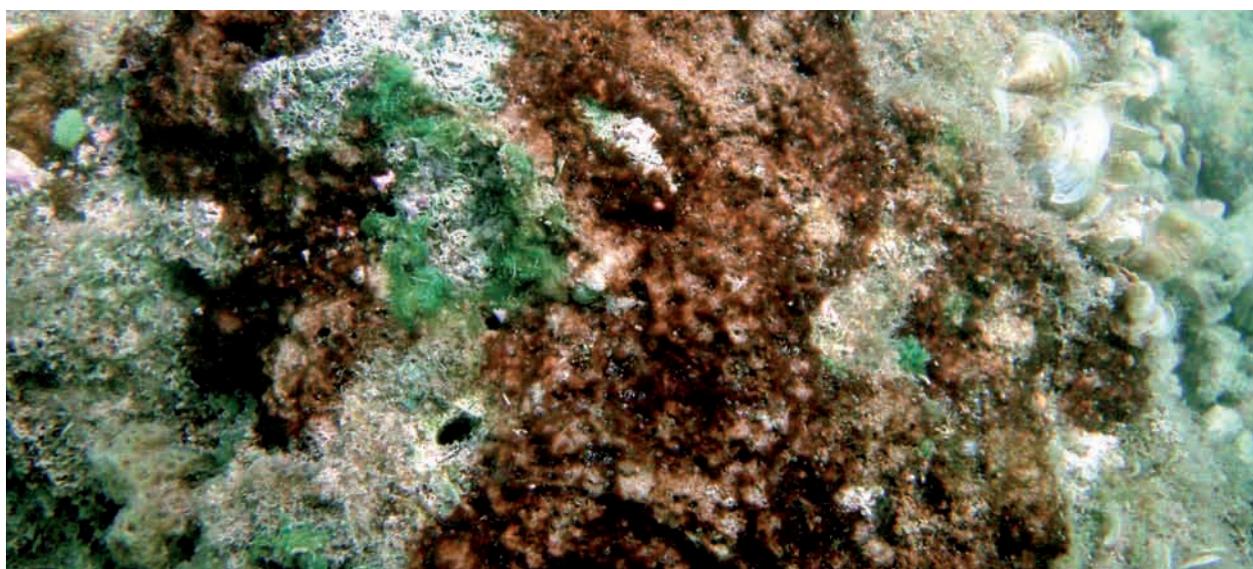


Рис. 10. Эфимерное сообщество синезеленых водорослей с доминированием *Lyngbya majuscula* и *Coleofasciculus chthonoplastes* на мелководье п-ова Лухуитоу (о-в Хайнань, Китай), апрель 2009 г.

Водоросли, имеющие известковый скелет, принимают участие в строительстве карбонатного основания рифа и объединяются в группу растений-рифостроителей. Некоторые из них покрывают субстрат в виде твердых бугорчатых корок (красные кораллиновые водоросли) и могут расти в местах, подверженных частому и сильному воздействию штормовых волн, образуя в таких местах известковый гребень, который уменьшает силу волнового воздействия на коралловый риф (рис. 12).



Рис. 11. Сообщество крупных водорослей с доминированием обызвествленной зеленой водоросли *Halimeda discoidea* на коралловом рифе в бухте Сом Бау (зал. Нячанг, Вьетнам), апрель 2007 г.



Рис. 12. Сообщество известковых красных водорослей с доминированием *Peyssonnelia conchicola* на коралловом рифе о-ва Мун, зал. Нячанг (Вьетнам), апрель 2006 г.

1.2.7. ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ БЕНТОСНЫХ МОРСКИХ РАСТЕНИЙ

Морские растения на коралловом рифе существуют в разных жизненных формах, например, водоросли-эпилиты обитают на твердых субстратах, прикрепляясь к камням, раковинам, мертвым скелетам кораллов. Водоросли-эндолиты поселяются внутри твердого субстрата: в скелетах живых и мертвых колоний кораллов, в створках раковин и других животных, а также в карбонатном основании кораллового рифа. Водоросли-эндолиты, в свою очередь, имеют две хорошо выраженные жизненные формы: водоросли, колонизирующие уже существующие полости внутри субстрата, и водоросли, активно проникающие в твердый субстрат (сверлильщики, *Ostreobium quekettii*) (рис. 13).

Морские растения могут быть симбионтами животных. Например, одноклеточные водоросли-зооксантеллы, живущие внутриклеточно в эндодерме кораллов (эндосимбионты), или симбиотические зеленые и синезеленые водоросли, обитающие в скелетах живых склерактиниевых кораллов (эктосимбионты) (рис. 4, 13).

Водоросли-эпифиты прикрепляются к слоевищам крупных форм макроводорослей или листьям морских трав (рис. 14), эпибионты – к твердым и мягким покровам животных. Некоторые многоклеточные и одноклеточные водоросли живут в межклетниках других растений (эндофиты) (рис. 15), а некоторые паразитируют на морских животных и на других видах водорослей. Не все бентосные водоросли прикрепляются к субстрату, некоторые из них являются свободноживущими и образуют скопления (например, некоторые виды грацилярии и анфельции).

1.3. РАЗМНОЖЕНИЕ

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

Половое размножение происходит путем слияния репродуктивных клеток, называемых гаметами. Существует три типа полового размножения: изогамия – слияние в половом процессе

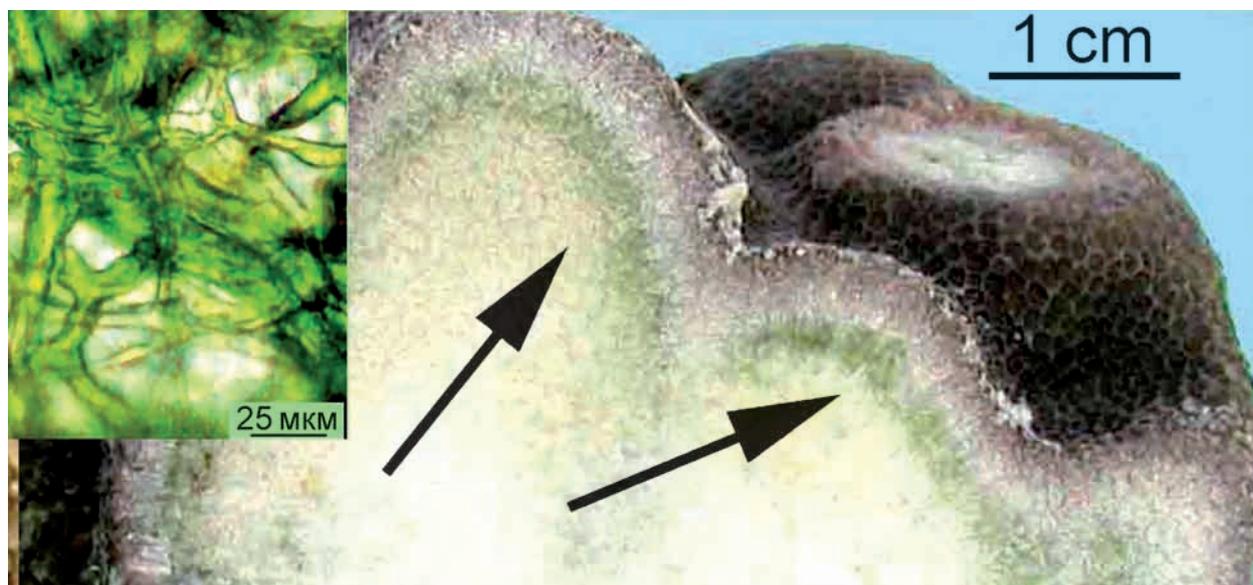


Рис. 13. Эндолитическая зеленая водоросль *Ostreobium quekettii*, обитающая в скелете склерактиниевого коралла *Porites lutea* на рифах о-ва Окинава (Япония), январь 2003 г.

подвижных гамет одинаковой формы и равной величины (изогаметы); анизогамия – слияние в половом процессе подвижных гамет разной величины (анизогаметы) и оогамия – слияние небольшой подвижной мужской гамет и большой неподвижной женской гамет. Гаметы формируются в гаметангиях: мужские гаметы образуются в антеридиях, женские – в оогониях.

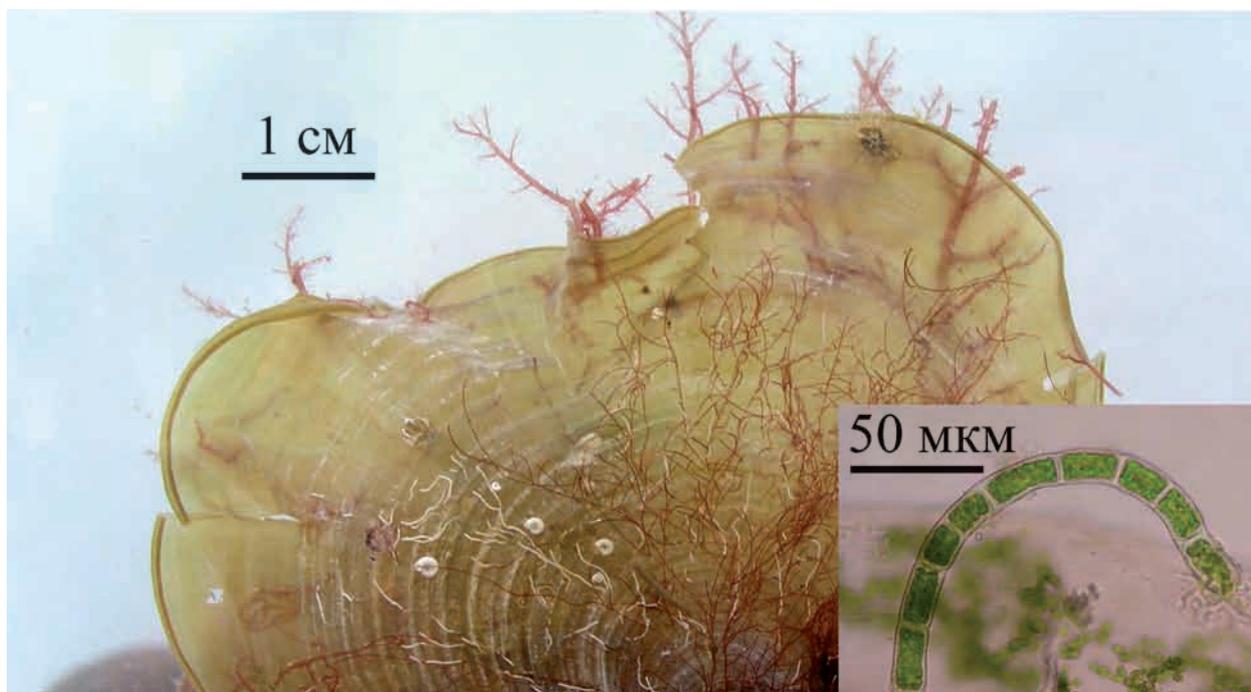


Рис. 14. Эпифитные красные водоросли *Spyridia filamentosa*, *Herposiphonia secunda* на бурой водоросли *Padina boryana*, о-в Мот, зал. Нячанг (Вьетнам), апрель 2007 г. Вставка: зеленая водоросль *Rhizoclonium riparium* – эпифит на *Cladophora laetevirens*

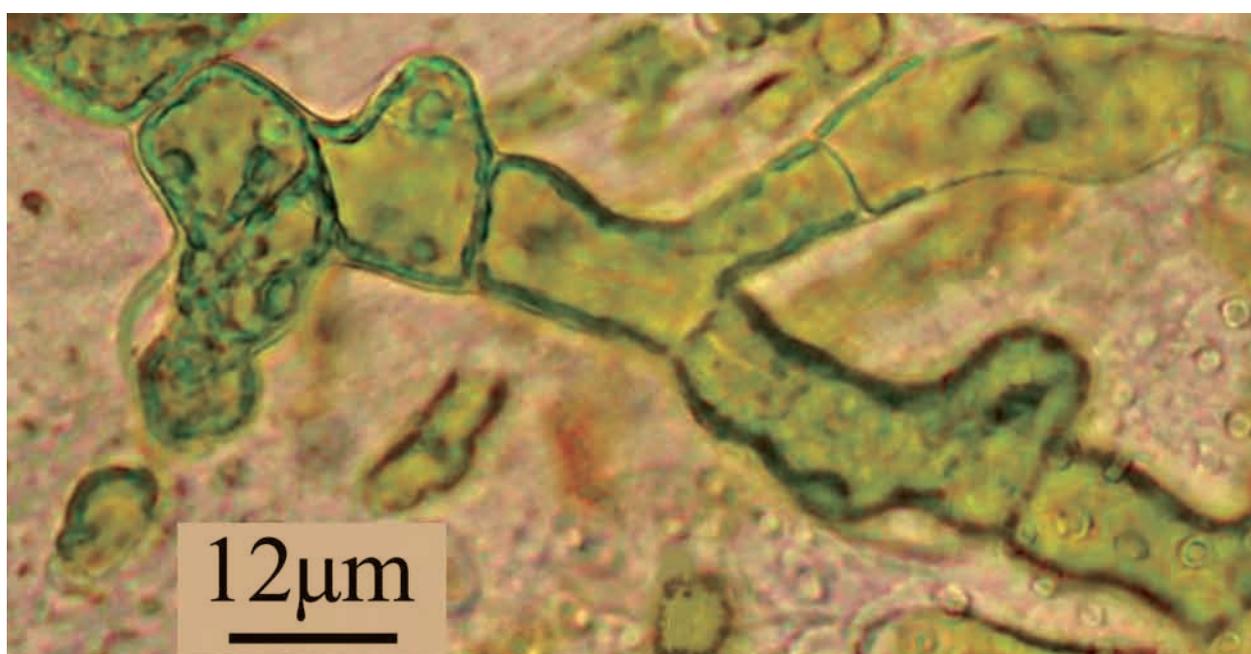


Рис. 15. Эндофит – зеленая водоросль *Acrochaete leptochaete* под кутикулой красной водоросли *Nuphea spinella*. Остров Хайнань, Китай, апрель 2009 г.

Во многих высокодифференцированных формах морских водорослей репродуктивные клетки могут формировать отчетливые структуры в виде фертильных (плодущих) зон (пятен) на поверхности таллома, называемых сорусами, и подушковидных структур, называемых нематециями. Репродуктивные органы могут располагаться также в полостях таллома – в концептакулах, открывающихся одной или несколькими порами. Иногда органы размножения развиваются на специализированных частях ветвей – рецептакулах. Жизненные циклы макроводорослей (онтогенез) протекают без чередования или с чередованием двух-трех соматических генераций (рис. 16). Гаметофитные (размножающиеся половым путем) и спорофитные (размножающиеся бесполом путем) генерации могут быть морфологически одинаковыми (изоморфные) или разными (гете-

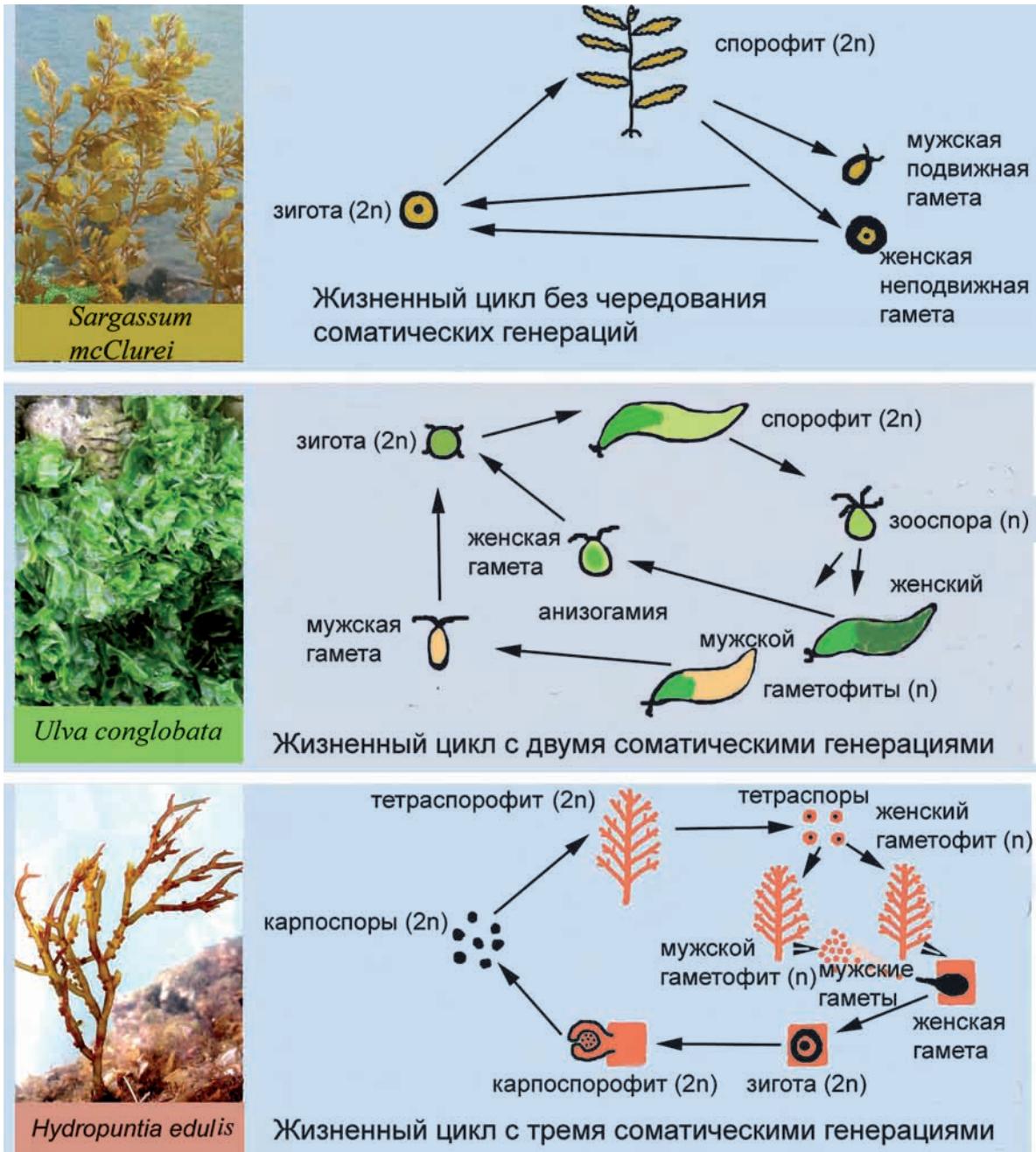


Рис. 16. Последовательность стадий развития в жизненных циклах морских бурых, зеленых и красных водорослей на примере *Sargassum mcclurei* (Heterokontophyta), *Ulva conglobata* (Chlorophyta) и *Hydropuntia edulis* (Rhodophyta)

роморфные). Во время спорофитной фазы жизненного цикла через мейоз продуцируются мейоспоры, развивающиеся в гаметофитные мужские и женские растения. Таким образом, спорофит имеет двойной набор хромосом (диплоидный спорофит, $2n$), а гаметофиты имеют только один набор хромосом (гаплоидный гаметофит, n). Гаметофиты продуцируют гаметы через митотическое деление (митоз). Гаметы сливаются, образуя зиготу, которая развивается в спорофитное растение. 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 (рис. 16).

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 (рис. 16). 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.

1.4. МОРСКИЕ РАСТЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ КОРАЛЛОВЫХ РИФОВ

Страны, находящиеся в тропической и субтропической областях Мирового океана, отличаются наличием высокопродуктивных прибрежных, подводных экосистем, таких как мангровые леса, луга морских трав и коралловые рифы. Наибольшее биоразнообразие среди этих экосистем имеют коралловые рифы. Исторически рифы формируются главным образом благодаря процессам кальцификации при строительстве скелета у склерактиниевых кораллов и кораллиновых водорослей. Основными первичными продуцентами органического вещества на коралловых рифах являются морские растения. Морские растения на коралловых рифах представлены микро- и макроорганизмами, обитающими в толще воды (фитопланктон), на дне (фитобентос), на искусственном субстрате (фитообрастания). Бентосные морские растения играют ведущую роль в построении и функционировании экосистемы коралловых рифов (Littler, Littler, 2000, 2003; Fong, Paul, 2011).

1.4.1. РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОРСКИХ РАСТЕНИЙ НА КОРАЛЛОВОМ РИФЕ И ФАКТОРЫ, ЕГО ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ

Морские растения на коралловых рифах, как и в других экосистемах, распределены в пределах эуфотической (эпипелагической) зоны или освещенной толщи морской воды, где световые условия позволяют фотосинтезирующим организмам пройти полный жизненный цикл. Глубина распространения эуфотической зоны различна и зависит главным образом от прозрачности воды. В чистых океанических водах эта зона может простираться до глубин 200–250 м. Световой диапазон, при котором растения могут фотосинтезировать и проходить полный жизненный цикл, составляет от 0,01 до 100% фотосинтетически активной радиации, падающей на поверхность воды (ФАР_n).

Свет является одним из главных факторов, лимитирующих распространение водорослей в глубину. Обычно водоросли не растут на глубинах, где интенсивность света менее 1% ФАР_n (что составляет около $10\text{--}15 \text{ мЕ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ в середине солнечного дня) (Титлянов, 1999). В то же время в

субтропиках красные обызвествленные водоросли из рода *Lithothamnion* широко распространены на больших глубинах, обитая при 0,1–0,05% ФАР_п (Molinier, 1960; Lang, 1974; Littler et al., 1986).

При отсутствии межвидовой конкуренции почти все водоросли способны обитать в пределах световой интенсивности от 100 до 1% ФАР_п (Титлянов, 1983; Титлянов и др., 1983). Однако некоторые виды водорослей, чувствительные к ультрафиолетовому облучению, не способны жить в литоральной зоне при воздействии прямых солнечных лучей (Yakovleva, Titlyanov, 2001; Fong, Paul, 2011).

Морские водоросли, в отличие от высших растений (как наземных, так и морских), способны адаптироваться к экстремально широкому диапазону световой интенсивности. Процесс онтогенетической (физиологической) адаптации происходит с запуском определенных механизмов и с участием большого числа адаптивных реакций. Например, такие механизмы, как максимизация светового поглощения, эффективная утилизация поглощенного света и экономная трата резервных веществ, реализуют адаптацию к экстремально низкому свету. Одной из главных реакций механизма максимизации светового поглощения является накопление фотосинтетических пигментов. Основной реакцией механизма эффективной утилизации поглощенной энергии является повышение квантового выхода фотосинтеза затененных растений. Экономная утилизация запасных и структурных веществ осуществляется через уменьшение скорости дыхания и экскреции ассимилятов (Титлянов, 1983, 1999; Титлянов и др., 1987; Titlyanov, Titlyanova, 2002).

Морские растения, в зависимости от их физиологических возможностей, обитают в трех экологических зонах рифа. Первая зона расположена на границе моря и суши. Эта супралиторальная кайма, или так называемая зона заплеска, большую часть времени находится над водой и увлажняется только во время сильных штормов и экстремально высоких приливов. Морские растения, растущие в этой зоне, поселяются в затененных трещинах скал, небольших полостях (пещерах) на вертикальных стенках или под скальными уступами (рис. 17).

Вторая экологическая зона – это приливоотливная часть берега, или литораль (зона периодических колебаний уровня моря). Морские растения, живущие здесь, покрываются морской во-



Рис. 17. Зона заплеска (выше белой полосы) на п-ове Лухуитоу (о-в Хайнань, Китай), октябрь 2008 г. Вставка: ниши в коралловых глыбах, в которых были найдены синезеленые водоросли (*Cyanobacteria*) *Coleofasciculus chthonoplastes*, *Oscillatoria limosa*, *Spirulina major* и *Aphanocapsa litoralis*

дой во время приливов и обсыхают во время отливов. Водоросли, обитающие в литоральных лужах (углубления скального или валунно-глыбового грунтов), постоянно находятся в воде (рис. 18).

В третьей, сублиторальной зоне водоросли находятся под водой, редко обсыхая во время сизигийных отливов или при сильных сгонных ветрах, дующих с берега (рис. 19). Выделенные зоны резко различаются по природным условиям. В супралиторальной кайме и в верхней литоральной зоне особенно изменчивы температурные условия. Водоросли большую часть суток находятся на воздухе и при высоких температурах могут высохнуть, не теряя при этом жизнеспособности. Сублиторальные виды водорослей менее устойчивы к обсыханию, чем супралиторальные и литоральные. В течение дождливого сезона водоросли опресняются. Отмеченные неблагоприятные условия для водорослей в супралиторали характерны также для водорослей литоральной зоны во время отлива.

Супралиторальные и литоральные организмы приспособлены к жизни в условиях быстрых и значительных изменений температуры, освещенности, солёности, влажности, pH, концентраций кислорода и углекислоты (Титлянов, 1983; Fong, Paul, 2011).

В сублиторальной зоне водоросли обитают в более благоприятных и постоянных условиях. В рифовых экосистемах тропиков температура воды обычно не превышает 30°C и не опускается ниже 24°C. Мы считаем, что температура воды, по всей вероятности, не является фактором, лимитирующим существование морских растений на всем протяжении сублиторали кораллового рифа из-за относительно небольших изменений с глубиной, а также изменений между зимним и летним сезонами, однако существует и другое мнение (Fong, Paul, 2011).



Рис. 18. Осушенная зона (литораль) во время отлива на п-ове Лухуитоу (о-в Хайнань, Китай), апрель 2009 г., с доминированием красной водоросли *Polysiphonia japonica* var. *savatieri*



Рис. 19. Верхняя сублиторальная зона (глубина 1 м во время отлива) на коралловом рифе островов Антхой (Вьетнам), апрель 2009 г. Заросли бурой водоросли *Turbinaria decurrens* среди кораллов

В то же время в супралиторальных и литоральных лужах вода может прогреваться до 40–45°C, что ограничивает поселение многих видов водорослей в этой экологической нише. Соленость воды в прибрежных экосистемах материков и больших островов зависит от количества осадков и колеблется в пределах 24–34‰. Временное изменение солености воды на коралловых рифах мало влияет на жизнеспособность морских растений и структуру их сообществ из-за небольших колебаний солености и природной устойчивости морских растений к её изменениям. Смешивание морской воды с пресной, происходящее около эстуариев больших рек, влияет на водоросли в меньшей степени, чем на симбиотические кораллы, которые получают осмотический шок и частично или полностью теряют свои зооксантеллы. Кораллы, не восстановившиеся после шока, погибают, а мертвые колонии заселяются водорослями-эпилитами (Titlyanov et al., 2000, 2008; Diaz-Pulido, McCook, 2002).

Растворимый неорганический азот (аммоний, нитраты и нитриты) является одним из основных факторов, обеспечивающих рост водорослей на коралловых рифах. Концентрация минеральных питательных веществ в воде вблизи коралловых рифов обычно выше, чем в окружающих океанических водах, но ниже, чем в прибрежных эстуариях и лагунах (Crossland, 1983; D'Elia, Wiebe, 1990; Szmant, 2002; Atkinson, Falter, 2003; Atkinson, 2011). Азотфиксирующие синезеленые водоросли способствуют повышению концентрации и позитивному балансу азотсодержащих соединений в экосистеме коралловых рифов (McClanahan et al., 2007).

Коралловый риф постоянно имеет достаточное количество фосфора благодаря его круговороту внутри экосистемы (Atkinson, 2011). Однако некоторые исследования показывают, что из-за



Рис. 20. Травоядные рыбы, поедающие зеленую водоросль ульву из сообщества водорослевого торфа на коралловом рифе в бухте Сом Бай (зал. Нячанг, Вьетнам), апрель 2007 г.

связывания ионов фосфата кальцием первый может удаляться из экосистемы, а водоросли будут испытывать недостаток фосфора (Fong et al., 1993). В верхней sublittoral обитают водоросли наиболее устойчивые к высокой турбулентности воды. Так, саргассовые и кораллиновые водоросли способны расти и сдерживать натиск волн в наиболее турбулентных местах кораллового рифа, а именно на наружной стороне риф-флота или внутри риф-креста. В плотных сообществах фрондозных водорослей (например, *Sargassum*), также как и в водорослевом торфе, умеренная турбулентность воды обеспечивает приток питательных веществ к растениям (Sousa, 1984; Hurd, 2000).

Описанные выше экологические зоны значительно отличаются по влиянию биотических факторов на морские водоросли. Например, в супралиторальной зоне выедание водорослей рыбами и беспозвоночными животными практически исключено. В литоральной зоне выедание лимитируется осушением дна и турбулентностью воды при приливоотливных течениях и при волновых воздействиях. Выедание водорослей травоядными животными определяет скорость накопления биомассы, частоту и интенсивность размножения индивидуальных растений, что является важным регулирующим фактором в сукцессии водорослевых сообществ (рис. 20). Основными травоядными животными на коралловых рифах являются рыбы, морские ежи и брюхоногие моллюски (Montgomery, 2011; Glynn, Enochs, 2011). Следует отметить, что мелкие травоядные животные могут оказывать положительное влияние на рост макроводорослей, освобождая их от эпифитов (Nay, 1997).

На здоровом коралловом рифе с незагрязненной водой конкуренция между морскими водорослями и кораллами за уже занятый субстрат и используемые ресурсы не играет важной роли в формировании сообществ растений и кораллов. На таких рифах покрытие дна кораллами составляет около 80–90% и не изменяется годами. Однако при любых повреждениях кораллового рифа,

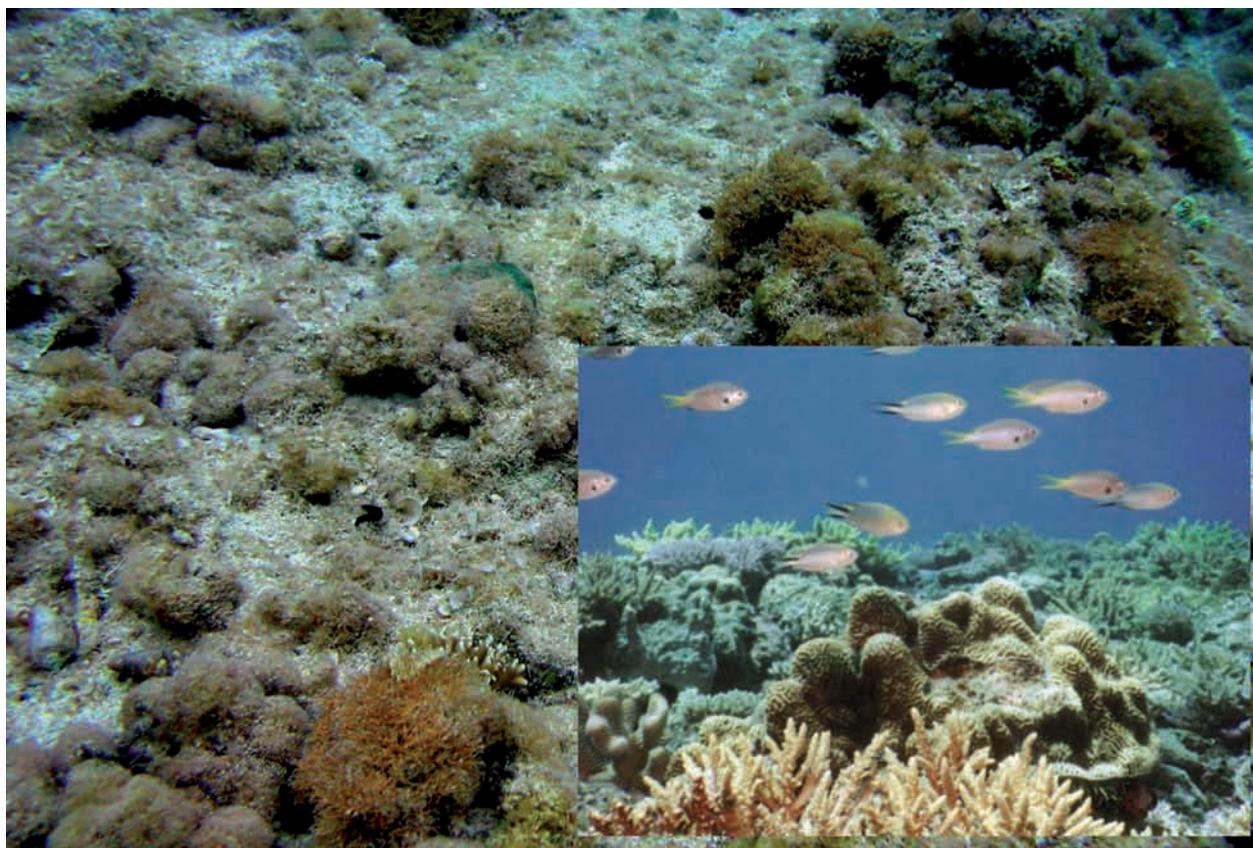


Рис. 21. Краевой риф о-ва Сесоко (Окинава, Япония), заросший водорослями («растительный» риф, апрель 2003 г.) после массовой гибели кораллов в 1998 г. Вставка: то же самое место краевого рифа в 1995 г.

особенно после массовой гибели склерактиниевых кораллов, конкуренция между водорослями и кораллами за вновь образованный субстрат приобретает главенствующее значение в восстановлении и дальнейшей судьбе рифовой экосистемы.

Мертвые и поврежденные колонии кораллов уже в первый год после экологической катастрофы заселяются бентосными микро- и макроводорослями. Покрытие карбонатного основания рифа живыми кораллами уменьшается, в то время как покрытие дна водорослями увеличивается (скелеты мертвых колоний кораллов становятся субстратом для поселения рифовых животных и растений). Эти изменения могут привести к экологическому сдвигу, при котором бентосные водоросли путем конкурентной борьбы могут вытеснить кораллы с субстрата и из пространства рифа, а риф может (вероятно, временно) превратиться из кораллового в растительный (рис. 21) (McCook et al., 2001; Титлянов, Титлянова, 2008).

Марк и Диана Литтлеры разработали гипотезу о закономерностях распространения кораллов и различных групп водорослевых сообществ на коралловом рифе в зависимости от действия основных абиотических и биотических факторов. Следуя этой гипотезе герматипные кораллы, содержащие зооксантеллы, обычно завоевывают субстрат и пространство при интенсивном выедании макробентосных водорослей животными, при умеренном уровне волнового воздействия и при низких концентрациях питательных веществ.

Кораллиновые водоросли преобладают в местах с умеренным или сильным выеданием некальцинированных водорослей, с сильным волновым воздействием и умеренным или высоким уровнем питательных веществ в воде. Сообщества водорослевого торфа формируются в условиях низких уровней минерального питания и выедания, в то время как заросли крупных «мясистых» и «облиствененных» (фрондозных) макрофитов занимают экологические ниши, богатые питательными веществами и не подверженные прессу травоядных животных (Littler et al., 1991).

1.4.2. РОЛЬ МОРСКИХ РАСТЕНИЙ В ЭКОСИСТЕМЕ КОРАЛЛОВЫХ РИФОВ

Первичное образование органических веществ и их рециклинг. Коралловые рифы покрывают 600000 квадратных километров земной поверхности (0,17%). Валовая фиксация CO₂ коралловыми рифами Мирового океана высокая – 20×10¹² г углерода в год, 15% этой продукции используется внутри рифовой структуры, 10% используется человеком, а остальные 75% экспортируются с кораллового рифа в прилегающие пространства океана (Crossland et al., 1991).

Высокая продукция коралловых рифов обусловлена прежде всего практически полной утилизацией падающего света рифовыми фотосинтезирующими организмами – морскими растениями, что происходит в связи со сложной структурой кораллового рифа и высокой степенью фотоаклимации рифовых фотосинтезирующих организмов к падающему свету (Titlyanov, 1991; Titlyanov, Titlyanova, 2002; Dubinsky, Falkowski, 2011). На коралловом рифе освещаемая поверхность дна практически полностью покрыта фотосинтезирующими организмами, причем наиболее освещенные места заняты наиболее продуктивными организмами – склерактиниевыми кораллами, первичная продукция которых складывается из продукции эндосимбиотических одноклеточных водорослей-зооксантелл и эктосимбиотических зеленых и синезеленых водорослей. Не менее продуктивны также сообщества тонкопластинчатых и тонконитчатых форм макроводорослей, которые занимают ярко освещенные экологические ниши на литорали. Планктонные микроводоросли и водоросли-симбионты губок, мягких кораллов и моллюсков также являются продуцентами органического вещества на коралловом рифе, однако вклад их невелик (Crossland et al., 1991; Fong, Paul, 2011). Затененные и глубоководные места на рифах заняты в основном малопродуктивными, долгоживущими красными кораллиновыми водорослями. На неповрежденном коралловом рифе, с покрытием субстрата кораллами более 50%, основную первичную продукцию дают одноклеточные симбиотические водоросли-зооксантеллы. На поврежденном коралловом рифе основными продуцентами органического вещества могут стать макрофиты (Титлянов, Титлянова, 2008; Stambler, 2011).

Отмершие водоросли выносятся на берег или, оседая на дно, задерживаются среди патч-рифов. В обоих случаях они становятся пищей животных-консументов и бактерий-редуцентов. Последние, превращая органическое вещество в неорганическое, повышают концентрацию растворимых форм азота и фосфора (особенно в лагунах) до уровня, достаточного для поддержания высокой продукции морских растений (Fong, Paul, 2011).

Рифостроительство. Сообщества известковых корковых водорослей из родов *Porolithon*, *Peyssonelia*, *Lithothamnion* и *Lithophyllum* являются рифостроителями, связывающими соседние участки карбонатного основания рифа, мертвые скелеты колоний и коралловую гальку, а также «цементируют» карбонатный песок и другие осадки, находящиеся между колониями кораллов, защищая таким образом риф от эрозии, или создают новый карбонатный пласт в основании кораллового рифа (Littler, Littler, 1988, 1995; Chisholm, 2003; Diaz-Pulido et al., 2007). Отложение карбоната кальция внутри ткани корковых известковых водорослей идет со скоростью выше 10 кг CaCO₃ на 1 м² в год. Обитая в сублиторали, эти водоросли способны формировать карбонатные структуры до глубин 50–100 м (Molinier, 1960; Lang, 1974; Littler et al., 1986).

Сообщества крупных обызвествленных зеленых водорослей – представителей родов *Halimeda*, *Udotea* и красных – представителей родов *Amphiroa* и *Galaxaura* также продуцируют карбонат кальция. Из остатков слоевищ этих водорослей образуется карбонатный песок, который на дне заполняет пространства между колониями кораллов, играя роль строительного материала рифа. Так, из водорослей рода *Halimeda* на барьерном рифе Белиза в Карибском море образуется до 40% (по объему) карбонатного песка (Macintyre et al., 1987). Водоросли из этого рода накапливают карбонат кальция (в виде арагонита) со скоростью около 2 кг CaCO₃ на 1 м² в год (Merceron

et al., 2007; Nelson, 2009), их вклад в построение карбонатного основания рифов в глобальном масштабе составляет около 8% (Hillis, 1997).

Фиксация молекулярного азота. Ведущей ролью морских растений на рифе является фиксация молекулярного азота. Эту роль выполняют цианобактерии (представители родов *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Calothrix*, *Anabaena*, *Entophysalis*, *Nodularia* и др.), обитающие в мягких осадках между колониями кораллов, на камнях и мертвых колониях, как эпифиты на морских травах и как эндолиты внутри скелетов кораллов (Carone, Taylor, 1980; Bergman et al., 1997; Welsh et al., 2000; Hansen et al., 2000; Dong et al., 2002a, b, 2006, 2008; Lugomela, 2002; Hamisi et al., 2004). Скорость фиксации азота синезелеными водорослями зависит от таких факторов, как интенсивность света, доступность растворенных питательных веществ, а также от температуры воды (Erftemeijer, Middelburg, 1995).

Морские растения – начальное звено пищевой цепи. Морские макробентосные водоросли и эпифитные микроводоросли являются основной пищей травоядных животных на коралловом рифе (Hay, 1997; Burkerpile, Hay, 2006; Hughes et al., 2007). Эксперименты показывают, что травоядные животные за одни сутки могут использовать до 100% дневной продукции макроводорослей (Duffy, Hay, 1990; Hughes et al., 2007). Рыбы из таких семейств, как Blenniidae, Kyphosidae, Siganidae, селективно выедают нитчатые и «мясистые» формы водорослей из сообществ водорослевого торфа, которые они предпочитают известковым кораллиновым и другим корковым водорослям. Некоторые виды рыб выедают зеленые водоросли (из родов *Cladophora* и *Ulva*), другие объедают бурые водоросли (из родов *Sargassum* и *Dictyota*) (Hay, 1997; Gacia et al., 1999). Морские водоросли поедаются не только рыбами, но и морскими ежами, крабами и амфиподами. Морские травы поедаются только теми животными, которые способны переваривать целлюлозу, например, морские черепахи и дюгоны.

Сообщества морских растений – среда обитания морских животных. Сообщества водорослевого торфа (особенно в сублиторальной зоне), крупных сильноразветвленных водорослей (саргассовых) и сообщества морских трав являются хорошим укрытием от хищников для таких групп животных, как рыбы, ракообразные и моллюски, а также для их личинок. Членистые кораллиновые водоросли являются убежищем большого количества видов мелких беспозвоночных (Nelson, 2009; Fong, Paul, 2011). Некоторые исследователи выделяют специфическую фауну сообществ этих водорослей (например, Kelaher, 2002; Kelaher et al., 2004; Chapman et al., 2005; Liuzzi, Garra, 2008).

Крупные макрофиты и корковые обызвествленные водоросли являются хорошим субстратом для поселения на них некоторых групп сидячих морских животных, таких как гидроиды, спириорбисы, мшанки, фораминиферы. Кораллиновые водоросли служат субстратом, положительно влияющим на осаждение и закрепление планул склерактиниевых кораллов, а также на их развитие (метаморфоз) (Ritson-Williams et al., 2010; Vermeij et al., 2009). Это дает основание считать, что кораллиновые водоросли, поселяющиеся на мертвых колониях кораллов после каких-либо природных или антропогенных катастроф, не мешают, а способствуют восстановлению кораллового рифа. Некоторые виды кораллиновых водорослей содержат химические вещества, способствующие осаждению и прохождению метаморфоза личинок определенных видов кораллов (Morse, Morse, 1991). Эти водоросли используются на фермах по производству морского ушка (абалоне) как субстрат для осаждения и развития его личинок (Morse, Morse, 1984; Roberts, 2001).

На старых слоевищах макроводорослей и листьях морских трав поселяется множество эпифитных и эндифитных водорослей, а также сапрофитных морских грибов. Таким образом, морские растения обеспечивают одно из главных условий существования кораллового рифа – его высокое биоразнообразие.

Защита рифа от разрушительного действия волн. Кораллиновые водоросли очень устойчивы к действию волн, поселяясь на риф-кресте, они образуют крепкий гребень в литоральной зоне, о который разбиваются волны, защищая таким образом от разрушения delicate формы водо-

рослей и животных, обитающих в верхней части склона рифа. Такую же роль на коралловом рифе играют кожистые и фрондозные водоросли из родов *Turbinaria* и *Sargassum*, которые растут в нижней части литоральной и в самой верхней части сублиторальной зон (Littler, Littler, 1988).

Примечание. При написании главы кроме цитированной была использована следующая литература: Taylor, 1960; Pham, 1969; Norris, 1975; Bold, Wynne, 1978; Trench, Blank, 1987; Перестенко, 1980; Mann, Droop, 1996; Littler, Littler, 1984; Titlyanov et al., 2001; Thacker, Valerie, 2004; Larkum et al., 2006; Seckbach, Chapman, 2010; Harrison, 2011.



Определение таксономической принадлежности морских растений:
Т.В. Титлянова и А. Фрике в лаборатории Полярного института
им. Альфреда Вегенера, Бремерхафен, Германия, 2010 г.

ГЛАВА 2

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МОРСКИХ РАСТЕНИЙ, СТРУКТУРА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛЕЗНЫХ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА ВЕЩЕСТВ

Морские и наземные растения состоят в основном из одних и тех же групп органических и неорганических соединений. Однако существует большое количество отдельных веществ, специфичных для определенных таксонов морских растений: макроводорослей, морских трав, цианобактерий. В кратком обзоре о химическом составе морских макрофитов и цианобактерий мы остановимся только на полезных (или токсичных) для человека веществах.

2.1. МАКРОФИТЫ ИЗ ОТДЕЛОВ *Rhodophyta*, *Heterokontophyta* и *Chlorophyta*

Содержание воды в растениях прежде всего зависит от их видовой принадлежности, морфологии и анатомии, возраста и места произрастания. Свежие макроводоросли содержат от 80 до 90% воды. В высушенных водорослях содержание воды зависит от способа сушки: при сушке на воздухе в них остается от 10 до 20% воды, а при сушке в сушильном шкафу при температуре 105°C – не более 1% воды.

Сухое вещество слоевищ макроводорослей состоит из органических (60–85%) и минеральных (15–40%) веществ (Кизеветтер и др., 1981; McDermid, Stuercke, 2003), их абсолютное и относительное количество зависит не только от видовой принадлежности растения, но также от стадии жизненного цикла и условий обитания (Бухрякова, Леванидов, 1969; Шмелькова и др., 1973; Matsuyama et al., 1982). В сухих макроводорослях содержание углеводов составляет от 30 до 60%, белков – от 5 до 30%, жиров – от 0,1 до 2% сухой массы (сух. м.). Другие органические соединения, такие как пигменты, свободные органические кислоты и аминокислоты, летучие соединения, содержатся (в сумме) от 1 до 5% сух. м. Минеральные соединения (зола) составляют от 7 до 36% сух. м. Наиболее ценными для человека органическими веществами морских водорослей являются углеводы и витамины, а минеральными элементами – йод, кальций и железо. Углеводы из морских растений являются для человека не только пищей, они используются в медицине, а также в различных отраслях промышленности. Водоросли можно назвать «поливитаминными концентратами», так как они содержат практически все необходимые человеку витамины в больших концентрациях, чем овощи и фрукты. В водорослях в легкодоступной форме содержатся все минералы, необходимые человеку. Далее мы остановимся на полезных для человека веществах, содержа-

щихся в морских растениях разных таксономических отделов: Rhodophyta, Heterokontophyta, Chlorophyta, Tracheophyta и Cyanobacteria.

2.1.1. КРАСНЫЕ ВОДОРОСЛИ (Rhodophyta)

Главной особенностью химического состава полезных человеку веществ красных водорослей является наличие в них таких сульфатированных полисахаридов, как агар и каррагинаны, которые широко используются в пищевой промышленности и медицине. Кроме сульфатированных полисахаридов человеком используются многие другие органические и неорганические вещества – как представляющие, так и не представляющие пищевой ценности.

Белки и свободные аминокислоты

Содержание общего белка в красных водорослях варьирует от вида к виду. Так, среди гавайских водорослей наименьшее количество белка (2,7%) было обнаружено у *Chondrophycus dotyi* [= *Laurencia dotyi*] и наибольшее (21,2%) – у *Halymenia formosa* (McDermid, Stuercke, 2003). У *Porphyra* spp. из Японии отмечено очень высокое содержание белков, например, у *P. yezoensis* оно достигало 43% от сух. массы (Nisizawa et al., 1987). Содержание азотистых соединений (преимущественно общего белка) у красных водорослей дальневосточных морей России варьирует от 6,5% у *Gracilaria vermiculophylla* [= *G. verrucosa*] до 27,1% сух. м. у *Ahnfeltia tobuchiensis*. Содержание белка в водорослях зависит от сезона. Так, у *Chondrus armatus* (зал. Измены, о-в Кунашир) наименьшее количество общего белка (8,5%) было отмечено в июле, а наибольшее (11,6% сух. м.) – в сентябре (Суховеева, Подкорытова, 2006). В то же время три вида грацилярии с южного побережья Индии не показали сезонных изменений в содержании белка (Jayasankar, Kulandaivelu, 1999).

Аминокислотный состав белков красных водорослей представлен 16 аминокислотами: аланином, аргинином, аспарагиновой кислотой, валином, гистидином, глицином, глутаминовой кислотой, лейцином, лизином, метионином, пролином, серином, тирозином, треонином, цистином, и фенилаланином. Он не отличается от аминокислотного состава белков зеленых и бурых водорослей. Однако лизина и аргинина в белках красных водорослей было обнаружено больше, чем в зеленых и бурых водорослях (Lourenc et al., 2002). Белки красных водорослей перевариваются ферментами и бактериями желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) человека, наличие в их составе незаменимых аминокислот повышает их питательную ценность.

14 свободных аминокислот (САК) было найдено в красных водорослях из Японского моря. В отличие от зеленых водорослей в них присутствовали цитруллин, гистидин, метионин, орнитин, S-гидроксиметил-L-гомоцистеин, а от бурых – цитруллин, S-гидроксиметил-L-гомоцистеин. Наличие в водорослях отдельных САК видоспецифично. Так, из проанализированных красных водорослей *Neodilsea yendoana* в значительных количествах содержала цитруллин (40,7 мг %), таурин и аланин; *Chondria crassicaulis* – D-цистеиновую кислоту (57,4 мг %) и хондрин; *Laurencia nipponica* – фенилаланин (1,9 мг %) и тирозин (1,1 мг % сух. м.); *Gracilaria vermiculophylla* – аргинин (Takagi et al., 1967).

Лектины – это белки, способные к специфическому узнаванию и связыванию углеводов. Они находят применение в медицине. В водорослях лектины находятся главным образом в клеточных стенках. Белки, классифицируемые как лектины, могут иметь очень разную структуру и объединяются в группу веществ больше по функциональным признакам, чем по химической структуре (Hori et al., 1990). Лектины включены во многие биологические процессы в организме, например, во взаимоотношения между хозяином и патогенными организмами, в межклеточный транспорт, в индукцию апоптоза и др. Лектины из водорослей используются человеком при диагностике злокачественных образований, в борьбе с вирусными заболеваниями, болезнями крови, а также при

иммунодефиците (Ziólkowska, Włodawer, 2006). Из красной водоросли *Griffithsia* sp. был выделен лектин – гриффитсин (griffithsin). Белковая часть молекулы гриффитсина состоит из 121 аминокислоты, которые связаны в единую цепь. Белок образует комплекс с моно- и дисахарами, такими как манноза, N-ацетилглюкозамин (N-acetylglucosamine), 1→6α-маннобиоза (1→6α-mannobiose) и мальтоза. Из *Eucheuma serrata* было выделено два изолектина. Оба лектина содержали белковые молекулы с молекулярным весом 29000 дальтон (Да) и отличались только по изоэлектрической точке. Они проявляли свойства гемагглютинов и показывали митогенетическую активность на лимфоцитах мышей (Kawakubo et al., 1999). Из *Gracilaria vermiculophylla* [= *G. verrucosa*] было выделено три лектина-гемагглютина. Первый, названный GVA-1, был гликопротеином с низким содержанием углеводов (Shiomi et al., 1981), второй – протеогликан (Kanoh et al., 1992), и третий – гликопротеин с высоким содержанием углеводов, проявляющий свойства гемагглютинов, содержащий в основном галактозу (97,8%), а также фруктозу, глюкозу, ксилозу и глюкозамин (Kakita et al., 1997). Из красной водоросли *Tichocarpus crinitus* (Японское море) был выделен и очищен новый лектин, получивший название TCL, с молекулярным весом 41000 Da и значением изоэлектрической точки 4,93. В TCL обнаружено высокое содержание таких аминокислот, как аспарагиновая, глутаминовая, серин, треонин, пролин и аланин. Он содержал 6,9 % углеводов, что указывает на его гликопротеиновую природу (Molchanova et al., 2010).

Углеводы

Низкомолекулярные углеводы красных водорослей, как и у всех других растений, представлены в основном промежуточными и конечными продуктами фотосинтеза. Среди этих углеводов в наибольшем количестве найдена сахароза, ее количество достигает 2% от сух. м. и зависит от вида водоросли, ее возраста и условий обитания. Основными сахороспиртами красных водорослей являются дульцит и сорбит (Суховеева, Подкорытова, 2006).

Запасные углеводы

«Багрянковый» крахмал. Большинство красных водорослей запасают внутри хлоропластов и вне их гликоген, или «багрянковый» крахмал (БК) (Percival, McDowell, 1967). БК представляет полимерную цепь связанных между собой молекул глюкозы с большим количеством боковых ветвей (α 1-4-связанные остатки глюкозы с 1-6-связанными боковыми цепями). У представителей порядков Porphyridiales и Bangiales в состав БК входит амилоза (Cole, Sheath, 1990; McCracken, Cain 1981). По физико-химическим свойствам БК находится между гликогеном животных и крахмалом растений. Крахмал красных водорослей накапливается в цитоплазме, иногда вблизи хлоропласта, примыкая к нему, но никогда внутри последнего (Титлянов и др. 1993) (рис. 22). Содержание БК в красных водорослях зависит от видовой принадлежности, а также от условий произрастания водорослей и колеблется от 0 до ~20% сух. м. Так, бразильские виды грацилярии содержали крахмала от 10 до 15% сух. м. (Guimarães et al., 2003).

У *Solieria chordalis* в условиях культуры БК накапливался при освещенности 75 мкмоль м⁻² с⁻¹ и расходовался при 35 мкмоль м⁻² с⁻¹. В то же время изменения в солености воды не влияли на содержание крахмала (Goulard et al., 2001). БК хорошо переваривается и усваивается человеческим организмом (Palevitz, Newcomb, 1970).

Флоридозид (floridoside) был обнаружен у представителей всех порядков Rhodophyta за исключением Ceramiales. Флоридозид представляет собой или гликозид 2-0-*⁻D-галактопиранозил глицерол (2-0-*⁻D-galactopyranosylglycerol) (рис. 23,А), или α-D-галактопиранозилглицерол (α-D-galactopyranosylglycerol) (Karsten, 1999; Simon-Colin et al., 2002), их содержание (оба изомера) у представителей порядка Bangiales (*Porphyra* и *Bangia*) может быть выше 30% от сух. м. (Karsten,

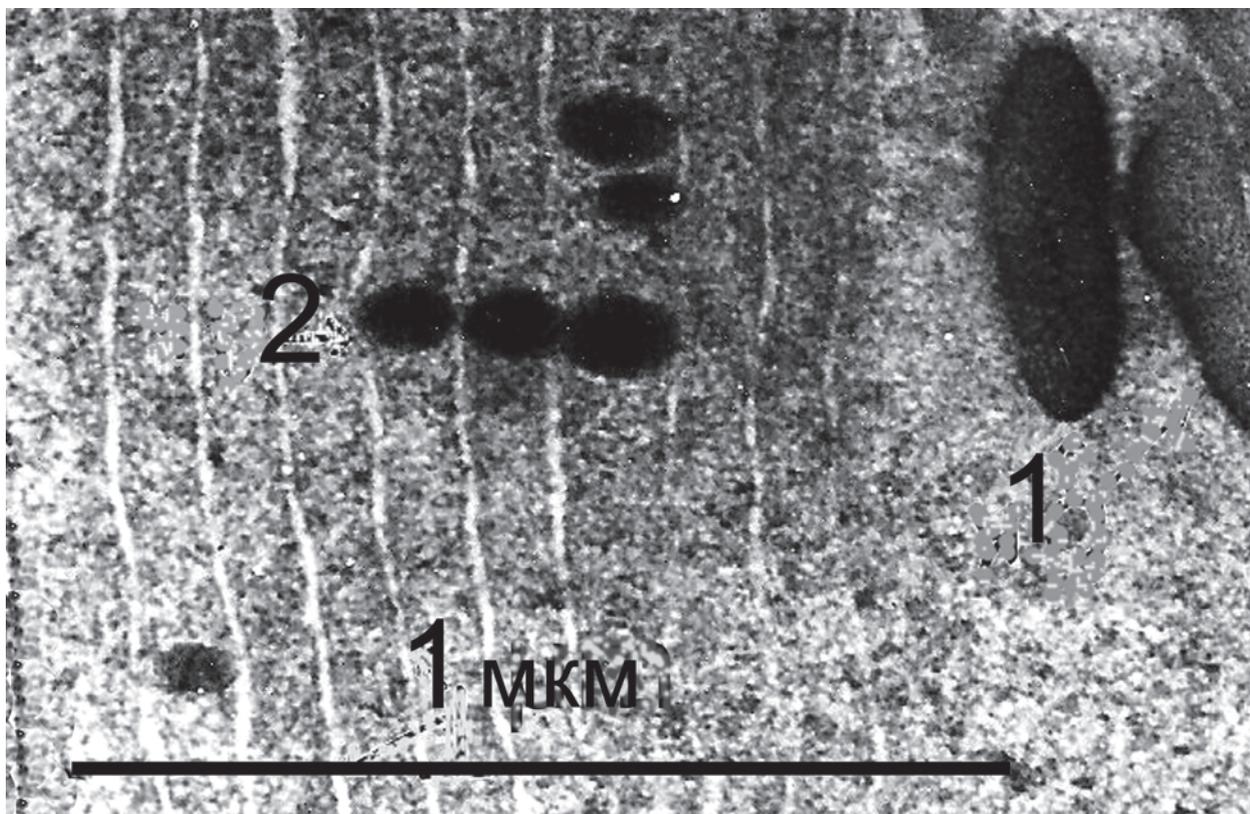


Рис. 22. Внутренняя структура хлоропласта красной водоросли *Grateloupia turuturu*. 1 – крахмал красных водорослей. 2 – липидные капли

1999). Представители порядка Ceramiales аккумулируют химически близкое соединение – дигениазид или α -D-маннопиранозил-(1-2)-глицерат (digeneaside, α -D-mannopyranosyl-(1-2)-glycerate) (Kremer, 1978) (рис. 23,Б). Флоридозид, как и БК, является полноценным питательным продуктом (Craigie, 1974).

Полисахариды клеточных стенок

Целлюлоза – один из структурных компонентов клеточных стенок красных водорослей, находящаяся в них в кристаллической или аморфной формах. Целлюлоза, представляет собой линейный полисахарид, состоящий из остатков D-глюкозы и не переваривается в ЖКТ человека.

В клеточных стенках некоторых красных водорослей (*Porphyra*, *Bangia*) присутствуют маннаны.

Маннаны представляют линейную цепочку полисахаридов, где остатки маннозы связаны 1-4-гликозидными связями. Подобно целлюлозе, маннаны могут образовывать кристаллическую структуру. В структуру клеточных стенок также входят ксиланы, в которых остатки ксилозы соединены 1-3- и 1-4-гликозидными связями. В отличие от целлюлозы и маннаны, ксиланы имеют разветвленную структуру (Кретович, 1971).

Сульфатированные полисахариды. Основными полисахаридами клеточных стенок (а часто и межклеточников) красных водорослей, составляющих основную массу органического вещества всего растения, являются сульфатированные полисахариды (СПС).

СПС агар состоит из двух химических компонентов: агарозы и агаропектина в соотношении 7:3. Агароза – нейтральный полисахарид с линейной структурой повторяющихся единиц, на-

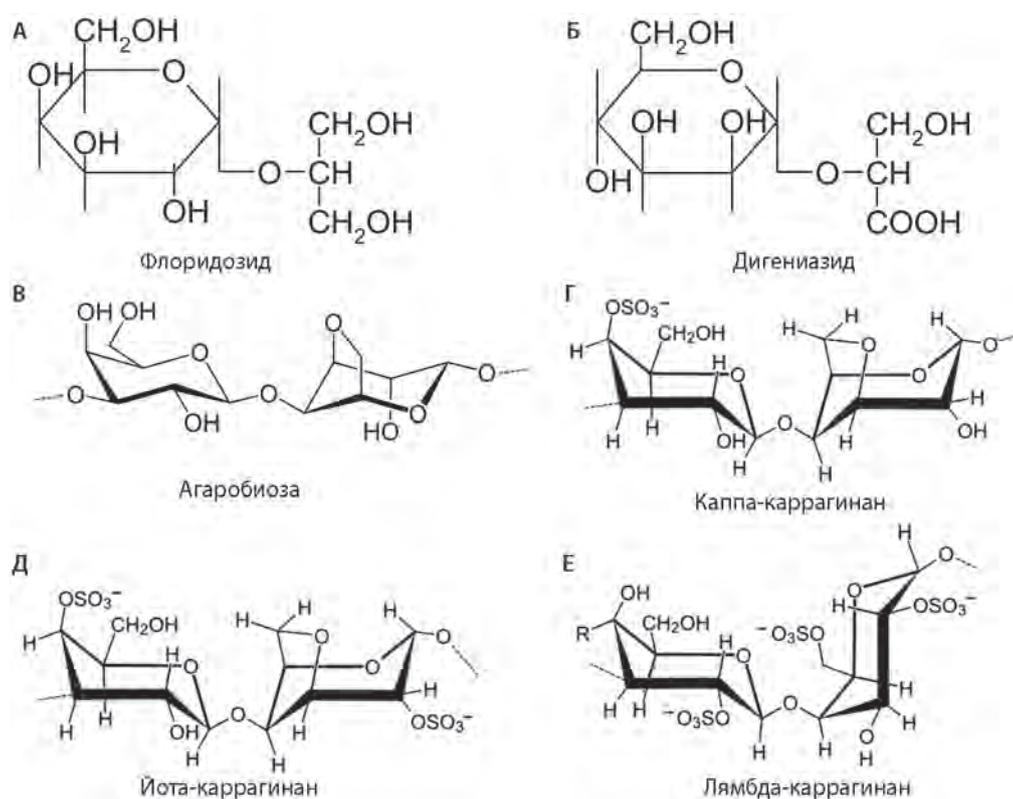


Рис. 23. Химические формулы полезных веществ красных водорослей

званных агаробиозой (рис. 23,В), которая состоит из (1→3)-β-D-галактопираноза-(1→4) и 3,6-α-L-ангидрогалактоза [(1→3)-β-D-galactopyranose-(1→4)-3,6-anhydro-α-L-galactopyranose].

Агаропектин – кислый полисахарид, содержащий сульфатированный эфир пировиноградной кислоты и D-глюкуроновую кислоту наряду с агаробиозой. Содержание сульфата в агаре относительно низкое (от 3,5 до 9,7%). Агар не растворяется в холодной воде, он абсорбирует воду и разбухает, образуя рыхлый гель, который при подогреве до 80°C или выше плавится, превращаясь в вязкий раствор. Важнейшей физико-химической характеристикой агара, определяющей его качество при использовании, является прочность геля, определяемая по модулю сдвига 1% геля в паскалях (Па) или в г /см².

Основным химическим свойством, определяющим качество агара, является содержание в нем агарозы (увеличивающей прочность геля) и сульфатов, снижающих его прочность. В *Gracilaria truncata* была найдена новая форма агара, молекулы которого метилированы во всех шести позициях D-галактозы и в двух позициях L-галактозы. Присутствие метильной группы значительно уменьшало способность агара образовывать гель (Furneaux et al., 1990; Seckbach, Chapman, 2010).

Агар содержится в красных водорослях следующих порядков: Gelidiales, Cryptonemiales, Ceramiales и Gigartinales (Usov, Klochkova, 1992). Водоросли, содержащие агар, названы агарофитами. Агар получают в основном из представителей следующих родов: *Ahnfeltia*, *Gelidium*, *Gloiopeltis*, *Gracilaria*, *Gracilariopsis*, *Hydropuntia*, *Mazzaella* и *Pterocladia*.

Содержание агара в водорослях колеблется в зависимости от вида и условий выращивания (от 10 до 50% сух. м.). Из всех изученных водорослей наибольшее содержание агара отмечено у видов рода *Gracilaria*, а наибольшая прочность геля – у видов родов *Gelidium* и *Ahnfeltia* (Титлянов и др., 1993). Так, содержание агара у неприкрепленной формы *Gracilaria vermiculophylla*, обитающей на краю ареала в лагунах южного Приморья, колебалось от 30 до 40% (в естественных условиях) и от 25 до 52% сух. м. (в культуре).

Содержание сульфатов в агаре (из природного материала) составляло от 3 до 5%, агарозы – от 13 до 50%, а прочность геля была от 800 до 3500 Па (Лапшина и др., 1991, 1993). У *Gelidium amansii* из Японии содержание агара варьировало между 25–30% сух. м. (Levring et al., 1969); у *G. chilense* из Чили – 25–31% (Santelices et al., 1981); у *G. spinosum* [= *G. latifolium*] с о-ва Ява – 25–35% (Levring et al., 1969); у *G. lingulatum* из Чили – 20–24% (Alveal, 1998). У *G. micropterum* из Индии оно достигало 43% (Levring et al., 1969); у *G. pusillum* с Филиппин – 41% (Trono, 1993), а из Индии – 50% (Mairh et al., 1998). Содержание агара в трех видах грацилярии из центральной части Филиппинских островов составляло: у *Gracilaria arcuata* – от $2,6 \pm 0,6$ до $21,7 \pm 0,7\%$ сух. м., у *G. salicornia* – от $2,9 \pm 0,1$ до $15,7 \pm 1,3\%$ и у *G. blodgettii* от 0,1 до $20,7 \pm 5,9\%$. Прочность геля у *G. arcuata* была 17–260 г/см², у *G. salicornia* – 29,5–147 г/см² и у *G. blodgettii* – 29,6–235 г/см² (Calumpong et al., 1999).

Анализ *Gracilaria vermiculophylla* [= *G. verrucosa*] из Желтого моря (Shi et al., 1984) показал, что наибольшее содержание агара было в августе (31,1% сух. м.), а наименьшее (24,1% сух. м.) – в сентябре. В среднем гаметофит содержал 29%, а спорофит – 26% агара. Какой-либо закономерности в прочности геля, содержании сульфатов или агарозы в водорослях в разные сезоны года обнаружено не было.

G. salicornia из Танзании накапливала агар от 13,7 до 30,2% сух. м. Прочность геля у агара, обработанного щелочью, составляла от 118 до 251 г/см². В то же время прочность геля природного агара была на 40% меньше. Содержание агарозы в агаре колебалось от 37,4 до 44,3%, а сульфатов – от 0,5 до 2,8%. В сухой период года содержание агара и агарозы в агаре уменьшалось (Buriyo, Kivaisi, 2003). У *Gracilariopsis lemaneiformis*, обитающего в Калифорнийском заливе (Мексика), наибольшее содержание агара (14% от сух массы) и прочность геля (891 г/см²) были отмечены в весенние месяцы (Pacheco-Ruiz et al., 1999). У *Pterocladia capillacea* [= *Pterocladia capillacea*] из Бразилии содержание агара варьировало от 5 до 32% сух. м., наибольший выход агара отмечен в начале лета, а наименьший – зимой. Содержание агарозы в агаре варьировало от 27 до 48%, а сульфатов – от 1 до 5% (Oliveira, 1998). У *P. capillacea* [= *P. capillacea*] с Канарских островов содержание агара всегда уменьшалось поздней весной и ранним летом, прочность геля увеличивалась зимой, достигая максимума в декабре–феврале (Freile-Pelegrin et al., 1996).

В лабораторной культуре *Gelidium robustum* накапливал до 43% агара благодаря подкормке фосфатами в концентрации 20 мкмоль (Sousa-Pinto et al., 1998), а у *G. pulchellum* наибольшее количество агара (38,6% от сух. м.) отмечено при температуре 20°C и освещенности 130–240 мкмоль м⁻² с⁻¹. Повышение интенсивности света в культуре вызывало увеличение содержания сульфатов в агаре до 7,7% и связанное с этим уменьшение прочности геля (Sousa-Pinto et al., 1999).

Таким образом, на грацилярии и других видах агароносных водорослей было показано, что содержание, химический состав и физико-химические свойства агара изменяются в течение года, что связано в основном с изменением скорости роста растений. Чем выше скорость роста, тем меньше агара накапливается в талломах в расчете на сухую массу (Калугина-Гутник и др., 1987; Лапшина и др., 1991, 1993). Агар быстрорастущих растений уступает по качеству агару медленнорастущих (Лапшина и др., 1993; Freile-Pelegrin et al., 1996; Sousa-Pinto et al., 1999; Murano, 1995; Kakita, Kamishima, 2006).

Агар используется во многих областях человеческой деятельности: около 90% агара потребляется в пищевой промышленности, остальное используется в сельском хозяйстве, медицине (как культуральная среда) и в других отраслях.

Агароиды содержатся практически во всех красных водорослях, как агарофитах, так и каррагинанофитах. Агароиды представляют собой полимеры, состоящие из связанных пар остатков моносахаридов, например агароид, выделенный из грацилярии, является полимером, состоящим из 3-связанной D-галактозы-4-сульфат и 4-связанной L-галактозы-2,3-дисульфат (D-galactose-4 sulphate и 4-linked L-galactose-2,3-disulphate). В построении агароидов может также участвовать 3,6-ангидро-L-галактоза (Murano, 1995). Агароиды обладают слабыми желирующими свойствами.

Каррагинаны. Эти сульфатированные полисахариды найдены у видов из семейств Gigartnaceae, Solieriaceae, Hypneaceae, Phylloporaceae, Petrocelidaceae, Caulacanthaceae,

Cystocloniaceae (Craigie, 1990), Rhabdoniaceae, Rhodophyllidaceae (Deslandes et al., 1985), Furcellariaceae, Tichocarpaceae (Usov, Arkhipova, 1981) и Dicranemataceae (Liao et al., 1993). Особенно богаты каррагинанами представители таких родов, как *Ahnfeltiopsis*, *Betaphycus*, *Callophyllis*, *Chondracanthus*, *Chondrus*, *Eucheuma*, *Gigartina*, *Hypnea*, *Kappaphycus*, *Mastocarpus* (Усов, 2001). В основе молекулярной структуры этих линейных полисахаридов лежат D-галактоза и ее производные, остатки которых соединены регулярно чередующимися $\beta 1 \rightarrow 4$ и $\alpha 1 \rightarrow 3$ связями. Разнообразие каррагинанов обусловлено тем, что 4-0-замещенный остаток может быть или галактозой, или ее 3,6-ангидрид производным. Каррагинаны различаются также частотой сульфатирования гидроксильных групп.

Природные каррагинаны редко соответствуют таким регулярным структурам, чаще всего они содержат повторяющиеся звенья нескольких типов, что объясняется многоступенчатым биосинтезом полисахаридов в клеточной стенке водоросли (Yermak, Khotimchenko, 2003). Биосинтез каррагинана и его структура, в свою очередь, зависят от множества факторов, определяемых условиями произрастания водоросли, ее видовой принадлежностью и стадиями развития (Yermak, Khotimchenko, 2003). В каждом виде каррагинанофитов может присутствовать несколько типов каррагинанов. Состав и количество экстрагируемого каррагинана также зависят от места произрастания водоросли, сезона и фазы её жизненного цикла (Yermak, Khotimchenko, 2003; Барбанова и др., 2005). В соответствии со структурными особенностями повторяющихся звеньев выделяют 6 главных типов каррагинанов, имеющих различные физико-химические свойства: каппа(κ)-, лямбда(λ)-, йота (ι)-, мю(μ)-, ипсилон(υ)- и тета(θ)- каррагинаны (Yermak, Khotimchenko, 2003). Наиболее часто встречаются три формы каррагинана: κ , ι и λ (рис. 23, Г, Д, Е).

Каппа-каррагинан содержит одну сульфатную группу в положении 4 в молекуле повторяющегося дисахаридного звена (рис. 23, Г), растворяется в воде при температуре 80 °С и образует гель в присутствии катионов калия; йота-каррагинан с двумя сульфгидридными группами (в обоих углеводных остатках повторяющегося звена) растворяется при температуре 30–40 °С, способен к гелеобразованию в присутствии катионов кальция (рис. 23, Д); и лямбда-каррагинан содержит три сульфатированных группы, растворяется в воде при комнатной температуре, являясь наиболее гидрофильным и не образующим гель полисахаридом (рис. 23, Е). Образование гелей каррагинанами имеет место только при спиралевидной форме их молекул, что возможно при наличии в повторяющейся структуре полисахарида галактозного остатка с α -С-4-связью. Все образующие гель каррагинаны содержат 3,6-ангидроомост (связь) на галактозных остатках от α -С-1 к α -С-4 положению, обеспечивая таким образом спиралевидную форму молекулы. В водорослях могут присутствовать сразу несколько форм каррагинанов, а также могут образовываться их гибридные формы (Yermak, Khotimchenko, 2003).

У *Chondrus crispus* и *Mastocarpus stellatus* из Ирландии содержание каррагинана колебалось от 20 до 60% сух. м. (Tasende et al., 2007). *Eucheuma isiforme* из Никарагуа содержала 57,2% нативного каррагинана, который формировал очень слабый гель прочностью <50 г/см² (Freile-Pelegrin, Robledo, 2007). *Hypnea* sp. из Бангладеш содержала каррагинан $47 \pm 2,9\%$ сух. м. (Zafar et al., 2007). У пяти видов *Gigartina* из Австралии (Parsons, 1977) общее содержание каррагинанов колебалось в пределах от 38 до 92% сух. м. Гаметофит и спорофит по содержанию каррагинанов достоверно не различались. Не было отмечено и достоверных различий в содержании каррагинана у водорослей, обитающих в различных районах Австралии. Виды отличались по композиции разных форм полисахарида. Так, гаметофиты *Gigartina clavifera*, *G. angulata*, *Sarcothalia decipiens* [= *Gigartina decipiens*] содержали в среднем около 70% κ -каррагинана, а гаметофиты *Sarcothalia atropurpurea* [= *Gigartina atropurpurea*], обитающие в тех же районах, — только 20% сух. м. этого полисахарида. Особенно большая разница в составе каррагинанов была обнаружена среди гаметофитных и спорофитных растений. Если спорофитные растения содержали в основном λ -каррагинан (80–90% сух. м.), то гаметофитные — κ -каррагинан, за исключением *Psilophycus alveatus* [= *Gigartina alveata*] и *Iridaea tuberculosa* [= *Gigartina tuberculosa*]. *Eucheuma denticulatum* с Мадагаскара (Rasoamazava, 1996) содержала от 50 до 55% от сух. м. ι -каррагинана, а *Kappaphycus striatus* [= *E. striatum*] — от

42 до 51% к-каррагинана. Сезонных колебаний в содержании полисахаридов выявлено не было. Сравнение стерильных и репродуктивных (наличие цистокарпов) талломов *Tichocarpus crinitus* показало, что карпоспорофиты накапливали каррагинанов в 1,8 раз больше, чем вегетативные талломы, причем каррагинаны репродуктивных талломов содержали значительно больше желирующих полисахаридов (Барабанова и др., 2005). Несколько иная картина наблюдалась при сравнении вегетативных и репродуктивных растений *Chondrus pinnulatus* из Японского моря (Yermak et al., 2007). Здесь карпоспорофиты накапливали каррагинана в два раза больше, чем стерильные растения, причем в карпоспорофитах основным полисахаридом был к-каррагинан (80%), а в стерильных растениях к- и λ-каррагинаны содержались примерно в равных количествах. Каррагинаны из талломов, содержащих репродуктивные органы, имели высокожелирующие свойства.

Содержание к-каррагинана у *Hypnea musciformis* из Танзании в разные месяцы года колебалось от 20,56±1,4% сух. м. (в ноябре) до 35,63±0,7% (в октябре), а прочность геля была от 77,78±3,1 г/см² (в ноябре) до 243,06±1,3 г/см² (в июле) (Mtolera, Buriyo, 2004). Содержание каррагинана у *Euclima isiforme* из Мексики (Юкатан) изменялось в сезоне: наибольшее содержание полисахаридов отмечено в начале холодного сезона года, при повышенном содержании питательных веществ и пониженной солнечной радиации; содержание каррагинана и других углеводов снижалось в период интенсивного роста в конце холодного сезона. *Gigartina pistillata* из Марокко накапливала наибольшее количество каррагинана (κ и λ формы) в июле–августе, наибольшее содержание 3,6-ангидрогалактозы было в феврале, а наименьшее – в июне (Amimi et al., 2007).

Tichocarpus crinitus из Японского моря (стерильные талломы) содержал наибольшее количество каррагинанов (в основном в гибридной форме) в августе (35,5% сух. м.) и наименьшее (11% сух. м.) в октябре, его содержание позитивно коррелирует со скоростью роста и негативно – с освещенностью. В затенении главным образом накапливался λ-каррагинан, не образующий геля (Yakovleva et al., 2001). В то же время не было выявлено существенной разницы в химической структуре каррагинанов в талломах *Tichocarpus crinitus* (вегетативная форма), взятых из различных загрязненных мест залива Петра Великого (Японское море), водоросли содержали гибридную форму κ/λ каррагинана. Содержание полисахаридов положительно коррелировало со степенью загрязнения воды тяжелыми металлами (Барабанова и др., 2010).

В культуре содержание каррагинана в талломах *Kappaphycus alvarezii* увеличивалось со временем, как и прочность его геля (Hayashi et al., 2007). Красные водоросли накапливали каррагинан при внесении в среду аммония (Rui et al., 1990). При культивировании *Euclima uncinatum* в Калифорнийском заливе (Мексика) было установлено, что наибольшее количество (до 48% сух. м.) каррагинана накапливалось в летние месяцы. Максимальный уровень 3,6-ангидрогалактозы в полисахариде в зимние и летние месяцы был 23,9% и 18% соответственно (Zertuche-González et al., 1987).

Каррагинаны широко используются в пищевой промышленности. Имея свойства загустителей, стабилизирующих и гелеобразующих компонентов, они влияют на свойства материалов, с которыми смешиваются, и применяются в производстве хлебобулочных изделий, молочных продуктов, различного рода напитков, в консервировании мяса и рыбы, а также как диетическая добавка. Каррагинаны, также как и агар, не перевариваются в ЖКТ человека.

Органогалогеновые, фенольные и полифенольные соединения

Всего в природе найдено более 3500 органогалогеновых соединений, из них органохлоринов – более 2000, органобромидов – более 1700, органоюдинов – около 100 и органофлюоринов – около 30. Эти соединения в большинстве своем проявляют биологическую активность: антигельминтную, антимикробную и антивирусную (Erickson, 1983; Gribble, Gilchirst, 1999).

Красные водоросли накапливают некоторые из органогалогеновых соединений в значительных количествах (Lescout, 1999). Так, виды рода *Laurencia* богаты галогенированными терпеноидами и особенно сесквитерпеноидами. В настоящее время из разных видов лоран-

сии выделены сесквитерпеноиды: рогиоленин А и В (rogiolenyne) и обтузенол (obtusenol) – из *Laurencia obtusa* (Aydoğmus et al., 2004); 2,10-дибром-3-хлор-альфа-хамигрин (2,10-dibromo-3-chloro-alpha-chamigrene), 2,10-дибром-3-хлор-9-гидрокси-альфа-хамигрин (2,10-dibromo-3-chloro-9-hydroxy-alpha-chamigrene), препацифенол эпоксид (prepacifenol epoxide), джонстонол (johnstonol), пацифенол (pacifenol) – из *L. composita*; С-саб (15) ацетогенин (C sub (15) aceto-genin), окамураллен (okaturallene), (Z)-10,15-дибром-9-гидрокси-хамигра-1,3 (15), ((Z)-10,15-dibromo-9-hydroxy-chamigra-1,3 (15)), 7(14)-триен (7(14)-triene), 10-бром-7-гидроксилаурин (10-bromo-7-hydroxy-laurene), 10,11-дибром-7-гидроксилаурин (10,11-dibromo-7-hydroxy-laurene) – из *L. majuscula*; кьупалауринол (cupalaurenol), циклолауринол (cyclolaurenol) – из *L. venusta* (Masuda et al., 2002); (1S*, 2S*, 4S*, 5S*, 6S*, 8R*)-4-hydroxy-2,5,6-trimethyl-11-methylenetricyclo [62.1.0 super (1.6)] undecan-3-one (1,4-hydroxy-1,8-epi-iso-tenezone, (3R*, 4R*, 4aR*, 9R*)-3,9-dihydroxy-1,4,4a,7-tetramethyl-3,4,4a,5,8,9-hexahydro-2H-benzo [a] cyclohepten-2-one (9-hydroxy-3-epi-perforenone A, 2), 3-эпи-перфоренон А (3-epi-perforenone A) – из *Palisada perforata* [= *L. perforata*] (Wright et al., 2003); бета-бизаболен сесквитерпеноиды (1-3), триквинон алкоголь сесквитерпены (6 и 7) – из *Laurencia filiformis* [= *L. scoparia*] (Davyt et al., 2006); паннозанол, паннозан (pannosane) – из *L. pannosa* (Suzuki et al., 2001); калензанол – из *L. microcladia* (Guella et al., 2001; Guella, Pietra, 2004); дитерпен 3-бромбарексид (diterpen 3-bromobarekoxide) – из *L. japonensis* (Kuniyoshi et al., 2000).

Кроме сесквитерпеноидов из *Laurencia viridis* были выделены бромидные производные три-терпенов (Manriquez et al., 2000) В *Delisea pulchra* был обнаружен галогенированный фуранон (Rogers et al., 2000), а в *Plocamium hamatum* найдены 11 галогенированных монотерпенов (Kunig et al., 1999). Из *Laurencia nipponica* (Японское море) были выделены и изучены два новых бромидных дитерпена – 15-бромораргуер-9(11)-ене-16-ол и 15-бромораргуер-7-ене-16-ол (Lyakhova et al., 2004). Многие из фенольных веществ, являясь ядовитыми для животных, защищают растения от поедания (например, в *Odonthalia corymbifera*) (Kurata et al., 1997).

Из красной морской водоросли *Neosiphonia sphaerocarpa* [= *Polysiphonia sphaerocarpa*] были выделены: 2,4-диброманизол (2,4-dibromoanisole), 2,4,6-триброманизол (2,4,6-tribromoanisole), 3-бромкрезол (3-bromocresol), 3,5-дибромкрезол (3,5-dibromocresol), 3-бром-4-гидроксибензалдегид (3-bromo-4-hydroxybenzaldehyde), 3,5-дибром-4-гидроксибензалдегид (3,5-dibromo-4-hydroxybenzaldehyde), 2-бромфенол (2-bromophenol), 4-бромфенол (4-bromophenol), 2,4-дибромфенол (2,4-dibromophenol), 2,6-дибромфенол (2,6-dibromophenol), 2,4,6-трибромфенол (2,4,6-tribromophenol) (Flodin, Whitfield, 2000). Бромфенолы были выделены из красной водоросли *Odonthalia corymbifera*: 3,3',5,5'-тетрабром-2,2',4,4'-тетрагидроксибензилметан (3,3',5,5'-tetrabromo-2,2',4,4'-tetrahydroxydiphenylmethane) и 2,2',3,3'-тетрабром-4,4',5,5'-тетрагидроксибензилметан (2,2',3,3'-tetrabromo-4,4',5,5'-tetrahydroxydiphenylmethane) (Oh et al., 2008).

Бромфенольные соединения, выделенные из красных водорослей, имели антиопухолевый эффект, а также понижали уровень глюкозы в крови (Kurihara, 2007). Два галогенированных компонента элатол и изо-обтузол, выделенные из *Laurencia majuscula*, ингибировали рост колоний *Staphylococcus epidermidis*, *Klebsiella pneumoniae* и *Salmonella* sp. Их антибиотическое действие было эквивалентно коммерческим антибиотикам (Vairappan, 2003).

Жиры и жирные кислоты

Содержание жиров у красных водорослей с Гавайских островов примерно в 2 раза меньше, чем у зеленых и бурых водорослей из этих же мест, и в среднем составляет от 1,5 до 3,5% (McDermid, Stuercke, 2003). В красных водорослях Японского моря содержание жиров колеблется от 0,3–3,8% у *Palmaria palmata* до 1,5–2,6% на сух. массу у *Gracilaria* spp. (Дембицкий и др., 1990; Хотимченко, 2003).

Красные водоросли содержат все классы липидов, свойственных растениям: гликолипиды, фосфолипиды и нейтральные липиды. Жирнокислотный состав липидов различных водорослей примерно одинаков, в то же время отдельные виды отличаются количественным соотношением

жирных кислот (ЖК). В липидах красных водорослей обязательно присутствуют миристиновая, пальмитиновая и стеариновая насыщенные ЖК, среди которых преобладает последняя. В красных водорослях, по сравнению с другими, особенно велико содержание полиненасыщенных ЖК, таких как эйкозапентаеновая и арахидоновая, предшественников простагландинов, лейкотриенов и других эйкозаноидов. Так, в слоевищах *Palmaria stenogona* (Японское море) содержание эйкозапентаеновой кислоты составляло более 70% от общего количества ЖК, а в *Gracilaria vermiculophylla* [= *Gracilaria verrucosa*] – более чем 50% арахидоновой кислоты (Khotimchenko, Gusarova, 2004). Некоторые красные водоросли в значительном количестве содержат простагландины, например, у *Gracilaria vermiculophylla* из Японского моря их обнаружено более 2500 мкг/г сыр. м. (Imbs et al., 2001).

В красных водорослях в значительных количествах найдены некоторые редкие полярные липиды – инозитолфосфорилцерамиды (inositolphosphorylceramide), являющиеся биологически активными веществами (Хотимченко, 1985, 2003; Sánchez-Machado et al., 2004; Khotimchenko, Vas'kovskii, 2004).

Содержание отдельных классов липидов и ЖК непостоянно в процессе онтогенеза. Так, в проростках *Gracilaria vermiculophylla* (прикрепленная форма) из Японского моря фосфолипиды (преимущественно фосфатидил холин) были основной группой липидов. Гликолипиды доминировали в молодых талломах тетраспорофитов и во взрослых гаметофитах. Содержание запасных липидов (триацилглицеролов) было в 2–3 раза выше в проростках и молодых талломах по сравнению с взрослыми особями (Хотимченко, 2003).

У *Tichocarpus crinitus* композиция отдельных классов липидов и ЖК зависела от световых условий обитания растений. Слабый свет (8–10% фотосинтетически активной радиации, падающей на воду, ФАР_п) индуцировал накопление структурных липидов, таких как сульфоквиновозилдиацилглицерол (sulfoquinovosyldiacylglycerol), фосфатидилглицерол (phosphatidylglycerol) и фосфатидилхолин (phosphatidilcholine). На ярком свете (70–80% ФАР_п) накапливались запасные липиды – триацилглицеролы. Содержание большинства ненасыщенных ЖК было выше на слабом свете, чем на сильном (Khotimchenko, Yakovleva, 2005).

Из-за незначительного содержания жиры красных водорослей не представляют особой пищевой ценности. В то же время важными для здоровья человека являются полиненасыщенные ЖК – эйкозапентаеновая и арахидоновая, а также их производные – простагландины, находящиеся в водорослях.

Стерины

Стерины, или стероидные спирты, являются подгруппой стероидов с гидроксильной группой в 3-позиции А-кольца. Растительные стерины называются фитостеринами. Фитостерины могут блокировать абсорбцию холестерина и снижать его количество в крови.

Подобно холестерину, растительные стерины являются амфифильными и входят в состав всех мембран, особенно плазматических, наружных митохондриальных и мембран эндоплазматической сети. У многих красных водорослей основным фитостерином является холестерин, хотя другие виды содержат больше десмостерина (desmosterol), редко – 22-дегидрохолестерина (22-dehydrocholesterol), и только некоторые – следы С-28 и С-29 стеринов (Goad, Goodwin, 1972).

Содержание стеринов у многих видов красных водорослей из дальневосточных морей России составляло 0,01–0,05%, среди них преобладал холестерин, а также значительным было содержание десмостерина и 22-дегидростерина. У подавляющего большинства видов водорослей преобладал холестерин, а у некоторых видов, например у родимении, в равных количествах присутствовали холестерин и десмостерин, в порфире превалировал десмостерин, а у хипнеи – 22-дегидростерин. У гелидиевых было обнаружено от 5 до 12 индивидуальных стеринов, а также значительным было содержание С₂₆–С₂₉ стеринов. У гигартиновых водорослей состав стеринов был достаточно беден (Кизеветтер и др., 1981; Хотимченко, 2003).

Витамины

Красные водоросли содержат большинство витаминов, необходимых человеку, но особенно богаты (по сравнению с зелеными и бурыми водорослями) витаминами группы В. Так, в дальневосточных видах гелидиума, грацилярии и порфиры было найдено 0,05–0,46 мг % сух. м. витамина В₁, 0,08 мг % витамина В₃, 1,0 мг % витамина В₆, 0,029 мг % витамина В₁₂ (Кизеветтер и др., 1981). У *Porphyra tenera* из Японии содержание витамина В₁ составляло 0,12–0,25 мг %, витамина В₂ – 0,89–1,24 мг %, витамина В₃ – 2,6–10,0 мг %, витамина В₆ – 1,04 мг %, витамина В₉ – 0,088 мг %, витамина В₁₂ – 0,013–0,29 мг % сух. м. (Arasaki, Arasaki, 1983).

Пигменты

Красные водоросли содержат следующие фотосинтетические пигменты: хлорофилл а, фикобилины (фикоэритрин, фикоцианин и аллофикоцианин), β-каротин, ксантофиллы (лютеин, энтероксантин, неоксантин, микоксантофил). Пигменты красных водорослей полезны человеку в питании, они используются в медицине и как стойкие пищевые красители. В последнем случае особенно ценится фикоэритрин (красный пигмент), которого нет ни в высших растениях, ни в бурых и зеленых водорослях. Содержание основных пигментов в красных водорослях дальневосточных морей России приведено в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Содержание фотосинтетических пигментов (в мкг/г сыр. м.) в красных водорослях Японского моря

Вид водоросли	Хлорофилл а	Всего каротиноидов	Каротины	Лютеин+зеаксантин	Фикоэритрин
<i>Pachyarthron cretaceum</i>	100–140	20–22	10–13	4–9	380–1140
<i>Lithothamnion phymatodeum</i>	40–90	15–22	9–15	4–5	430–480
<i>Grateloupia turuturu</i>	50–420	22–85	6–40	14–40	100–2060
<i>Porphyra yezoensis</i>	290–510	110–140	33–51	47–75	620–2390
<i>Chondria dasyphylla</i>	90–120	29–36	11–13	8–9	240–620
<i>Corallina pilulifera</i>	160–350	40–72	16–32	6–7	380–1100
<i>Mastocarpus pacificus</i>	150–370	47–130	16–42	23–78	190–430
<i>Neosiphonia japonica</i>	340–440	81–110	32–47	38–51	380–3590
<i>Ptilota filicina</i>	360–540	71–124	31–40	34–41	2870–4120
<i>Ahnfeltia tobuchiensis</i>	260–690	79–178	27–70	31–91	1700–2780
<i>Sparlingia pertusa</i>	200	41	16	20	1480
<i>Pterothamnion yezoense</i>	670	161	53	61	5360

Водоросли значительно разнятся по содержанию пигментов в расчете на сырую массу, что больше связано не с концентрацией пигментов в хлоропластах, а с содержанием воды в талломах водорослей. Основным фактором, влияющим на концентрацию пигментов в хлоропластах, является свет. Так, при сравнении содержания пигментов в слоевищах *Grateloupia turuturu* (из Японского моря), выросших на ярком (90% ФАР_п) и слабом (5% ФАР_п) свету, содержание хлорофилла на слабом свету было в 8 раз больше, чем на сильном, каротиноидов – в 5 раз, каротинов – в 8 раз, ксантофиллов – в 5 раз и фикоэритрина – в 45 раз больше (Титлянов, 1983).

2.1.2. БУРЫЕ ВОДОРΟΣЛИ (Heterokontophyta)

Бурый цвет морских макрофитов из отдела Heterokontophyta определяют пигменты, содержащиеся в хлоропластах: желтые и оранжевые каротиноиды, зеленый хлорофилл а и зеленовато-коричневые хлорофиллы с₁ и с₂. Основными отличительными от других макрофитов хемотак-

сономическими признаками бурых водорослей являются: наличие хлорофиллов c_1 и c_2 , а также ксантофилла фукоксантина; построение клеточных стенок из целлюлозы и альгиновой кислоты; накопление ламинарана и маннитола как основных запасных продуктов.

Для человека бурые водоросли особенно ценны как малокалорийная и здоровая пища, а также как единственный источник получения важнейших природных продуктов – альгинатов. Бурые водоросли и продукты из них широко используются во многих отраслях, особенно в медицине, пищевой промышленности и в сельском хозяйстве (Levring et al., 1969; Chapman, Chapman, 1980; McConnaughey, 1985; Itoh et al., 1993; Kaufmann et al., 1998; Crouch, Van Staden, 1999; Hudson et al., 1999; Pulz, 2000; Heo et al., 2004, 2008; Lee et al., 2004b; Matsuda et al., 2005; Kato et al., 2007; Patra et al., 2008).

Белки и свободные аминокислоты

Содержание всех азотистых соединений в бурых водорослях дальневосточных морей России колеблется в широких интервалах – от 3,6 до 17,0% сух. м. В пределах одного района (например, Сахалино-Курильского) водоросли могут значительно различаться по количеству общего белка: от 4,2% в *Costaria costata* до 16,2% сух. м. в *Agarum clathratum* [= *Agarum cribrosum*] (Суховеева, Подкорытова, 2006).

В бурых водорослях Японии (*Endarachne binghamiae*, *Sargassum fusiforme* [= *Hizikia fusiformis*], *Analipus japonicus*, *Saccharina japonica* [= *Laminaria japonica*]) содержание азота в белках колеблется от 11 до 23% сух. м. Содержание общего белка в бурых водорослях Гавайских островов составляет от 6 до 13% сух. м., уменьшается во время интенсивного роста и увеличивается в период образования репродуктивных органов (McDermid, Stuercke, 2003).

Белки *S. japonica* [= *L. japonica*], *S. angustata* [= *L. angustata*] и *S. kurilensis* [= *Cymathoera japonica*] состоят из 17 аминокислот (8 из них являются незаменимыми аминокислотами). В гидролизатах ламинариевых водорослей количественно преобладали следующие аминокислоты: глутаминовая (1,4–4,3% сух. м.), аспарагиновая (1,0–1,5%) и треонин (Суховеева, Подкорытова, 2006). Белки бурых водорослей более чем на 90% перевариваются в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) человека (Aguilera-Morales et al., 2005). (Perez-Lorenzo et al., 1998; Nomura et al., 2000; Chernikov et al., 2007). Лектины бурых водорослей проявляют антибиотическую активность (Liao et al., 2003).

В бурых водорослях найдено 23 свободных аминокислоты: аланин, аллоизолейцин, аргинин, аспарагиновая кислота, хондрин, цистеиновая кислота, D-цистеиноливая кислота, глутаминовая кислота, глицин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, орнитин, фенилаланин, пролин, серин, таурин, треонин, триптофан, тирозин, валин. В наибольшем количестве накапливаются такие аминокислоты, как аланин, глутаминовая кислота, глицин, пролин, треонин; из незаменимых аминокислот в наибольшем количестве встречается лизин (Arasaki, Arasaki, 1983). Отличительной чертой аминокислотного состава бурых водорослей является присутствие йодоаминокислот – это моно- и дийодтирозин (Boney, 1966). Содержание отдельных свободных аминокислот в бурых водорослях прежде всего зависит от видовой принадлежности. Так, если *Undaria pinnatifida* содержит 34,6 мг лизина на 100 г сух. м. (мг%), то *Sargassum confusum* содержит 27,5 мг% аспарагиновой кислоты и не содержит лизина, а *U. pinnatifida* содержит только 5,4 мг % аспарагиновой кислоты (Arasaki, Arasaki, 1983).

Углеводы

Бурые водоросли богаты, их общее содержание, например в водорослях дальневосточных морей России, может достигать 74% сух. м. (Суховеева, Подкорытова, 2006). Углеводы можно разделить на 4 группы в зависимости от химической структуры и функционального значения: растворимые сахара цитоплазмы и вакуолей, запасные полисахариды, нерастворимые структурные

полисахариды и растворимые структурные полисахариды клеточных стенок. Растворимые моно-, ди- и олигосахара, а также запасные полисахариды имеют пищевую ценность, т.е. перевариваются в ЖКТ человека (Nakajima et al., 2002); нерастворимые структурные полисахариды являются растительными волокнами (используются в пищевых добавках); полисахариды клеточных стенок не имеют пищевой ценности (не перевариваются в ЖКТ человека), но широко используются в промышленности как желирующие вещества и загустители.

Низкомолекулярные сахара

Состав растворимых моно- и олигосахаров бурых водорослей мало отличается от такового высших растений, а также зеленых и красных водорослей, в которых обнаружены глюкоза, фруктоза, сахароза, манноза и другие промежуточные и конечные продукты фотосинтеза.

Запасные углеводы

К запасным углеводам бурых водорослей относят конечные продукты фотосинтетического метаболизма – полисахарид ламинаран (β -1,3 glucan), представляющий собой полимер D-глюкозы, и многоатомный спирт маннит [1,2,3,4,5,6-hexol ($C_6H_8(OH)_6$)] (Craigie, 1974; Arasaki, Arasaki, 1983; Schaffelke, 1995)

Ламинаран, выделенный из бурой водоросли *Chorda filum*, содержал 1-гликозилированный и 1,6- β -гликозилированный остатки D-маннита (показано методами метилирования и ферментативного разложения). Последний структурный элемент был найден в ламинаранах впервые. Структурное исследование ламинаранов из 6 других бурых водорослей показало, что полисахариды состоят в основном из (1 \rightarrow 3)-связанных β -D-гликопиранозных остатков с небольшим числом гликозидных связей в цепях. Остатки маннита не были определены в ламинаранах из двух видов *Cystoseira* (Usov, Chizhov, 1993). Был изучен ламинаран бурой водоросли *Eisenia bicyclis*, принадлежащей к семейству Laminariaceae. Средняя степень полимеризации ламинарана из этой водоросли равнялась 22, он отличался линейной структурой и состоял из β -1,6- и β -1,3-связанных глюкозных остатков и не содержал маннита (Maeda, Nisizawa, 1968). Ламинаран накапливается как в хлоропластах, так и в цитоплазме фотосинтезирующих клеток, в хлоропластах ламинаран может образовывать, подобно крахмалу, обкладку пиреноидов или пластоглобулы, которые лежат в строме хлоропласта (Bisalputra, Bisalputra, 1969; Камнев, 1989). Ламинаран переваривается кишечными бактериями (*Clostridium butyricum*) в ЖКТ человека (Nakajima et al., 2002).

Содержание ламинарана у водорослей может достигать 30% сух. м., у сублиторальных водорослей Японии оно колеблется между 2 и 10% на сух. массу (Boney, 1966; Arasaki, Arasaki, 1983). Количество запасных углеводов зависит не только от вида водоросли, но и от условий ее обитания, особенно световых, а также от стадии развития растения (Lüning, 1990) и значительно изменяется в зависимости от сезона (Gagne et al., 1982; Schaffelke, 1995; Gevaert et al., 2001). Запасные углеводы у ламинарий накапливаются в летние месяцы, зимой и весной их содержание падает (Gagne et al., 1982; Lüning, 1990; Gevaert et al., 2001).

Маннит образуется, как и глюкоза, уже в первые минуты фотосинтеза, являясь конечным продуктом этого процесса, однако он не запасается внутри хлоропласта, а транспортируется в цитоплазму и далее от клетки к клетке, являясь основным транспортным продуктом бурых водорослей, снабжающим энергией окислительно-восстановительные процессы. Так, у ламинарии маннит переносится по клеткам, имеющим структуру, близкую к ситовидным трубкам высших растений, в зону интеркалярной меристемы. У *Chorda filum* маннит переносится из верхней в нижнюю часть таллома, у *Sargassum pallidum* – из филлоидов в точки роста (Титлянов, Пешеходько, 1973). Содержание маннита в бурых водорослях дальневосточных морей колеблется от $4,7 \pm 1,1\%$ у *Saccharina angustata* [= *Laminaria angustata*] до $17,9 \pm 2,3\%$ сух. м. у *S. japonica* [= *L. japonica*]; у во-

дорослей Курильских островов – от 6,7% у *S. angustata* до 4,7% сух. м. у *Saccharina bongardiana* [= *Laminaria bongardiana*] (Усов, Клочкова, 1994; Суховеева, Подкорытова, 2006).

Полисахариды клеточных стенок

Структура клеточных стенок бурых водорослей образована главным образом волокнами целлюлозы, имеющей несколько другое строение, чем целлюлоза высших растений или зеленых водорослей, в ее цепь кроме глюкозы включены другие моносахара (Boney, 1966). Основными растворимыми полисахаридами клеточных стенок и межклетников бурых водорослей являются альгиновая кислота и фукоидан.

Альгиновая кислота присутствует в растениях в виде альгинатов – солей металлов, преимущественно кальция, магния, натрия, калия. По молекулярной структуре альгиновая кислота является гетерополисахаридом, построенным из двух уроновых кислот – β -D-маннуровой и L-гулуровой, связанных 1-4-связями (рис. 24, А). Структура альгиновой кислоты близка к пектину высших наземных растений, который является полимером D-галактуровой кислоты (Кретович, 1971). Альгиновая кислота – сильно обводненный, бесцветный, структурированный гель. Она способна связывать более чем пятидесятикратное количество воды. Сухие альгиновая кислота и альгинаты двухвалентных металлов не растворяются ни в одном из известных растворителей, принимая воду, они набухают, образуя гель (исключение составляет альгинат магния, который растворяется в воде).

Полностью замещенные альгинаты одновалентных металлов хорошо растворяются в воде, образуя вязкие и клейкие растворы. При сушке эти растворы образуют эластичные пленки.

Содержание альгиновой кислоты в слоевищах зависит от вида водоросли и в среднем колеблется от 20 до 30% сух. м. Количество альгиновой кислоты у *S. japonica* [= *L. japonica*], культивируемой на юге Дальнего Востока России (на второй год культивирования), составляло около 30%

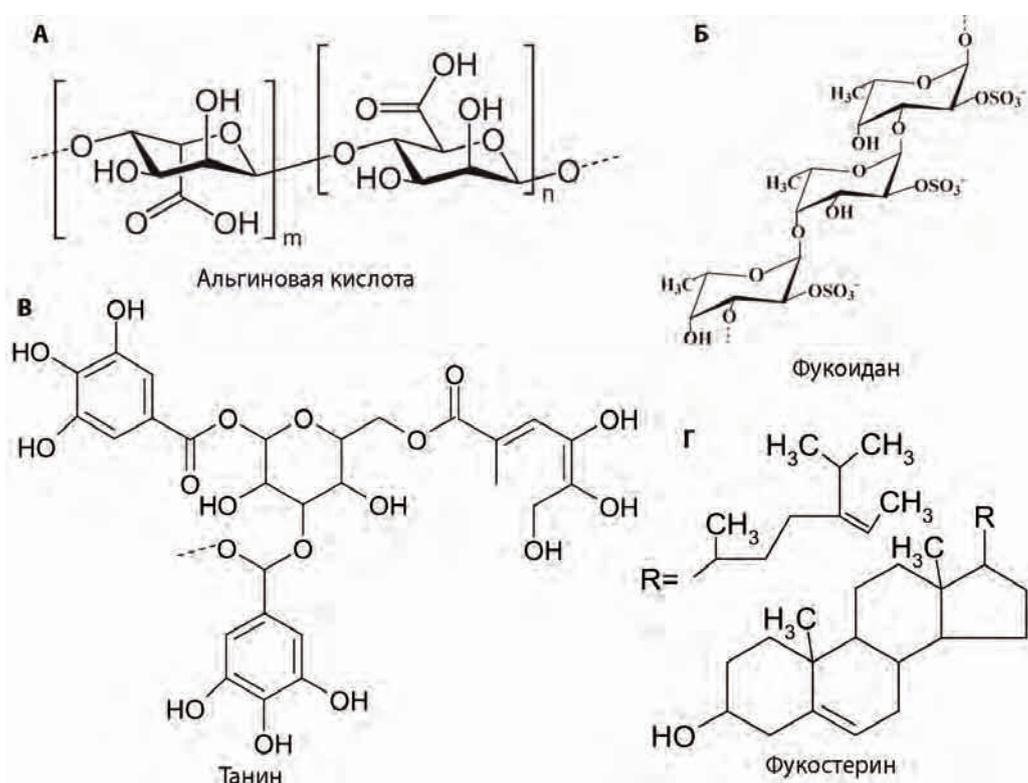


Рис. 24. Полезные вещества из бурых водорослей

от сух. м. (Суховеева, Подкорытова, 2006). Тропическая водоросль *Turbinaria ornata*, обитающая на коралловых рифах Таити, содержала в среднем альгиновой кислоты $19,2 \pm 1,3\%$ на сух. м. (Zubia et al., 2008).

Сезонные колебания содержания альгинатов могут составлять более 10%. Так, наибольшее количество альгиновой кислоты у *Laminaria hyperborea*, растущей у берегов Северной Норвегии, было выявлено в январе, а наименьшее – в сентябре (Lüning, 1990). У тропического вида *Sargassum polycystum* из Индии наибольшее содержание альгиновой кислоты было отмечено в феврале (Saraswathi et al., 2003). Сезонные колебания содержания альгината в *Sargassum muticum*, растущего вдоль побережья Англии, были незначительные (Gorham, Lewey, 2004).

Не только содержание, но и физико-химические свойства и даже химическое строение альгиновой кислоты и альгинатов зависят от видовой принадлежности растений, стадии их жизненного цикла и времени года. Так, у 17 видов водорослей дальневосточных морей России выход альгината колебался от $3,0 \pm 1,0\%$ у *Agarum clathratum* [= *Agarum cribrosum*] до $27,0 \pm 2,2\%$ сух. м. у *Costaria costata*; содержание золы в альгинатах колебалось от $21,4 \pm 1,8\%$ у *Alaria marginata* до $25,7 \pm 1,3\%$ сух. м. у *Sacharina japonica*; вязкость 0,2%-го водного раствора (измеренная в Паскалях $\times 10^{-3}$) была от $7,6 \pm 1,8$ у *A. marginata* до $24,7 \pm 1,3$ у *Sacharina angustata* [= *Laminaria angustata*]; молекулярная масса, измеренная в килодальтонах (кДа) – от 125 ± 40 у *A. marginata* до 444 ± 90 у *S. angustata* (Суховеева, Подкорытова, 2006). На *Sargassum polycystum* из Индии была установлена корреляция между увеличением вязкости альгинатов и повышением содержания α -L-гулуруновой кислоты в структурных блоках (Saraswathi et al., 2003).

Небезынтересным является распределение альгинатов по растению. Так, на *S. japonica* установлено, что ее пластины содержат 62% D-маннуруновой и 38% α -гулуруновой кислоты, а ризоиды соответственно 35 и 65%. Таким образом, наибольшее количество α -гулуруновой кислоты, отвечающей за вязкость альгинатов, содержится в пластине, затем в ризоидах, а наименьшее – в черешках (Суховеева, Подкорытова, 2006). У *S. polycystum* альгината было больше всего в филлоидах, но альгинаты с наибольшей вязкостью были найдены в черешке (Saraswathi et al., 2003).

Альгиновая кислота и альгинаты не перевариваются в ЖКТ человека, т.е. они не имеют пищевой ценности. Человек использует следующие химические и физико-химические свойства альгинатов: 1) способность захватывать воду и образовывать структурированный гель; 2) способность молекулы полисахарида альгиновой кислоты и ее солей, имеющих длинные и прочные цепочки ковалентно соединенных уроновых кислот, растворяясь в воде, образовывать вязкие растворы, а при высыхании – тонкую и прочную пленку; 3) способность связывать тяжелые металлы и особенно радиоактивные элементы (Stephen, William, 2006).

Фукоиданы, также как и альгиновая кислота, являются растворимыми компонентами клеточных стенок бурых водорослей. Химическая структура фукоиданов достаточно сложна и разнообразна, но в основном в состав этих сульфатированных полисахаридов входят молекулы L-фукозы, сульфатные остатки и молекулы уроновой кислоты, а также небольшие количества галактозы, ксилозы, арабинозы и маннозы (рис. 24,Б). Химическая структура фукоиданов, их физико-химические свойства и содержание в клеточных стенках водорослей зависят от таксономической принадлежности, стадии жизненного цикла и условий произрастания водорослей. Фукоиданами богаты представители порядков Fucales и Laminariales, они найдены также у водорослей из порядков Chordariales, Dictyotales, Dictyosiphonales, Ectocarpales, Scytosiphonales (Bui et al., 2007).

Количество фукоидана в бурых водорослях может колебаться в большом диапазоне, значительно большем, чем количество альгиновой кислоты. Достаточно высокое содержание фукоидана найдено в водорослях порядка Fucales. Так, *Fucus vesiculosus* из Белого моря содержал от 13,4 до 16,5% фукоидана, а *Ascophyllum nodosum* – от 10,0 до 11,5% сух. м. (Репина и др., 2004). У дальневосточного вида *Fucus evanescens* содержание фукоидана варьирует от 7,7 до 13,6% от сух. м. Бурые водоросли Курильских островов содержат фукоидана от 1,0% у *Sacharina angustata* [= *Laminaria angustata*] до 4,7% сух. м. у *S. bongardiana* [= *L. bongardiana*]. Наиболее богатой фукоиданом, вероятно, является *Saundersella simplex* (Камчатский полуостров), которая содержит до 20,4% этого

вещества в расчете на сух. м. (Усов и др., 2001). В бурых водорослях Японии количество фукоидана варьирует от следовых количеств у *Agarum clathratum* [= *Agarum cribrosum*] до 14,6% у *Nemacystus decipiens* (Fujikawa, Nakashima, 1975). *Sargassum* из Китая содержал 3,9% фукоидана (Wang, Zhao, 1985), *Kjellmaniella* с Японских островов – 3,8% на сух. м. (Sakai et al., 2002). Фукоидан является одним из строительных материалов клеточной стенки, поэтому его содержание прежде всего зависит от анатомо-морфологических характеристик, а также от стадии развития растений и внешних условий. Так, три различные формы *Undaria pinnatifida*, культивируемые в Корее – южная форма (f. *typica*), северная форма (f. *distans*) и форма «Самгеок» – значительно различались по содержанию фукоидана. Форма «Самгеок» была в 1,8 и 3,5 раз богаче фукоиданом, чем северная и южная формы соответственно (Lee et al., 2006). Анализ фукоиданов из слоевищ *Saccharina cichorioides* [= *Laminaria cichorioides*] (Японское море), взятых в разные сезоны года, показал незначительные вариации, однако во взрослых слоевищах содержание этого продукта было наибольшим (около 10% сух. м.). *S. japonica* содержала в 2 раза меньше фукоидана, чем *S. cichorioides* (Zvyagintseva et al., 2003).

Химическое строение фукоидана также зависит от таксономического статуса растения. На девяти видах бурых водорослей из Японии было показано, что три вида из порядка Laminariales содержали фукоидан, построенный только из фукозы (рис. 24,Б). С другой стороны, фукоиданы представителей родов *Eisenia*, *Undaria*, *Alaria* и *Fucus* имели более сложную структуру и кроме фукозы содержали другие сахара (Fujikawa, Nakashima, 1975). Слоевища *Saccharina religiosa* [= *Laminaria religiosa*], *Sargassum fusiforme* [= *Hizikia fusiformis*], *Sargassum fulvellum* и спорофиллы *U. pinnatifida* из Кореи имели в своем составе в основном (1-3)-связанную фукозу, однако в фукоидане из спорофиллов *U. pinnatifida* была найдена также (1-3)-связанная галактоза (Коо, 1997). Фукоиданы южной и северной форм ундарии содержали фукозу и галактозу в соотношениях 83,5%: 16,5% и 87,4%: 12,6% соответственно. Фукоидан формы «Самгеок» содержал фукозы 62,7%, галактозы 32,9% и глюкозы 4,4% (Lee et al., 2006). Фукоидан из взрослых слоевищ *S. cichorioides* содержал практически чистые высокосульфатированные α-L-фуканы. Фукоза была основным сахаром также в *Fucus evanescens* и *S. japonica*, в то же время фукоиданы *F. evanescens* были обогащены ксилозой, а *S. japonica* – галактозой (Zvyagintseva et al., 2003).

Фукоиданы, как и альгиновая кислота, не перевариваются ЖКТ человека и не имеют пищевой ценности, они не образуют структурированных гелей, вязких растворов или прочной пленки. Главным полезным свойством фукоиданов является высокое содержание (около 30% сух. м. фукоидана) сульфатированных групп, что обуславливает широкий спектр применения фукоиданов в медицине (Suzuki et al., 1980; Takahashi, 1983; Maruyama et al., 1987, 2007; Ellouali et al., 1993; Zhuang et al., 1995; Shibata et al., 1999; Ponce et al., 2003; Matsumoto et al., 2004; Li et al., 2006; El-Shora, Youssef, 2007).

Таннины и другие полифенольные соединения

Таннины (флоротаннины) (рис. 24,В) широко представлены во всем растительном царстве. Найдены они главным образом в вакуолях и в клеточных стенках растений. Находясь в этих изолированных участках клеток, таннины мало участвуют в общем метаболизме и только после разрушения клеток вступают в реакцию с веществами поврежденной ткани. В центре молекулы таннина находится углевод (обычно D-галактоза), гидроксильная группа которого частично или полностью этерифицирована фенольными соединениями, такими как галлиевая или элаговая кислоты. Таннины, гидролизованые слабой кислотой или слабым основанием, продуцируют углевод и фенольные кислоты.

Конденсированные таннины известны как проантоцианидины, являются полимерами, состоящими из 2–50 (иногда больше) флавоноидных остатков, соединенных С-С-связями, которые невосприимчивы к расщеплению гидролизом. Гидролизуемые таннины и большинство конденсированных таннинов являются в основном водорастворимыми веществами. Кроме таннинов в во-

дорослях встречаются другие полифенолы и фенольные соединения – это флавоноиды, гормоны, бромфенолы, микоспорины и др.

Содержание флоротаннинов в бурых водорослях может достигать 10% в расчете на сух. массу (Ragan, Glombitza, 1986; Van Alstyne, Paul, 1990; Schoenwaelder, Clayton, 1998; Nakai et al., 2006). Состав и содержание фенольных соединений были изучены в 14 видах морских бурых водорослей, собранных на литорали Канарских островов (Испания). Наибольшее содержание фенольных компонентов было найдено в *Cystoseira compressa* и *Sargassum furcatum* (Chkhikvishvili, Ramazanov, 2000). В 27 видах водорослей, собранных на коралловых рифах Венесуэлы, было отмечено присутствие таннинов. Бурая водоросль *Padina gymnospora* имела наибольшее содержание этих веществ (Perez-Lorenzo et al., 1998). Полифенольные соединения были найдены также в слоевищах *Turbinaria ornata* и *Sargassum pacificum* [= *Sargassum mangarevense*]. Взрослые растения продуцировали больше фенольных веществ, чем молодые. В *T. ornata* уровень фенолов был выше, чем в *S. mangarevense* (Stiger et al., 2004). Фенольные компоненты были выделены из экстрактов *Fucus vesiculosus*: флорглүцинол и серия тетрамерных, пентамерных и гексамерных производных флорглүцина (Ragan, Craigie, 1976).

Были определены сезонные вариации в содержании вкусовых компонентов у трех видов бурых водорослей (*Padina arborescens*, *Sargassum siliquastrum* и *Lobophora variegata*), собранных в водах Гонконга: 2-бромфенол, 4-бромфенол, 2,4-дибромфенол, 2,6-дибромфенол и 2,4,6-трибромфенол. Общее содержание бромфенолов различалось в зависимости от сезона, наибольшее содержание этих веществ в водорослях было найдено зимой. Содержание бромфенолов в *L. variegata* было наибольшим по сравнению с остальными видами (Chung et al., 2003). В экспериментально поврежденных слоевищах фукуса концентрация полифенольных компонентов увеличивалась на 20% в сравнении с неповрежденными растениями. Увеличение концентрации полифенолов в экспериментально поврежденных слоевищах хорошо коррелировало с уровнями этих соединений в растениях, поврежденных травоядными животными (Van Alstyne, 1988).

Фенольные соединения в бурых макроводорослях аккумулируются главным образом в специальных структурных образованиях – физиодах, формирующихся на периферии медуллярных клеток и в межклеточных пространствах (Ragan, 1976; Schoenwaelder, Clayton, 1998). Физиоды были обильны в вегетативных и репродуктивных клетках водорослей рода *Dictyota*. Реакция окрашивания показала, что они содержат фенольные или таннинподобные соединения (Evans, Holligan, 1972). Таннины и полифенольные соединения, найденные в водорослях, проявляют биологическую активность и используются как в народной, так и в современной официальной медицине (Sugiura et al., 2007). Они показывают антивирусный, антибактериальный, антипаразитарный и антираковый эффекты (Anggadiredja et al., 1997; Shibata, 2008).

Жиры и жирные кислоты

В бурых водорослях, также как в красных и зеленых, общее содержание сырых жиров невелико и составляет, например у саргассумов Гавайских островов, около 3% сух. м. (McDermid, Stuercke, 2003); у водорослей из Атлантики содержание жира у *Alaria esculenta* не превышало 2%, у *Saccharina latissima* [= *Laminaria saccharina*] составляло 0,5%, у *Ascophyllum nodosum* колебалось между 2 и 7% и у *Laminaria digitata* было между 1–2% (Indergaard, Minsaas, 1991). Содержание жиров у *Saccarhiza polyschides*, *Himanthalia elongata*, *Laminaria ochroleuca*, *Undaria pinnatifida* из Испании не превышало 1,8% (Sánchez-Machado et al., 2004); у *Egregia menziesii* из Северо-Восточной Пацифики содержание липидов составляло 0,9–1,6% сух. м. (Nelson et al., 2002).

Анализы более 100 видов бурых водорослей из 16 порядков показали, что все они содержат следующие липиды: гликолипиды (моноголактозилдиацилглицерол, дигалактозилдиацилглицерол, сульфоквиновозилдиацилглицерол) и фосфолипиды (фосфатидилглицерол и фосфатидилэтанолламин) (Eichenberger et al., 1993; Bhaskar, Miyashita, 2005).

Диацилглицерилгидроксиметилтриметил-бета-аланин (diacylglyceryl-hydroxymethyltrimethyl-beta-alanine, DGTA) присутствовал в водорослях из порядков Dictyotales, Notheiales, Fucales, Durvillaeales. Фосфатидилхолин не был определен в порядках Dictyotales, Durvillaeales и (с некоторым исключением) в Fucales. DGTA был найден как основной липидный компонент в 8 видах бурых водорослей из Японии (*Ishige okamurai*, *Dictyota dichotoma*, *Dictyota coreacea* [= *Pachydictyon coriaceum*], *Padina arborescens*, *Sargassum fusiforme* [= *Hizikia fusiformis*], *Sargassum horneri*, *S. ringgoldianum* и *S. thunbergii*). В то же время фосфатидилхолин не был найден ни в одной из этих водорослей, за исключением *I. okamurai*. В 5 других видах – *Colpomenia sinuosa*, *Enderachne binghamiae*, *Scytosiphon lomentaria*, *Eisenia bicyclis*, *U. pinnatifida* – фосфатидилхолин был главным липидным компонентом. Состав жирных кислот DGTA в *D. dichotoma* и *S. fusiforme* [= *H. fusiformis*] был подобен таковому у фосфатидилхолина *U. pinnatifida*, основными составляющими были 16: 0, 18: 2 и 20: 5 (а также 16: 1 в *D. dichotoma*) жирные кислоты (Araki et al., 1991).

Saccharina japonica [= *Laminaria japonica*] и *S. cichorioides* [= *L. cichorioides*] из Японского моря содержали нейтральные липиды, гликолипиды, фосфолипиды и свободные жирные кислоты. Гликолипиды были основным классом липидов в этих водорослях и состояли в основном из пальмитиновой, олеиновой и полиненасыщенных (с 18 и 20 атомами углерода) ЖК (Хотимченко, 1985; Khotimchenko, Kulikova, 1999). Анализ 30 видов бурых водорослей Японского моря из разных порядков показал, что все они содержат липиды, свойственные водорослям из других морей (Khotimchenko, Titlyanova, 1996).

Содержание липидов и их отдельных классов значительно варьирует в зависимости от сезона года и внешних условий (Li et al., 2002; Nelson et al., 2002) в жизненном цикле растений (Reed et al., 1999), а также в зависимости от места нахождения у растения (слоевище, черешок, ризоиды) (Kulikova, Khotimchenko, 2000; Хотимченко, 2003). Однако каких-либо общих закономерностей влияния этих факторов на количество и соотношения липидов пока установить не удалось.

Несмотря на систематические, морфологические и экологические различия, которые существуют между разными видами бурых водорослей, они содержат сходные компоненты ЖК, но различаются по их соотношению. Основными жирными кислотами бурых водорослей являются пальмитиновая, олеиновая и полиненасыщенные ЖК с 18 (18: 2n–6, 18: 3n–3, 18: 4n–3) и 20 (20: 4n–6, 20: 5n–3) атомами углерода. Для всех бурых водорослей характерно относительно высокое содержание C₁₈ и C₂₀ полиеновых ЖК, которое варьирует от 29,6 до 69,8% суммы ЖК, что является главной особенностью, отличающей бурые водоросли от красных и зеленых (Хотимченко, 2003).

Анализ липидов бурых водорослей из порядков Laminariales, Chordariales, Scytosiphonales, Desmarestiales, Dictyosiphonales и Fucales, обитающих в Бохайском море (Китай), показал, что основными ЖК в них были: 14: 0, 16: 0, 18: 1n–9, 18: 2n–6, 18: 3n–3, 18: 4n–3, 20: 4n–6 и 20: 5n–3 (Li et al., 2002). У бурой водоросли *Egregia menziesii* (Северо-Восточная Пацифика) полярные липиды составляли более 50% от общих липидов, а стерины – только 3–8%. Содержание свободных ЖК варьировало в сезоне (от 0 до 26%). Основными ЖК у *E. menziesii* были 16: 0, 14: 0, 18: 1n–9, 20: 4n–6 и 20: 5n–3, водоросли содержали также 18: 2n–6, 18: 3n–3 и 18: 4n–3 ЖК (Nelson et al., 2002). Около 35 ЖК найдено у представителей родов *Dictyota* и *Dictyopteris*, среди которых доминировали 16: 0, 18: 4n–3, 18: 1n–9, 14: 0 и 20: 4n–6. Высокое содержание редкой 16: 1n–5 ЖК и присутствие в небольших количествах C₂₂ полиненасыщенной ЖК характеризует представителей этого порядка водорослей (Khotimchenko, 1995).

Из-за незначительного содержания жиров в бурых водорослях они не имеют особой пищевой ценности. Однако показано, что ненасыщенные и полиненасыщенные ЖК и их эфиры проявляют антиопухолевую активность (Tolnai, Morgan, 1966; Mertin, Hunt, 1976; Nishikawa et al., 1976). Было установлено также, что некоторые липидные фракции из бурых водорослей *Sargassum ringgoldianum* и *Sacharina angustata* [= *Laminaria angustata*] высокоэффективны против фибросаркомы (Noda et al., 1989, 1990).

Стерины

Стерины, или стероидные спирты, являются подгруппой стероидов с гидроксильной группой в 3-позиции А-кольца. Если гидроксильная группа на А-кольце полярна, то остаток на алифатической цепи неполярен. Растительные стерины называют фитостеринами. Предполагается, что они могут блокировать абсорбцию холестерина в крови человека и замедлять образование холестериновых бляшек (Arasaki, Arasaki, 1983).

Основными стеринами в бурых водорослях как по распространению, так и по количеству являются фукостерин (fucosterol) и саргастерин (sargasterol). Фукостерин (рис. 24,Г) был найден в таких водорослях, как *Analipus japonicus*, *Alaria crassifolia*, *Costaria costata*, *Eisenia bicyclis*, *Saccharina japonica* [= *Laminaria japonica*], *L. digitata*, *L. hyperborea*, *Saccharina latissima* [= *Laminaria saccharina*], *Ascophyllum nodosum*, *Stephanocystis hakodatensis* [= *Cystophyllum hakodatense*], *Pelvetia canaliculata*, *Sargassum ringgoldianum*, а саргастерин – в *Eisenia bicyclis* и *S. ringgoldianum* (Arasaki, Arasaki, 1983). В стерольной фракции бурой водоросли *Fucus virsoides* был обнаружен только один стерин – фукостерин, составляющий 92% общих стеринов. Высокое содержание фукостерина характерно для многих видов бурых водорослей, особенно для представителей рода *Fucus*, где содержание фукостерина в стерольной фракции составляло от 78% в *Fucus evanescens* до 99–100% в *F. vesiculosus* и *F. serratus* соответственно (Ikegawa et al., 1968). Бурые водоросли содержат кроме фукостерина [(E)-stigmasta-5,24(28)-dien-3 β -ol] также изофукостерин [(Z)-stigmasta-5,24(28)-dien-3 β -ol] (Kapetanović et al., 2005).

В стерольной фракции бурых водорослей из Черного моря (*Punctaria latifolia* и *P. plantaginea*) было определено 15 стеринов, из которых основными были холестерин (45% в *P. plantaginea* и 76% в *P. latifolia*) и 24-метиленхолестерин (24-methylenecholesterol), последний присутствовал в высокой концентрации в *P. plantaginea* (28,6%), но не в *P. latifolia*. Характерный для бурых водорослей фукостерин в обоих видах был в низкой концентрации (Kamenarska et al., 2003). Содержание фукостерина в *Scytosiphon lomentaria* составляло 76% от всех стеринов, относительно высокой была концентрация 24-метиленхолестерина (15%). *Zanardinia prototypus*, *Cystoseira barbata* и *C. crinita* из Черного моря содержали более 80% C₂₉-стеринов из общей стерольной фракции. Фукостерины были основными стеринами у этих трех видов (Kamenarska et al., 2003). В *Cystoseira spinosa* [= *Cystoseira adriatica*] из Адриатического моря главными стеринами были холестерин и стигмаст-5-ен-3 β -ол (stigmast-5-en-3 β -ol), а обычный для бурых водорослей фукостерин был найден в низкой концентрации. В то же время стерольная фракция *Fucus virsoides* содержала более 90% фукостерина (Kapetanović et al., 2005).

На дальневосточных видах бурых водорослей *Saccharina japonica* [= *Laminaria japonica*] и *Sargassum pallidum* было показано, что ни состав, ни содержание стеринов не изменяются в течение года (Kostetsky et al., 2004).

Витамины

Бурые водоросли содержат большинство витаминов, необходимых человеку: провитамин А (β -каротин), Е, К, В₁, В₂, В₃, В₆, В₉, В₁₂, С, РР. Так, в ламинарии провитамина А содержится в 2 раза больше, чем в томатах и в 100 раз больше, чем в яблоках; витамина В₁ в водорослях содержится столько же, сколько в томатах и шпинате; витамина В₂ – столько же, сколько в шпинате и в 10 раз больше, чем в томатах, яблоках и капусте; витамина В₃ – в 2 раза больше, чем в шпинате, и в 10 раз больше, чем в яблоках, капусте и томатах; витамина В₆ – в 2 раза больше, чем в шпинате и капусте, и в 10 раз больше, чем в яблоках; витамина С в бурых водорослях найдено столько же, сколько в томатах, и в 2 раза больше, чем в яблоках. Бурые водоросли также ценны присутствием витаминов В₁₂ и Е. (Arasaki, Arasaki, 1983; De Roeck-Holtzhauer et al., 1991).

Минералы

По составу минералов бурые водоросли не отличаются от других, однако некоторые из минералов накапливаются в них в больших количествах, чем в красных и зеленых водорослях, и более доступны для человека (Барашков, 1972). Так, при сравнении 7 видов зеленых, бурых и красных водорослей из Желтого моря (Китай) было показано, что бурые водоросли превосходят другие по содержанию общего йода и йода, растворенного в воде. Наибольшее содержание йода было найдено в *Saccharina japonica* [= *Laminaria japonica*] – 734 мг/кг сыр. м.. У исследованных водорослей от 61 до 93% общего водорастворимого йода было в форме иона I^{-1} , 5,5–37,4% – в форме органического йода и 1,4–4,5% в форме иона IO_3^{-} (Hou et al., 1997). Сравнение двух видов зеленых водорослей *Caulerpa racemosa* и *Ulva flexuosa* [= *Enteromorpha flexuosa*] с двумя видами бурых *Levringia boergesenii* и *Padina tetrastromatica* показало, что зеленые водоросли содержали йода 66,8–88,2 мг/% сух. м. и 30,2–38,1 мг/% соответственно, а бурые – 188,9–246,9 мг/% и 27,9–72,1 мг/% соответственно. Высокое содержание йода отмечено в дальневосточных фукусовых водорослях: у *Fucus evanescens* – до 0,1%, у *Cystoseira crassipes* – 0,07%, у *Silvetia babingtonii* – 0,09% сух. м. (Кизеветтер и др., 1981). В *Laminaria* sp. найдено 193–471 мг% йода, в *Eisenia bicyclis* – 98–564 мг%, *Sargassum confusum* – 300 мг%, *Sargassum fusiforme* [= *Hizikia fusiformis*] – 40 мг%, *Undaria pinnatifida* – 18–35 мг%. В среднем виды *Laminaria* содержат йода в 1000 раз больше, чем мясо каракатицы и краба, в 500 раз больше, чем мясо рыбы, в 500 раз больше, чем красные водоросли (*Porphyra tenera*) и в десятки и сотни тысяч раз больше, чем овощи и фрукты (Arasaki, Arasaki, 1983).

Содержание йода в водорослях неодинаково в течение их жизни и зависит от сезона года и стадии развития растения (Mairh et al., 1998), однако четких закономерностей в содержании йода в зависимости от внешних и внутренних факторов не установлено. Другими, кроме йода, важными для человека минералами являются железо, кальций и натрий. Бурые водоросли содержат этих элементов в десятки раз больше, чем овощи и молоко, и примерно столько же, сколько сухая рыба или семена кунжута (Arasaki, Arasaki, 1983). Больше, чем зеленые и красные водоросли, бурые накапливают тяжелые металлы и радиоактивные элементы, что надо учитывать при сборе водорослей для их использования в пищу.

Вещества, определяющие вкус и аромат бурых водорослей

Бурые водоросли содержат почти те же летучие и нелетучие вещества, что и зеленые и красные водоросли, однако их вкус и аромат отличаются от последних. Причиной этого прежде всего является отсутствие или незначительное количество в бурых водорослях таких веществ, как диметил сульфид акриловой кислоты и спирт фурфурол, а также наличие метилмеркаптана (чего нет у зеленых и красных водорослей) (Arasaki, Arasaki, 1983). Сладкий вкус бурым водорослям придает высокое содержание в них спирта маннита.

2.1.3. ЗЕЛЕННЫЕ ВОДРОСЛИ (Chlorophyta)

Зеленые водоросли получили свое название из-за цвета их хлоропластов, в которых преобладают зеленые пигменты (хлорофиллы *a* и *b*), маскирующие цвет других, меньших по содержанию желтых и оранжевых пигментов (каротиноидов). Объединенные в отдел Chlorophyta, зеленые водоросли имеют следующие основные хемотаксономические идентификационные характеристики: обязательное присутствие в тилакоидных мембранах хлоропластов (сгруппированных в виде пластин по 2 и больше) хлорофиллов *a* и *b*; клеточная стенка состоит из целлюлозы и пектина; крахмал является основным запасным продуктом.

Зеленые водоросли тропической зоны Океана (Гавайские острова) на 87–94% состоят из воды. На долю золы приходится от 22 до 64% сух. м., содержание белка составляет 7–12%, углево-

ТАБЛИЦА 2. Химический состав и калорийность съедобных зеленых макроводорослей Гавайских островов в сравнении со шпинатом (McDermid, Stuercke, 2003)

Вид	Вода, %	Зола, %	Общий белок, %	Растительные углеводы, %	Жиры, %	Калорийность, кал·г ⁻¹
Зеленые водоросли						
<i>Caulerpa lentillifera</i>	94,0±0,1	46,4±0,2	9,7±0,4	11,8±0,8	7,2±0,3	1517±27,6
<i>Codium reediae</i>	94,3±0,1	64,3±0,6	10,5±0,3	4,5±0,1	5,1±0,5	547±27,4
<i>Codium reediae</i>	93,9±0,1	63,5±0,5	7,0±0,3	8,2±1,3	6,3±0,1	741±12,5
<i>Ulva flexuosa</i>	87,6±0,3	23,2±0,2	7,9±0,5	39,9±2,3	5,6±0,2	2646±134,8
<i>Ulva intestinalis</i>	93,6*	29,2±0,1	11,4±0,8	22,2±0,6	5,2±0,5	2427±38,5
<i>Monostroma oxisperrum</i>	92,9±0,6	22,4±0,5	9,6±0,2	31,9±0,8	3,8±0,1	3033±113,3
<i>Ulva fasciata</i>	83,4±0,4	25,4±0,1	123,3±0,5	20,6±0,7	3,6±0,1	2761±71,1
<i>Ulva fasciata</i>	86,1±0,2	32,2±0,1	8,8±0,4	17,1±1,3	5,1±0,2	2378±71,1
Стандарт						
<i>Spinacia oleracea</i>	92,2*	29,0±0,4	20,3±0,2	2,9±0,1	10,7±0,2	2561±64,6

* Ошибка для этих анализов не рассчитана.

дов 4–40%, жиров 3–7% от сух. м. Калорийность зеленых водорослей колеблется от 550 до 3000 кал/г сух. м. (табл. 2).

Для сравнения: картофель имеет калорийность 890 кал·г⁻¹, овощи – 250, фрукты – около 200, мясо – 1500, хлеб – 2000, масло сливочное – 7000 кал·г⁻¹. Однако если учесть, что примерно 50% органических веществ зеленых водорослей не переваривается в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) человека и не усваивается, то зеленые водоросли можно отнести к низкокалорийной пище. Наиболее богаты углеводами водоросли из родов *Ulva* и *Monostroma*, эти же водоросли и наиболее калорийны. Наименьшую пищевую ценность (наименьшее количество углеводов и наименьшую калорийность) имеют водоросли из рода *Codium*. В среднем зеленые водоросли не уступают по калорийности шпинату, в 10 раз богаче его по содержанию углеводов и в 2 раза беднее по содержанию белков и жиров (Mc Dermid, Stuercke, 2003). Зеленые водоросли, произрастающие в умеренной зоне Мирового океана (Европа, Северная Америка), не уступают тропическим видам водорослей по содержанию основных питательных веществ. Так, европейские виды *Ulva* содержат общего белка от 10 до 25%, углеводов от 42 до 48%, жиров от 0,5 до 1,7% сух. м. (Барашков, 1972; Pulz, 2000). По данным Суховеевой и Подкорытовой (2006), в водорослях рода *Ulva*, произрастающих на Дальнем Востоке России, содержание белков составляет от 10 до 34%, клетчатки – от 2 до 10%, золы – от 10 до 26%. У видов из родов *Cladophora* и *Codium* содержание белков и углеводов значительно ниже, чем у ульвовых.

Азотистые вещества

В зеленых водорослях белки составляют наибольшую долю общего азота тканей (82–89%), аминокислоты (всего в гидролизатах белков было обнаружено 16 аминокислот, в том числе 8 незаменимых) – 53–70%, амины – 9–12%, гумины – 7–10% (Суховеева, Подкорытова, 2006).

Зеленые водоросли в значительных количествах содержат белки, связанные с сахарами (лектины), с молекулярными массами >20000 дальтон (Да) (Rogers, Hori, 1993). Из зеленой водоросли *Caulerpa cupressoides* были выделены лектины с молекулярной массой 44700 Да. Предполагают, что лектины зеленых водорослей являются димерными протеинами. В них обнаружены высокие концентрации аминокислот (глицина и серина). Содержание углеводов в лектинах *C. cupressoides* может составлять более 11% (Benevides et al., 2001).

Из зеленой водоросли *Ulva prolifera* [= *Enteromorpha prolifera*] были выделены лектины EPL-1 и EPL-2, которые имели молекулярные массы 60000–70000 Да, что вероятно обусловлено ассоциацией лектинов в высокоупорядоченные агрегаты (Ambrosio et al., 2003).

Лектин, выделенный из зеленой водоросли *Ulva pertusa*, был назван UPLI, его молекулярная масса составляла около 23000 Да. Лектин UPLI был устойчив к действию высоких температур в диапазоне pH 6–8. Первичная структура лектина *U. pertusa* отличалась от структуры известных лектинов растений и животных (Wang et al., 2004). Лектин, выделенный из зеленой морской водоросли *Codium fragile*, имел молекулярную массу 60000 Да, и состоял из четырех субъединиц, соединенных дисульфидными мостиками. Этот лектин хорошо агглютинировал клетки крови человека (Roger et al., 1986).

Лектин, выделенный из водоросли *Codium giraffa* (гирафин), являлся мономерным белком с молекулярной массой 17800 Да (Alvarez-Hernández et al., 1999).

Лектин-бриохелин с молекулярной массой 53800 Да был обнаружен в *Bryopsis plumosa*. Установлена его специфичность к N-ацетил-D-галактозамину и N-ацетил-D-глюкозамину (Kim et al., 2006).

Зеленые водоросли содержат свободные аминокислоты в количестве от 280 до 2060 мг на 100 г сух. м. В ульвовых водорослях было найдено 19 свободных аминокислот, из них 9 незаменимых (Arasaki, Arasaki, 1983). Особенно богаты зеленые водоросли аргинином, аспарагиновой кислотой, α-цистеиновой кислотой, пролином, серином, глутаминовой кислотой (Кизеветтер и др., 1981). В них также найдены аланин, хондрин, D-цистеиновая кислота, глицин, изолейцин, лейцин, таурин, тирозин, валин, фенилаланин, триптофан (Arasaki, Arasaki, 1983).

Переваривание белков зеленых водорослей ферментами и бактериями ЖКТ человека было изучено в последнее время в опытах как *in vitro*, так и *in vivo*. Показано, что белок зеленых водорослей переваривается человеком на 60–98% в зависимости от вида водоросли, ее возраста, жизненной формы, а также в зависимости от активности ферментов и бактерий в ЖКТ (Fleurence et al., 1999; Aguilera-Morales et al., 2005).

Углеводы

Общее содержание углеводов в слоевищах зеленых водорослей может достигать более 50% сух. м. Так, уровень углеводов у некоторых видов *Ulva* из Балтийского моря составлял 30–40% сух. м. (Haroon et al., 2000). В *Ulvaria oxysperma* из Бразилии содержание углеводов колебалось от 46 до 72% (De Padua et al., 2004). У водорослей с Гавайских островов наибольшее количество углеводов (около 40% сух. м.) было найдено в ульвовых водорослях, а наименьшее (4,5% сух. м.) – у *Codium reediae* (Mc Dermid, Stuercke, 2003).

Из растворимых низкомолекулярных углеводов (моносахара и олигосахара) в зеленых водорослях были обнаружены глюкоза, фруктоза, сахароза, рамноза, галактоза, ксилоза. Запасными полисахаридами (ЗП) зеленых водорослей являются крахмал и фруктан (Arasaki, Arasaki, 1983). Крахмал – наиболее распространенный ЗП зеленых водорослей. Он содержит амилозу и амилопектин в пропорции, близкой к крахмалу картофеля. Крахмал накапливается в хлоропластах зеленых водорослей или в виде обкладки белкового тела пиреноида, или в виде зерен, лежащих между тиллакоидами (рис. 25).

Крахмал зеленых водорослей легко переваривается и усваивается человеческим организмом. Содержание крахмала в водорослях видоспецифично и зависит от световых условий обитания. Так, талломы *U. lactuca* из Японского моря, выросшие на ярком свете (90% ФАРп), содержали более 400 мг/г сух. м. крахмала, а в затенении (10% ФАРп) – около 300 мг/г сух. м. Другой из ЗП – фруктан (полимер фруктозы) – найден только у представителей порядка Dasycladales (Arasaki, Arasaki, 1983).

Основным из структурных полисахаридов (СП) зеленых водорослей, формирующих скелетную структуру клеточной стенки, как и у высших наземных растений, является целлюлоза (β-1,4-

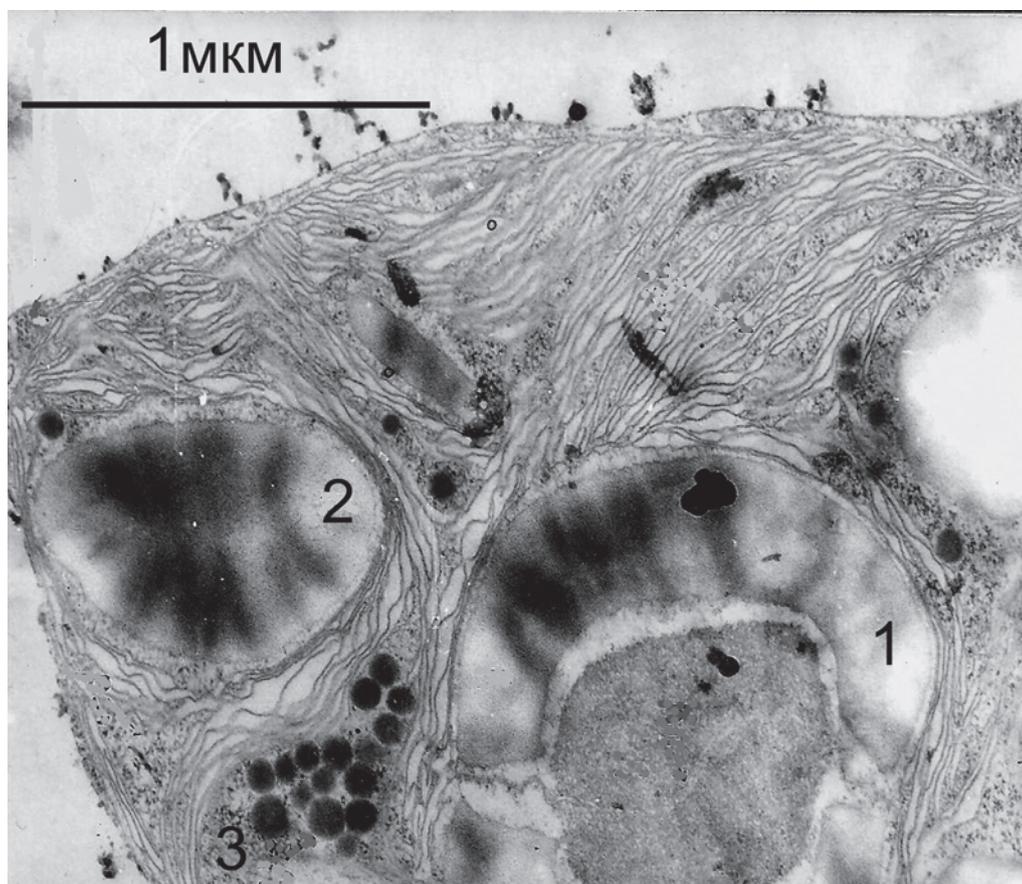


Рис. 25. Внутренняя структура хлоропласта зеленой водоросли *Ulva lactuca* [= *Ulva fenestrata*] (фото Э.А. Титлянова). 1 – крахмал обкладки пиреноида, 2 – зерно крахмала, 3 – липидные капли

глюкан), она образует длинные, тонкие, прочные волокна. Физические свойства целлюлозы зеленых водорослей близки к таковым целлюлозы высших растений. В некоторых видах водорослей из родов *Ulva* и *Ulothrix* присутствует целлюлоза, в которой кроме глюкозы встроены другие моносахара (Boney, 1966). Количеством целлюлозы определяется прочность талломов водорослей, ее содержание колеблется от 1 до 14% на сух. массу. Зеленые водоросли рода *Caulerpa* имеют добавок к целлюлозе другой СП – ксилан, а из рода *Codium* – маннан (Arasaki, Arasaki, 1983). У сифоновых зеленых водорослей *Udotea*, *Penicillus* и *Halimeda* скелет клеточных стенок построен только из ксилана (β -1,3-связанный ксилан) (Frei, Preston, 1964; DeWreede, 2006). У водорослей из рода *Bryopsis* скелет клетки состоит из ксилана и небольшого количества (во внешних частях клеточных стенок) глюкана. Ксилан образует микроволокна с более плотной, чем у целлюлозы, упаковкой и со сцеплением волокон друг с другом. Ориентация микроволокон зависит от вида водоросли и может быть от беспорядочной до идеально упорядоченной структуры (Frei, Preston, 1964). Структурные полисахариды, имеющие β -1,3- или β -1,4-связи, не перевариваются в ЖКТ человека.

Часть полисахаридов, образующих клеточную стенку, растворяются в воде. В клеточной стенке они образуют микроволокна, которые построены из полимеров, названных ульванами, так как впервые были обнаружены в ульвовых водорослях. Ульваны состоят главным образом из рамнозы, глюкуроновой кислоты, ксилозы, глюкозы, галактозы, а также сульфатных остатков и являются типичными сульфатированными полисахаридами (СПС).

Содержание ульванов в водорослях колеблется в зависимости от вида и условий выращивания, в среднем в ульвовых водорослях содержится до 25% ульванов (от сух. м.). Ульваны растворяются только в горячей воде, а на холоде образуют гель. Ульваны плохо перевариваются в

ЖКТ человека, поэтому могут быть использованы как «безкалорийный» наполнитель в пищевых добавках. В медицине ульваны используются как растительные волокна, а в косметической промышленности – как вещества, омолаживающие кожу. Не только ульваны, но и другие СПС присутствуют в клеточных стенках и межклетниках зеленых водорослей, это в основном α-L-арабинан сульфаты, рамнан сульфаты и др. Три основных группы сульфатированных гетерополисахаридов составляют клеточные стенки зеленых водорослей, это глюкуроноксилорамнаны (glucuronoxylorhamnans), глюкуроноксилорамногалактаны (glucuronoxylorhamnogalactans) и ксилоарабиногалактаны (xyloarabinogalactans). Молекулы этих СПС сильно разветвлены и не содержат в основной цепи регулярно повторяющихся единиц. Некоторые из СПС связаны ковалентно с белками и характеризуются как протеогликаны. В СПС включены такие нейтральные и кислые моносахара, как D-глюкоза, D-галактоза, D-манноза, L-галактоза, L-рамноза, L-фукоза, D-ксилоза а также D-мануриновая кислота, D-гулуриновая кислота, L-гулуриновая кислота и другие.

Водорастворимые полисахариды *Codium fragile* и *C. vermilara* представлены сульфатированными арабинанами и галактанами и (или) сульфатированными арабиногалактанами (Ciancia et al., 2007a, b). Водоросли из рода *Cladophora* содержат СПС, который на 58,3% состоит из галактозы, на 31,8% из арабинозы, на 10,6% из ксилозы, на 16,9% из сульфата и близок по строению к полисахариду из кодиума. Виды каулерпы (*Caulerpa*) содержат СПС, основными компонентами которых являются такие сахара, как галактоза, глюкоза, арабиноза и ксилоза (DeWreede, 2006). *Chaetomorpha antennina* содержит сульфатированный гетерополисахарид, состоящий из арабинозы (57,7%), галактозы (38,5%), рамнозы (3,8%) и сульфата (11,9%) (Ramana, Rao, 1991). Из *Monostroma latissimum* был выделен сульфат рамнана (Lee et al, 1998; Munding, Efferth, 2008).

Большинство СПС, найденных в зеленых водорослях, обладают биологической активностью и входят в группу веществ, называемых растительными волокнами, которых в зеленых водорослях может содержаться до 60% от сух. м. Эти структурированные волокна растительных полисахаридов широко используются в производстве биологически активных добавок (БАД) и в медицине (Ciancia et al., 2007a).

Вещества, содержащие фенольные и полифенольные компоненты

Фенольные соединения широко распространены в морских макрофитах, они участвуют в процессах роста и репродукции, а также защищают растения от патогенных организмов. Интерес к фенольным соединениям связан с их значением как антиоксидантов в предупреждении и лечении сердечно-сосудистых, раковых и других тяжелых заболеваний.

Наиболее полно изучен состав веществ, содержащих полифенольные и фенольные компоненты у зеленых водорослей *Halimeda macroloba* и *H. opuntia* с острова Ишигаки (Окинава, Япония). В этих водорослях найдены катехин, эпикатехин, эпигаллокатехин, катехин галат, эпикатехин галат, эпигаллокатехин галат, рутин, кверцитрин, гесперидин, мирицетин, морин, лютеолин, кверцетин, эпигенин, кемпферол, баикалеин, кофеиновая кислота и катехин (рис. 26,А, Б). Состав полифенольных и фенольных компонентов был различен у этих двух видов халимеды. В *H. macroloba* было найдено большое количество эпигаллокатехина. Кофеиновая кислота (рис. 26,А) и гесперидин были найдены только в *H. macroloba*. Катехина в *H. macroloba* было в 5 раз больше, а мирицитина и морина – приблизительно в 2 раза больше, чем в *H. opuntia* (Yoshie et al., 2002). Известно, что в зеленых водорослях *Caulerpa* и *Dasycladus* аккумулируются кумарины, способные абсорбировать ультрафиолетовые лучи (Kubitzki, 1987). Кумарины являются фенольными производными с характерными бензопирановыми (benzopyrone nucleus) ядрами (рис. 26,В) (Murray et al., 1982). Присутствие в кумаринах орто-дигидроксильных групп придает им антиоксидантные свойства. Был выделен и идентифицирован главный химический компонент этих веществ, придающий им антиоксидантные свойства – 3,6,7-тригидроксикумарин (ТНС) (Menzel et al., 1983). Талломы зеленой средиземноморской макроводоросли *Dasycladus vermicularis* содержали около 20 мг/г¹ сыр. м. 3,6,7-тригидроксикумарина (Pérez-Rodríguez et al., 2001), который был равномерно

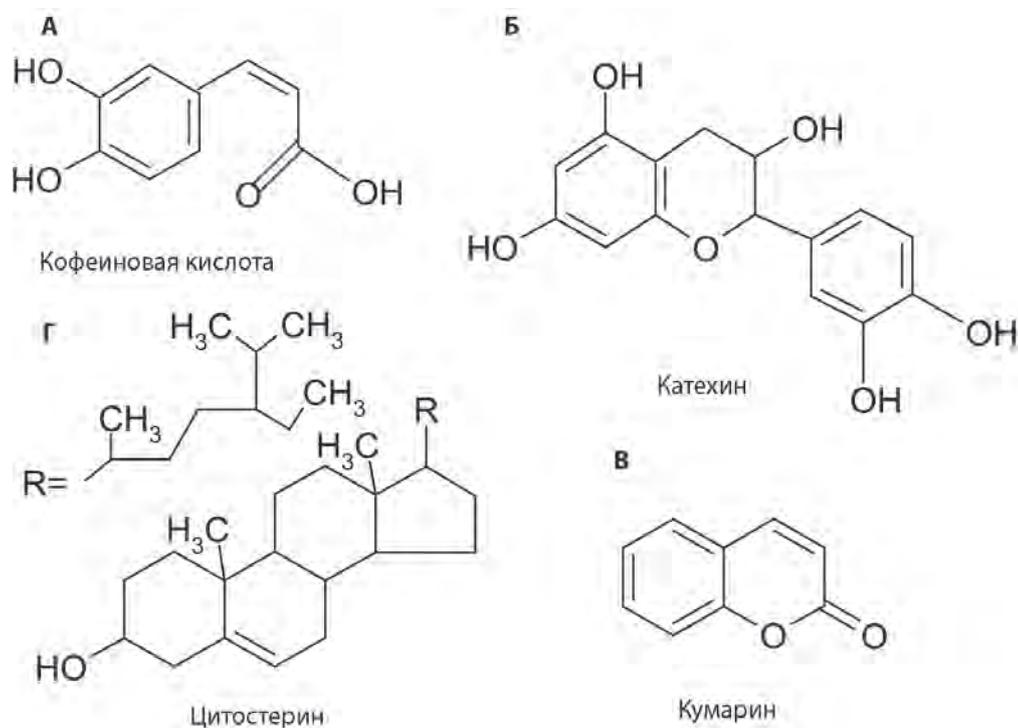


Рис. 26. Полезные вещества зеленых водорослей

распределен в клеточных стенках и вокруг мембран вакуолей. Сезонные изменения в содержании бромфенолов и бромпероксидазной активности были изучены в зеленой морской водоросли *Ulva lactuca*. Результаты показали, что бромпероксидазная активность была высокой в летний сезон и низкой – в зимний (Flodin et al., 1999).

Жиры

Зеленые водоросли бедны жирами, их содержание составляет от <1 до 7% сух. м., или от 1,6 до 36,2 мг/г сыр. м. слоевищ (Кизеветтер и др., 1981; Хотимченко, 2003; Nelson et al., 2002). *Ulvaria oxysperma* из Бразилии содержала от 0,5 до 3,3% жиров (De Padua et al., 2004). В *Ulva* spp. из Балтийского моря жиров было отмечено от 3,5 до 4,4% сух. м. (Haroon et al., 2000). В зеленых водорослях Гавайских островов жиры составляли от 3,6 до 7,2% сух. м. (см. табл. 2).

Основными липидами у ульвовых являются полярные липиды (44–94% от общего содержания жиров) и стерин (3–8%). Они содержат в основном 16:0, а также 18:2n–6, 18:3n–3, 18:4n–3 и 18:1n–7 ЖК, а также некоторое количество C₂₂ полиненасыщенных ЖК (Nelson et al., 2002).

С.В. Хотимченко (2003) показала, что у зеленых водорослей из рода *Codium* (Японское море) главными ЖК были 16:0, 18:1n–9, 18:2n–6, 18:3n–3 и 16:3n–3, которые вместе составляли 65% от всех ЖК. Виды *Codium* отличались от других представителей порядка Bryopsidales высоким содержанием 18:1n–9 кислоты. В представителях рода *Halimeda* были найдены ненасыщенные ЖК, содержащие 24, 25 и 26 атомов углерода. Жиры *Aegagropila linnaei* [= *Cladophora sauteri*] на 76% состоят из ненасыщенных и на 24% из насыщенных жирных кислот. Зеленые водоросли близки по составу ЖК с наземными растениями, однако по содержанию отдельных кислот они могут сильно отличаться от последних. Так, водоросли значительно больше, чем наземные растения, содержат олеиновой и α-линоленовой кислот. В зеленых водорослях, также как в красных и бурых, пальмитиновая кислота является одной из основных по содержанию и составляет от 15,0 до 41,4% суммы ЖК. Из других насыщенных кислот в представителях этого отдела всегда присутствуют

миристиновая и стеариновая ЖК. Зеленые водоросли способны синтезировать и накапливать в существенных количествах полиненасыщенные ЖК с 16 атомами углерода, главным образом гексадекатриеновую и гексадекатетраеновую ЖК. Одной из особенностей состава ЖК зеленых водорослей является высокое содержание полиненасыщенных ЖК с 18 атомами углерода: линоленовой, α -линоленовой и октадекатетраеновой, которые в сумме могут составлять от 20 до 55% ЖК. Зеленые водоросли способны синтезировать полиненасыщенные ЖК с 20 атомами углерода, но содержание их значительно ниже, чем в бурых и красных водорослях (Хотимченко, 2003).

Содержание липидов и отдельных ЖК в водорослях значительно варьирует в течение года и зависит от внешних условий (Li et al., 2002; Nelson et al., 2002). Так, наибольшее количество жиров у водорослей северо-восточной Пацифики накапливается в зимне-весеннее время. Однако каких-либо общих закономерностей влияния внешних и внутренних факторов на количество и соотношения липидов и ЖК у зеленых водорослей установить не удалось (Kulikova, Khotimchenko, 2000; Хотимченко, 2003). Из-за незначительного содержания жиров в водорослях они не имеют особой пищевой ценности. В то же время ценность для здоровья человека представляют находящиеся в них полиненасыщенные ЖК.

Стерины

Представители отдела Chlorophyta содержат такие стерины, как цитостерин (рис. 26,Г), хондрилластерин, пориферастерин, 28-изофукостерин, эргостерин, холестерин и др. (Arasaki, Arasaki, 1983). Основными стеринами в экстракте зеленой водоросли *Ulva lactuca* из Адриатического моря были холестерин (34%) и изофукостерин (26%), в меньших количествах – стигмастерины (stigmast-5-en-3 β -ol, stigmasta, 5, 22-dien-3 β -ol), а также 22-дегидрохолестерин, эргоста-5(22)-диен-3 β -ол (ergosta-5(22)-dien-3 β -ol) и эргост-5-ен-3 β -ол (ergost-5-en-3 β -ol) (Капетановић et al., 2005). По данным других исследователей, изофукостерин был основным стеринном *U. lactuca* (Siddhanta et al., 1997). *Codium dichotomum* из Адриатики содержал в основном клеростерин, который составлял 93,5% от суммы всех стеринов. Этот стерин характерен и для других видов рода *Codium*. Иногда в представителях этого рода в значительных количествах присутствовал эргоста-5,25-диен-3 β -ол (ergosta-5,25-dien-3 β -ol) (Капетановић et al., 2005).

Пигменты

Зеленые водоросли содержат тот же основной набор пигментов, что и высшие растения: хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды: β -каротин, лютеин, виолаксантин, зеаксантин, сифонаксантин (только в порядке Siphonales) и др. От бурых и красных водорослей зеленые отличаются наличием хлорофилла *b* и значительно большим общим содержанием хлорофиллов. Так же как представители других отделов, зеленые водоросли накапливают пигменты при затенении. Так, у *Ulva lactuca* [= *Ulva fenestrata*] из Японского моря, растущей при освещенности от 1 до 90% ФАРп, содержание пигментов составляло соответственно: хлорофилла *a* – 160 и 1230, хлорофилла *b* – 100 и 750, β -каротина – 9 и 73, лютеина+зеаксантина – 24 и 48, энтероксантина – 6 и 10, виолаксантина – 8 и 47 и неоксантина – 7 и 50 мкг/г сыр. м. (Титлянов, 1983). Высокие концентрации хлорофиллов, каротина и ксантофиллов в водорослях, выросших в тени, делают их особо ценными при приготовлении из них салатов, а также биологически активных добавок к пище.

Витамины

Зеленые водоросли по сравнению с другими макроводорослями менее богаты витаминами, например, провитамина А (β -каротина) они содержат в среднем около 1,8 мг в 100 г сух. м. (мг%) (Суховеева, Подкорытова, 2006), это в сотни раз меньше, чем в красной водоросли порфире

(Arasaki, Arasaki, 1983) В то же время зеленые водоросли содержат витаминов в 100 раз больше, чем яблоки, и в 5 раз больше, чем шпинат (Arasaki, Arasaki, 1983). Не очень богаты зеленые водоросли (по сравнению с другими) и витамином B_1 (тиамин) (0,09–2,5 мг%). В среднем в зеленых водорослях его содержится в 10 раз меньше, чем, например, в порфире, но в 10 раз больше, чем в томатах, яблоках и капусте. Витамин B_2 (рибофлавин) в зеленых водорослях содержится столько же, сколько в шпинате и ламинарии (0,2–0,6 мг%), в 2 раза меньше, чем в порфире, но в 10 раз больше, чем в яблоках, томатах и капусте. Витамин B_3 (никотиновая кислота) содержится столько же, сколько в ламинарии и шпинате (0,75 мг%), в 2 раза меньше, чем в порфире и в несколько раз больше, чем в яблоках, томатах и капусте. Витамин C (аскорбиновая кислота) столько же, сколько в ламинарии, в 2 раза меньше, чем в порфире и в томатах, в 10 раз меньше, чем в шпинате, но в 2 раза больше, чем в яблоках. Витамин B_{12} (кобаламин) в ульвовых водорослях содержится до 1,4 мг%, что в 2–3 раза меньше, чем в порфире, и в 10 раз больше, чем в ламинарии. Витамин B_9 (фолиевая кислота) содержится в зеленых водорослях от 0,01 до 0,015 мг%, что в 2–3 раза больше, чем в порфире, столько же, сколько в бурых водорослях, в 2 раза меньше, чем в капусте, и в 5 раз меньше, чем в шпинате (Arasaki, Arasaki, 1983). Кроме того, в водорослях содержатся витамин D – около 0,9 мг%; B_5 (пантотеновая кислота) – 0,20–0,25 мг%; витамин E (токоферол) – 0,1–0,18 мг%, витамин B_6 (адермин) – 0,03 мг%, витамин H (биотин) – 0,01 мг%, холин – 6,0 мг%, Bh (инозитол) – 1,0–2,5 мг%, липоевая кислота – 0,017 мг% (Arasaki, Arasaki, 1983; Суховеева, Подкорытова, 2006).

Минеральные вещества

Зеленые водоросли, как и все другие морские растения, богаты минеральными веществами. И хотя водоросли содержат практически все минералы, необходимые человеку, они особенно богаты кальцием, железом и йодом.

Кальция в усвояемой человеком форме зеленые водоросли содержат от 400 до 600 мг%, что в несколько десятков раз больше, чем в капусте, яйцах и шпинате, а также в 5 раз больше, чем в соевых бобах и в сушеной рыбе.

Железа в зеленых водорослях содержится в несколько раз больше, чем в других группах водорослей – от 80 до 100 мг%, это в 10 раз больше, чем в сардинах и семенах кунжута, и в 50 раз больше, чем в овощах (Arasaki, Arasaki, 1983).

Китайцы и японцы восполняют йодный дефицит пищевыми продуктами, в основном за счет употребления в пищу водорослей. В зеленых водорослях йода накапливается в десятки раз больше, чем в мясе морских животных, и в тысячи раз больше, чем в тканях наземных растений. По данным И.В. Кизеветтера с соавторами (1981), содержание (% от сух. м.) некоторых минеральных элементов в водорослях Российского Дальнего Востока следующее: натрия – 0,9–3,6%, калия – 0,3–1,7%, магния – 1,4–3,1%, кремния – 0,1–0,3%, алюминия – 0,02–0,15%, фосфора – 0,10–0,13%, серы – 1,7–4,0%. Содержание минеральных элементов в зеленых водорослях непостоянно и зависит от вида, сезона года и условий обитания. Микроэлементный состав зеленых водорослей Дальнего Востока России также не постоянен: марганца было обнаружено от 6 до 8 мг%, меди – от 3 до 180 мг%, никеля – 60 мг%, цинка – 60 мг%, кобальта, рубидия и цезия – следы (Кизеветтер и др., 1981). Водоросли накапливают не только полезные минеральные вещества, но и чрезвычайно вредные, например, ртуть, кадмий, мышьяк, свинец, а также радиоактивные элементы, например, цезий-137, радий-226 и др. (Van Netten et al., 2000).

Вещества, придающие запах и вкус блюдам из зеленых водорослей

Свежие водоросли не имеют какого-либо сильного специфического запаха, так как не выделяют летучих веществ. Приготовленные водоросли имеют и запах, и пикантный вкус, который приобретают при измельчении и обработке теплой или горячей водой. Основными компонента-

ми аромата и вкуса водорослей являются свободный йод, а также соединения, содержащие серу, такие как диметилсульфид и триметиламин.

Диметилсульфид – это летучее соединение с горьким вкусом и сильным запахом (запах сушеной ульвы). В свежих водорослях диметилсульфид присутствует в виде диметилпропиотетина, который под действием ферментов (во время приготовления) превращается в диметилсульфид. Наибольшее содержание диметилпропиотетина отмечено у представителей родов *Ulva* и *Monostroma*.

Триметиламин в больших количествах находится в несвежей рыбе и является главным источником ее плохого запаха, однако, находясь в небольших количествах в водорослях, он придает им прекрасный аромат. Больше всего триметиламина содержится в тонких талломах водорослей из рода *Ulva*. В сухих талломах водорослей запах слабый, но он усиливается при обработке теплой водой, при этом оксид триметиламида восстанавливается до триметиламина. Особый характерный вкус блюдам из водорослей придают органические кислоты, ненасыщенные ЖК и глутаминовая кислота. Участвуют в создании вкуса и другие аминокислоты. Глицин и аланин придают блюдам сладость, а лейцин, изолейцин и валин – слегка горьковатый вкус. Аминокислота таурин, отличающаяся от обычных аминокислот содержанием сульфониальной группы ($-SO_3H$) вместо гидроксильной группы, придает водорослям кислый вкус. Метильное производное таурина (N-метилтаурин) имеет сладкий вкус. Продукты гидролиза белков зеленых водорослей имеют слегка горьковатый вкус. Пептид бетаин придает водорослям вкус овощей. Летучие альдегиды, такие как фурфурал, валеральдегид и бензальдегид, придают водорослям приятный аромат. Терпены, присутствующие в водорослях, также придают запах и вкус блюдам из зеленых водорослей (Arasaki, Arasaki, 1983).

2.2. МОРСКИЕ ТРАВЫ (*Magnoliophyta*)

Химический состав морских трав близок к таковому наземных высших растений. Например, морские травы Японского моря (*Zostera asiatica*, *Z. japonica*, *Z. nana*, *Phyllospadix iwatensis*) на 75–81% состоят из воды, содержание сухих веществ колеблется от 19 до 25%. Органических веществ в этих травах содержится от 77 до 85%, минеральных – от 14 до 23%, белка – от 6 до 12%, растворимых углеводов – от 10 до 21%, клетчатки – от 14 до 21% сух. м. (Суховеева, Подкорытова, 2006). Морские травы отличаются от водорослей большим содержанием сухого вещества (в среднем на 20%), меньшим содержанием минеральных веществ (в среднем на 30%) и большим (примерно в 2 раза) содержанием клетчатки, а также значительно меньшим содержанием жиров и йода. В морских травах дальневосточных морей России общее содержание органических веществ изменяется от 77,0% весной до 85,3% сух. м. осенью (Подкорытова и др., 1994). Химический состав листьев морской травы *Symodocea nodosa* с побережья Фарборза (Северная Адриатика) был следующим: белки составляли 10–16%, жиры – 1,7–3,1%, фосфор – 0,3–0,8%, азот – 1,6–2,6%. Корни содержали белков – 5–17%, жиров – 0,9–3,2%, фосфора – 0,1–0,6% и азота – 0,9–2,8% сух. м. (Zavadnik et al., 1998).

Основным запасным углеводом в травах является сахароза (90% от общих растворимых углеводов) (Touchette, Burkholder, 2000). Целлюлоза из морских трав близка по химической структуре к целлюлозе наземных высших растений. Так, целлюлоза филлоспадикса состоит из тонких, длинных (6–20 мм), шелковистых и прочных волокон. Целлюлоза зостеры состоит из более толстых и коротких (4–5 мм) волокон. Травы редко употребляются в пищу, в основном из-за их жесткости, обусловленной большим содержанием клетчатки, однако они могут быть использованы как пищевые добавки, содержащие растительные волокна. В промышленности, в медицине и в сельском хозяйстве находят применение преимущественно вещества клеточных стенок морских трав, из которых наиболее ценны целлюлоза и пектины или пектиноподобные вещества.

Пектины

По химической природе пектин относится к кислым гетерополисахаридам, полимерная цепь которых состоит из остатков D-галактуроновой кислоты или ее метиловых эфиров, имеющих пиранозную форму и соединенных альфа-(1–4)-гликозидной связью. Пектины используют главным образом в кулинарии как желирующие вещества при приготовлении джемов и других кондитерских изделий, как наполнители при изготовлении конфет, как стабилизаторы фруктовых соков и молочных напитков, а также в диетическом питании.

Наиболее изученным пектином морских трав является зостерин, найденный у представителей семейства Zosteraceae. Ю.С. Оводов (Ovodov, 1975) установил структуру молекулы зостерина, состоящую из следующих главных фрагментов: галактуронан, апиогалактуронан и гетерогликаногалактуронан, которые связаны галактуроновой кислотой или остатками рамнозы. Фрагмент апиогалактуронана отличается устойчивостью к действию пектолитических ферментов и, возможно, защищает растение от фитопатогенных организмов, он также устойчив к природному процессу разложения и гниения. В кислых растворах зостерин показывает гелеформирующие свойства и, возможно, поддерживает водный и водно-солевой режим у растений семейства Zosteraceae.

Получаемая из зостерина натриевая соль названа зостератом. При создании слабокислой среды раствор зостерата натрия образует гель, используемый в пищевой промышленности, особенно в кондитерской. Прочность гелей 2%-ных растворов зостератов натрия, полученных из морских трав, не зависит от срока добычи зостеры, а также от ее вида. Физико-химические свойства зостератов близки к таковым солей альгиновых кислот, получаемых из бурых водорослей (Мирошников, 1940; цит. по: Суховеева, Подкорытова, 2006). Выход зостерина из морских трав изменяется в достаточно широком интервале и зависит от времени сбора травы, а также от содержания полисахарида в исходном материале, которое составляет 11,2–14,3% от сух. м. *Z. marina*, 12,1–16,3% – *Z. asiatica*, 11,3% – *Z. japonica* и 11,7% – *Phyllospadix iwatensis*. Наибольший выход зостерина (15–16%) получают в июле-августе (Суховеева, Подкорытова, 2006).

Низкомолекулярные фракции зостерина способны всасываться из ЖКТ человека в кровь и связывать непосредственно в крови вредные вещества, которые вместе с зостерином выводятся из организма с мочой и потом. Высокомолекулярные фракции зостерина, не перевариваясь в ЖКТ и обладая хемосорбцией, являются антиоксидантами, поглощая вредные вещества (свободные радикалы, металлы и др.) и выводя их из организма (Lee et al., 2007).

Зостерин является основой БАДов, приготовленных из морских водорослей и трав. Так, из трав рода *Zostera* в России получают зостерин-ультра (Тихоокеанский институт биоорганической химии, ТИБОХ). В природном зостерине всего 8% низкомолекулярных фракций, а в БАДе зостерин-ультра – не меньше 30%, поэтому он перспективен в очистке крови от тяжелых металлов и применяется, например, при интоксикации свинцом на свинцово-цинковых комбинатах или при интоксикации радиоактивными элементами. Зостерин чистит не только кровь, но и ЖКТ от токсинов, имея свойства растворимых пищевых волокон, поэтому его применяют при токсикозах или после инфекционных заболеваний с профилактическими целями. В России выпускают и другие БАДы, содержащие зостерин, например «Полисорбитол-95» (компания «Востокфарм»), содержащий частично зостерин и частично пектины высших наземных растений.

Морские травы содержат большое количество целлюлозы, и некоторые БАДы готовят с включением целлюлозы как источника нерастворимых пищевых волокон. Целлюлоза из морских трав способствует очищению кишечника и лучшему пищеварению.

2.3. СИНЕЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ (Cyanobacteria)

Морские синезеленые водоросли, обрастающие естественные и искусственные субстраты, образуют на них колонии в виде псевдоталломов, пленок, корок и матов. Эти колонии (чаще мо-

нодоминантные сообщества) полезны для человека в различных отраслях его деятельности: могут быть использованы в питании человека и домашних животных (некоторые виды *Anabaena* и *Nostoc* употребляются в пищу в Чили, Мексике, Перу и на Филиппинах), как топливо, как источник витаминов, токсинов, ферментов и других биологически активных веществ. Синезеленые морские водоросли, фиксирующие азот, например *Leptolyngbya valderiana* [= *Phormidium valderianum*], используются как корм для рыб и беспозвоночных в хозяйствах марикультуры. Некоторые виды бактерий культивируются и используются для получения естественных пищевых красителей фикоцианина и аллофикоцианина.

Цианобактерии, как пресноводные, так и морские формы, являются богатейшим источником биологически активных веществ, имеющих широкое применение в медицине. Так, из синезеленых водорослей выделяют ферменты, которые затем используются в биохимических исследованиях и в медицине. К ним относятся β -лактамаза (β -lactamase), протеаза и липаза. Некоторые, как обычные, так и высокоспецифичные эндонуклеазы, получают из водорослей рода *Anabaena* и *Nostoc*. Такие водоросли, как *Spirullina platensis* и *Arthrospira* sp., богаты линоленовой кислотой, которая в организме человека легко превращается в арахидоновую кислоту, последняя – в простагландины.

Синезеленые водоросли накапливают продукты своего метаболизма в культуральной среде. Эти метаболиты проявляют биологическую активность и используются или могут быть использованы в медицинских целях (Burja et al., 2001):

Циановирин-N – содержит в своей молекуле 101 аминокислоту, имея молекулярную массу 11 кДа. Он был открыт в культуральной среде цианобактерии *Nostoc ellipsosporum*. Циановирин-N лидирует в списке нового класса лекарств против вируса иммунодефицита человека.

Борофицин – борсодержащий метаболит, выделенный из морских синезеленых водорослей *Nostoc linckia* и *N. spongiaeforme*. Он проявляет цитотоксичность к человеческой эпидермальной карциноме и человеческой колоректальной аденокарциноме, а также имеет антимикробную активность.

Криптофицин впервые был выделен из *Nostoc* sp. Этот яд проявляет цитотоксичность против опухолевых клеток.

Липопептиды. Природные продукты многих морских синезеленых водорослей содержат пептиды, связанные с ЖК, названные липопептидами. Анализ 424 продуктов, выделенных из синезеленых водорослей, показал, что 40% из них являются липопротеидами, которые проявляют цитотоксическую, противораковую, противовирусную и противогрибковую активность.

Цианобактерии продуцируют токсины, очень опасные для человека, а также для наземных и морских животных (Burja et al., 2001).

Гепатотоксины – это циклические пептиды микроцистин и нодуларин, наиболее часто встречающиеся среди морских синезеленых водорослей, которые разрушают клетки печени человека и животных. Более 50 видов различных микроцистинов было выделено из синезеленых водорослей родов *Anabaena*, *Haplasiphon*, *Microcystis*, *Nostoc* и *Oscillatoria*.

Сакситоксины являются нейротоксическими алкалоидами, которые известны как яды, парализующие моллюсков. Цианобактерии экскретируют сакситоксины в воду. Это полярные компоненты, растворимые в воде и спиртах, но нерастворимые в органических растворителях, устойчивы к кислым средам и к высокой температуре.

Анатоксины. Анатоксин-а и гомоанатоксин-а являются вторичными аминами. Они проявляют свойства постсинаптических деполаризующих нейромышечных блокирующих агентов.

Нейротоксины синезеленых водорослей блокируют нейротрансмиссию, а гепатотоксины являются ингибиторами серин/треонинспецифичных ферментов протеинфосфатаз. Цианобактерии также известны как продуценты противораковых, противовирусных и противогрибковых компонентов.

Ингибиторы протеазы. Пять классов протеазных ингибиторов было зарегистрировано в токсичных цианобактериях: микропептины, эругенозины, микрогинины, анабенопептины и микро-

веридины. Некоторые цианопептолины являются специфичными ингибиторами серин протеаз, включая эластазу, они используются при лечении такой болезни, как легочная эмфизема.

Сциптолины. Эти циклические дезипептиды с эластазной ингибиторной активностью выделены из цианобактерии *Scytonema hofman-bangii* [= *Scytonema hofmanii*]. Они существенно ингибируют свиную панкреатическую эластазу *in vitro*. *Lyngbya majuscula* – бентосная нитчатая морская синезеленая водоросль коралловых рифов оказывает токсический эффект на кожу, глаза и легкие (дыхание) человека (Osborne et al., 2001) из-за нахождения в ней таких токсинов, как лингбиатоксин-А и дебромоаплайзиотоксин. Токсины *L. majuscula*, выделяясь в воду, могут отрицательно воздействовать на экосистему коралловых рифов, угнетая рост склерактиниевых кораллов (Titlyanov et al., 2005, 2007). Показано, что основной липидный компонент цианобактерии *L. majuscula* – курацин-А – является потенциальным ингибитором митоза и клеточного роста (Verdier-Pinard et al., 1998). Курацин-А был токсичен для креветок, проявляя антипролиферативную активность (Gerwick et al., 1994). Из пресноводной *Lyngbya* sp. был выделен пахайокоolid-А – циклический полипептид-поликетид, который ингибировал рост раковых клеток. Эти цианобактерии синтезируют цитотоксичные компоненты, такие как антилатоксин, эплайзиотоксин, дибромозэплайзиотоксин и лингбиатоксин А, В, С. Барбамид из *L. majuscula* известен как моллюскицидал, имеет комплексную структуру, включающую кольцо тиазола и трихлорометильную группу (Berry et al., 2004).



Нгуен Суан Хоа. Сбор материала, март 2006 г.



Фам Ван Хуэн проверяет качество каппафукуса, выращенного на плантациях в зал. Шон Хай, март 2006г.



Проф. Нгуен Хью Зинь за работой. Вьетнам, январь 2002 г.



Водитель Бинь – активный помощник в сборе материала. Вьетнам, апрель 2009 г.

ГЛАВА 3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРСКИХ РАСТЕНИЙ

Водоросли традиционно используются в пищу у народов, живущих на побережье как южных, так и северных стран, и особенно стран Азиатско-Тихоокеанского региона. Если раньше водоросли для еды собирали только из естественных зарослей, то сейчас их выращивают на подводных плантациях. Собранные или выращенные водоросли поступают на рынок в свежем, сушеном и соленом виде, а также в специально обработанном виде, как, например, прессованные тонкие пластины из порфиры, моностромы или ульвы. В странах АТР на рынках часто продают готовые блюда и напитки из водорослей. Водоросли называют «овощами из моря» (Arasaki, Arasaki, 1983), что очень правильно отражает их значение в питании человека.

В последние годы широкое применение находят биологически активные пищевые добавки (БАД), содержащие водоросли или экстракты из них. БАДы применяют для улучшения пищеварения, для повышения иммунитета, как добавку к пище, содержащую необходимые микроэлементы и антиоксиданты.

Морские растения традиционно применяются в народной медицине азиатских стран для лечения и профилактики многих заболеваний. В последнее время в западных странах водоросли все чаще используются в медицине как для наружного, так и для внутреннего применения. Препараты из морских растений используются как косметические средства, улучшающие состояние кожи, а также защищающие ее от внешних воздействий. Разрабатываются препараты для профилактики раковых заболеваний, предотвращения и лечения вирусных и бактериальных инфекций, укрепления иммунитета. Гели из водорослей совершенно незаменимы при лечении желудочно-кишечных заболеваний. Трудно представить выведение из организма человека тяжелых металлов, в том числе радиоактивных, без применения препаратов из бурых водорослей, содержащих альгинаты.

Следующая, не менее важная, область применения водорослей – это получение из них фикоколлоидов (полисахаридов), образующих при соединении с водой гели различной плотности. Эти полисахариды широко используются в различных областях производства, от пищевой промышленности до машиностроения.

Морские растения находят широкое применение в сельском хозяйстве и в марикультуре. Прежде всего они являются превосходным органическим удобрением, содержащим большое количество азота, фосфора, калия и микроэлементов. Из водорослей готовят настои и экстракты, содержащие растительные гормоны, способствующие быстрому прорастанию семян и росту растений. В некоторых прибрежных странах водоросли добавляют в корм скоту.

В последнее время макрофиты нашли широкое применение в марикультуре, где они используются как корм для рыб и беспозвоночных животных. Так, широко культивируемый в Австралии, Новой Зеландии, Мексике, Китае и других странах моллюск морское ушко, или абалоне (*abalone*), питается разными видами водорослей на разных стадиях своего развития.

В поликультуре с беспозвоночными и рыбами водоросли и морские травы применяются для очистки воды от органических и неорганических веществ, загрязняющих воду, а также служат кормом и убежищем для культивируемых животных. Применяются водоросли и для очистки вод, загрязненных стоками больших городов, органическими веществами и тяжелыми металлами.

В представленной ниже таблице приведены данные о характере использования, способах добычи, методах культивирования, импорте и экспорте 360 полезных видов морских растений (из 134 родов) в 60 странах мира.

ТАБЛИЦА 3. Использование морских растений в странах мира

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
Зеленые водоросли (CHLOROPHYTA)				
<i>Acetabularia</i> spp.	+	–	М: народная медицина	Филиппины
<i>A. major</i>	+	–	М: лечение туберкулеза, слабительное	Индонезия
	+	–	М: лечение почечных болезней	Филиппины
<i>Avrainvillea longicaulis</i>	+	–	М: антиоксидант	Мексика
<i>Bryopsis cupressoides</i>	+	–	К: диетическое питание	Израиль
<i>Caprosiphon</i> spp.	+	+	К: салаты, гарниры	Корея
<i>C. fulvescens</i>	+	+	К: суп с устрицами	Корея
<i>Caulerpa</i> spp.	+	–	К: салаты	Индонезия
	+	–	К: салаты	Малайзия
	+	+	К: салаты; М: понижающее артериальное давление, лечение нервных заболеваний	Филиппины
	+	–	К: салаты; М: народная медицина	Острова Южной Пацифики
<i>C. brachypus</i>	+	–	К; М: противогрибковое, понижающее артериальное давление	Филиппины
<i>C. cupressoides</i>	+	–	М: антибактериальное	Индия
	+	–	К; М: противогрибковое, понижающее артериальное давление	Филиппины
<i>C. lentillifera</i>	+	+	К: салаты	Япония (Окинава)
	+	+	К: салаты; М: источник минералов, противогрибковое, понижающее артериальное давление	Филиппины
<i>C. macrophysa</i>	+	–	К: салаты	Филиппины
<i>C. peltata</i>	+	–	К: салаты; М: противогрибковое, понижающее артериальное давление	Филиппины
<i>C. racemosa</i>	+	–	К: салаты, гарниры	Бангладеш
	+	–	М: антибактериальное	Индия
	+	–	К: салаты, гарниры	Индонезия
	+	–	К: салаты	Япония (Окинава)
	+	–	К: салаты; М: противогрибковое, источник витаминов, понижающее артериальное давление	Филиппины
	+	–	К: салаты	Таиланд
	+	–	К: готовят с овощами, гарниры	Вьетнам
<i>C. racemosa</i> var. <i>corynephora</i> [= <i>C. corynephora</i>]	+	–	К: салаты	Таиланд
<i>C. serrulata</i>	+	–	К; М: противогрибковое, понижающее артериальное давление	Филиппины
<i>C. sertularioides</i>	+	–	К: салаты, гарниры	Бангладеш
	+	–	К: салаты; М: противогрибковое, понижающее артериальное давление	Филиппины
<i>C. taxifolia</i>	+	–	К: салаты; М: противогрибковое, понижающее артериальное давление	Филиппины

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>Chaetomorpha</i> spp.	+	-	СХ: удобрение, компост	Италия
	+	-	СХ: удобрение	Португалия
<i>C. linum</i> [= <i>C. crassa</i>]	+	-	Для ловли рыбы (наживка)	Кения
	+	-	К: салаты, гарниры	Филиппины
<i>Cladophora</i> spp.	+	-	М: антибактериальное, антимикробное, противогрибковое	Филиппины
<i>Codium</i> spp.	+	-	М: народная медицина	Аргентина
	+	+	К: салаты, рассолы	Япония
	+	+	К: салаты, гарниры	Корея
	+	-	К; М: антимикробное, противогрибковое, противоопухолевое	Филиппины
	+	-	СХ: удобрения	Португалия
	+	-	К: салаты, гарниры	Острова Южной Пацифики
	+	-	К: салаты, гарниры	США (Гавайи)
	+	-	М: антигельминтное	Вьетнам
	+	-	К; М: противогрибковое, противораковое	Филиппины
<i>C. arabicum</i>	+	-	К; М: противогрибковое, противораковое	Филиппины
<i>C. bartlettii</i>	+	-	К: салаты; М: противогрибковое, противораковое	Филиппины
<i>C. edule</i>	+	-	К: салаты; М: противогрибковое, противораковое	Филиппины
<i>C. fragile</i>	+	+	К: салаты, гарниры; М: антивирусное, антигельминтное	Корея
<i>C. intricatum</i>	+	-	К: салаты	Филиппины
<i>C. taylorii</i>	+	-	К: салаты, гарниры	Израиль
<i>C. tenue</i>	+	-	К: салаты, овощной суп; М: антигельминтное	Индонезия
<i>C. tomentosum</i>	+	-	К: салаты, овощной суп; М: антигельминтное	Индонезия
<i>Dictyosphaeria cavernosa</i>	+	-	М: антибактериальное, антимикробное, противогрибковое	Филиппины
	+	-	Для ловли рыбы (как наживка)	Кения
<i>Halimeda</i> spp.	+	-	М: антимикробное, противогрибковое	Филиппины
<i>H. discoidea</i>	+	-	К: салаты, гарниры	Бангладеш
	+	-	М: антибактериальное	Филиппины
<i>H. macroloba</i>	+	-	СХ: регуляторы роста; М: антибактериальное	Филиппины
<i>Monostroma</i> spp.	+	+	К: салаты, супы; М: народная медицина	Корея
<i>M. grevillei</i>	+	+	К: приправы; М: способствующее долголетию	Корея
<i>M. nitidum</i>	+	+	К: супы, салаты	Китай
	+	+	К: мисо-суп, нори-джем	Япония
	+	+	К: салаты	Корея
	+	-	К; М: антимикробное, противогрибковое	Филиппины
<i>Ulva</i> spp. [= <i>Enteromorpha</i> spp.]	+	-	К: салаты, гарниры	Аргентина
	+	-	К: наживка для ловли рыбы	Австралия
	+	-	К: салаты, гарниры	Бангладеш
	+	-	М: косметика	Бразилия
	+	-	К: добавляют в различные блюда	Китай
	+	-	СХ: удобрение; М: лечение зоба, кашля	Гавайи
	+	-	К: салаты, гарниры	Индия
	+	+	СХ: удобрение (компост)	Италия

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>Ulva</i> spp. [= <i>Enteromorpha</i> spp.]	+	+	К: салаты, гарниры; М: противораковое	Япония
	+	-	К: салаты, гарниры	Кения
	+	-	СХ: удобрение	Корея
	+	-	К: салаты, гарниры	Малайзия
	+	-	К: салаты	Мьянма
	+	-	К: салаты, гарниры; М: источник микроэлементов	Филиппины
	+	-	СХ: удобрение	Португалия
	+	-	К: салаты, гарниры	США
<i>U. australis</i>	+	-	КЖ: пища для половозрелого морского ушка	Австралия
<i>U. clathrata</i> [= <i>Enteromorpha clathrata</i>]	-	+	К; КЖ	Бразилия
	+	-	К: салаты, гарниры; М	Япония (Рюкю)
	+	-	К: приправа к мясным блюдам	Корея
	+	-	К; КЖ; М: антибактериальное; СХ: удобрения	Филиппины
<i>U. compressa</i> [= <i>E. compressa</i>]	+	-	К: салаты, овощные супы; М: лечение зоба, кашля, бронхита, астмы, жаропонижающее	Индонезия
	+	-	К: салаты	Япония (Рюкю)
	+	+	К: приправы	Корея
	+	-	К; М: понижающее артериальное давление и содержание холестерина	Филиппины
	+	+	КЖ: корм для рыб (<i>Tilapia</i>)	Израиль
<i>Ulva fasciata</i>	+	-	К; М: антибактериальное, противогрибковое	Гавайи
	+	+	К; М: антибактериальное, противогрибковое	Индия
	+	+	К; М: антибактериальное, противогрибковое	Япония
	+	-	М: противогрибковое	Филиппины
<i>U. flexuosa</i> [= <i>E. flexuosa</i>]	+	+	К; М: противогрибковое	Индия
<i>U. intestinalis</i> [= <i>E. intestinalis</i>]	+	-	К: салаты, овощные супы; М: лечение зоба	Индонезия
	+	+	К: салаты	Япония (Окинава)
	+	-	К: салаты	Корея
	+	-	КЖ: корм для рыб; К; М: источник витаминов	Филиппины
<i>U. lactuca</i>	+	-	М: антибактериальное	Индия
	+	-	К: салаты, овощные супы; М: жаропонижающее, лечение мочеполовых органов, водянки, насморка, ожогов	Индонезия
	+	+	КЖ: корм для рыб (<i>Tilapia</i>)	Израиль
	+	-	К; М: антигельминтное	Филиппины
	+	+	КЖ: пища для половозрелого абалоне	Южная Африка
	+	-	К: готовят с овощами; М: народная медицина	Вьетнам
	+	-	М: народная медицина	Китай
<i>U. linza</i> [= <i>E. linza</i>]	+	-	К: для приготовления пряностей	Китай
	+	+	М: противовирусное	Корея
	+	-	К: салаты, гарниры	Япония
<i>U. pertusa</i>	+	+	К: салаты, гарниры	Япония

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>U. pertusa</i>	+	-	М: антибактериальное, понижающее артериальное давление, источник витаминов	Филиппины
<i>U. prolifera</i> [= <i>E. prolifera</i>]	+	-	К: овощной суп; М: лечение респираторных заболеваний	Индонезия
	+	-	К: для приготовления пряностей	Гавайи
	+	+	К: приправы; М: противораковое	Япония (Окинава)
	+	+	К: овощные супы; М: лечение кашля, жаропонижающее	Корея
	+	-	К: приправы	Вьетнам
<i>U. reticulata</i>	+	-	К: готовят с овощами; М: народная медицина	Вьетнам
<i>Ulvella lens</i>	+	+	КЖ: корм для молодого абалоне	Чили, Австралия
<i>Valonia aegagropila</i>	+	-	М: противогрибковое	Филиппины
Бурые водоросли (HETEROKONTOPHYTA)				
<i>Adenocystis</i> spp.	+	-	ПФ: фукоидан	Аргентина
<i>A. utricularis</i>	+	-	ПФ: фукоидан	Аргентина
<i>Agarum clathratum</i> [= <i>Agarum cribrosum</i>]	+	-	К: слоевица с икрой сельди	Аляска
<i>Alaria</i> spp.	+	-	СХ: жидкий экстракт (удобрения)	Аляска
	+	-	КЖ: корм для крупного рогатого скота	Исландия
	+	-	К: слоевица с икрой сельди; КЖ; ПФ: альгинаты	Канада
	+	-	К: салаты, гарниры	Япония
<i>A. esculenta</i>	+	-	К: овощные супы; ПФ: альгинаты	Ирландия
	+	-	К: чай, приправы	Франция
	+	-	М: лечение заболеваний нервной системы	Шотландия
	+	-	ПФ: альгинаты	Япония
<i>A. marginata</i>	+	-	К: слоевица с икрой сельди	Канада
<i>Analipus japonicus</i> [= <i>Heterochordaria abietina</i>]	+	-	К: салаты, гарниры	Япония
	+	-	К: салаты, гарниры	Корея
<i>Arthrothamnus bifidus</i>	+	-	К: салаты, гарниры (из свежих и сушеных растений)	Дальний Восток России
	+	-	ПФ: альгинаты	Япония
<i>Ascophyllum nodosum</i>	+	-	М: косметика для тела, антибактериальное, лечение простуды, бронхита, астмы, укрепление иммунной системы; ПФ: альгинаты; СХ: удобрения	Европа
	+	-	ПФ: альгинаты	Канада
	+	-	ПФ: альгинаты	Англия
	+	-	ПФ: альгинаты; СХ: удобрения; М: косметика для тела	Россия (Белое, Баренцево моря)
	+	-	К; М: косметические средства; ПФ: фукоидан; СХ: жидкие удобрения, стимуляторы роста	Франция
	+	-	КЖ: корм для крупнорогатого скота; СХ: жидкое удобрение, косметика	Ирландия
	+	-	ПФ: альгинаты	Исландия
	+	-	ПФ: альгинаты	Норвегия
	+	-	ПФ: альгинаты	Португалия
	+	-	СХ: удобрения; КЖ: корм для домашних птиц	США
<i>Chnoospora implexa</i>	+	-	К; М: источник витаминов; ПФ: альгинаты	Филиппины

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>Chorda filum</i>	+	-	ПФ: фукоиданы	Франция
	+	-	М: лечение заболеваний нервной системы	Шотландия
<i>Cladosiphon</i> spp.	+	+	К: салаты; М; ПФ: фукоиданы	Япония
<i>C. okamuranus</i>	+	+	К: салаты; ПФ: фукоиданы	Япония (Окинава)
<i>Colpomenia bullosa</i>	+	-	М: противовирусное	Япония
<i>C. sinuosa</i>	+	-	К: салаты, гарниры	Филиппины
<i>Cystoseira</i> spp.	+	+ Э	ПФ: альгинаты	Индия
<i>C. barbata</i>	+	-	К: салаты, гарниры; М; ПФ: альгинаты	Египет
<i>C. crassipes</i>	+	-	М: антибактериальное	Япония
<i>Desmarestia</i> spp.	+	-	К: слоевища с икрой сельди	Северная Америка
<i>Dictyopteris</i> spp.	+	-	К: салаты, гарниры; М: сильное противогрибковое средство	Гавайи
	+	-	М: противораковое	Филиппины
<i>D. delicatula</i>	+	-	М: противогрибковое, антиоксидант	Индия
<i>Dictyota</i> spp.	+	-	М: противогрибковое, антибактериальное	Филиппины
<i>D. caribaea</i>	+	-	М: антитрипаносомная активность	Мексика
<i>D. dichotoma</i>	+	-	М: антитрипаносомная активность	Мексика
	+	-	К; М: источник витаминов	Филиппины
<i>D. mertensii</i> [= <i>D. dentata</i>]	+	-	М: антибактериальное, антимикробное, источник микро-элементов; ПФ: альгинаты	Филиппины
<i>Durvillaea</i> spp.	+	-	ПФ: альгинаты; СХ: удобрения	Южная Америка
	+	-	ПФ: альгинаты	Новая Зеландия
	+	-	ПФ: альгинаты	Австралия
<i>D. antarctica</i>	+	-	К: салаты, гарниры	Аргентина
	+	-	К: салаты, гарниры	Чили
	- И	-	ПФ: альгинаты	Япония
	+	-	СХ: удобрения, ростовые вещества	Новая Зеландия
<i>D. potatorum</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Австралия
<i>Ecklonia</i> spp.	+	-	К: салаты; варят с соевым соусом	Австралия
	+	-	ПФ: альгинаты; СХ: удобрения	Корея
	+	-	М, АТ: добавляют в горячие ванны для лечения или предотвращения гипертонии	Япония
<i>E. cava</i>	+	-	К: варят с соевым соусом; ПФ: альгинаты; М: источник антиоксидантов	Япония
<i>E. maxima</i>	+	-	КЖ: корм для морского ушка; ПФ	Южная Африка
	- И	-	ПФ: альгинаты	Япония
<i>E. radiata</i>	+	-	СХ: жидкое удобрение; КЖ: корм для скота и половозрелого абалоне	Австралия
<i>E. stolonifera</i>	+	-	К: салаты	Корея
<i>Egregia</i> sp.	+	-	ПФ: альгинаты	Мексика
<i>Eisenia</i> spp.	+	-	К: салаты, гарниры; ПФ: альгинаты; М; АТ: добавляют в горячие ванны; используют в гинекологии	Америка
	+	-	М: альготерапия	Япония
<i>E. bicyclis</i>	+	-	К; М: противодиабетическое и противоаллергическое, используют в гинекологии, косметика	Япония
<i>Endarachne binghamiae</i>	+	-	К: порошок (в качестве отдушки)	Япония

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>Eualaria fistulosa</i> [= <i>Alaria fistulosa</i>]	+	-	К: слоевища с икрой сельди; СХ: экстракты, стимулирующие рост растений	Аляска
<i>Fucus</i> spp.	+	-	К: салаты; КЖ: корм скоту; СХ: удобрения для овощных растений	Япония
	+	-	СХ: удобрения; ПФ: альгинаты	Франция
	+	-	СХ: удобрения; М: косметика; ПФ: альгинаты	Ирландия
	+	-	СХ: удобрения	Португалия
	+	-	К: слоевища с икрой сельди; ПФ: альгинаты, СХ: удобрения	Аляска
	+	-	М: в косметике и альготерапии	Страны Европы
<i>F. distichus</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Канада
<i>F. evanescens</i>	+	-	М: источник антиоксидантов; ПФ: фукоиданы	Япония
<i>F. gardneri</i>	+	-	К: салаты, гарниры; СХ: подкормка для листьев	Аляска
<i>F. serratus</i>	+	-	СХ; К; ПФ: альгинаты	Франция
	+	-	СХ: жидкое удобрение; К: водорослевая мука; М: косметика; ПФ: альгинаты	Ирландия
<i>F. vesiculosus</i>	+	-	СХ: удобрения; М: косметика	Россия (Белое, Баренцево моря)
	+	-	ПФ: альгинаты	Канада
	+	-	К: напитки	Франция
	+	-	К: напитки	Португалия
	+	-	К: напитки; М: народная медицина, косметика	Испания
	+	-	М: лечение диареи, ожирения, диспепсии, колита, язвы	Великобритания
	+	-	М: лечение заболеваний нервной системы; СХ: жидкие удобрения; М: народная медицина; косметика; ПФ: альгинаты	Ирландия
<i>Himanthalia elongata</i>	+	-	К: салаты, гарниры	Франция
	+	-	К: салаты, гарниры	Ирландия
<i>Hormophysa cuneiformis</i>	+	-	СХ: удобрения; К; ПФ: альгинаты; М: источник витаминов, антиоксидантов	Филиппины
<i>Hydroclathrus clathratus</i>	+	-	К: салаты, гарниры	Бангладеш
	+	-	К: салаты; М: источник микроэлементов, витаминов; СХ: удобрения, стимуляторы роста	Филиппины
<i>Laminaria</i> spp.	+	-	К: слоевища с икрой сельди, салаты, супы, варят с соевым соусом, жарят в масле; ПФ: альгинаты; КЖ: корм для абалоне; СХ: удобрение; М: способствует долголетию, антибактериальное, противораковое косметика; ПФ: альгинаты	Аляска
	+	+	К: салаты, гарниры; ПФ: альгинаты	Китай
	+	+	К: широко используется в кулинарии	Япония
	+	+	К: салаты, гарниры	Корея
	+	-	СХ: удобрения	Португалия
	+	+	М: лечение диареи, ожирения, диспепсии, запора, язвы, кожных болезней	Европейские страны

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>Laminaria</i> spp.	+	-	СХ: корм для крупного рогатого скота	Исландия
	+	+	К; КЖ; СХ: удобрения; М: косметика	Россия
<i>L. appressirhisa</i>	+	-	К: салаты, слоевища с икрой сельди	Дальний Восток России
<i>L. digitata</i>	+	-	КЖ; М: косметика; СХ: удобрения	Россия (Белое, Баренцево моря)
	+	-	ПФ: альгинаты	Канада
	+	-	ПФ: альгинаты	Англия
	+	-	М: при заболевании нервной системы	Шотландия
	+	-	К: салаты, супы; ПФ: альгинаты	Франция
	-	+(-)	К: салаты	Германия
	+	+	К: салаты, гарниры	Корея
	+	-	М: антицеллюлитное	Южная Африка
<i>L. hyperborea</i>	+	-	К: салаты; ПФ: альгинаты	Англия
	+	-	К: салаты; ПФ: альгинаты	Франция
	+	-	ПФ: альгинаты	Ирландия
	+	-	К: салаты; ПФ: альгинаты	Норвегия
	+	-	ПФ: альгинаты	Испания
<i>L. ochroleuca</i>	+	-	К: салаты, гарниры	Испания
<i>L. pallida</i>	+	-	КЖ: корм для абалоне; ПФ: альгинаты	Южная Африка
<i>L. setchellii</i>	+	-	К: слоевища с икрой сельди; М: противораковое	Канада
<i>L. solidungula</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Канада
<i>L. yezoensis</i>	+	-	К: салаты; СХ: удобрения	Дальний Восток России
<i>Lessonia</i> spp.	+	-	ПФ: альгинаты	Перу
	+	-	ПФ: альгинаты	Чили
	+	-	ПФ: альгинаты	Ю. Америка
<i>L. nigrescens</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Чили
	+	-	ПФ: альгинаты	Перу
	+	-	КЖ: корм для половозрелого абалоне; М: противораковое	Япония
<i>L. trabeculata</i>	+	+(-)	КЖ: корм для половозрелого абалоне; ПФ: альгинаты	Чили
<i>Lobophora variegata</i>	+	-	М: антирипаносомная, антиоксидантная активности	Мексика
<i>Macrocystis</i> spp.	+	-	М: лечение диареи, запора, ожирения, кожных заболеваний	Северная Америка
	+	-	ПФ: альгинаты; СХ: удобрения	Южная Америка
	+	-	КЖ: корм для абалоне	Южная Африка
	+	-	КЖ: корм для абалоне	Австралия
<i>M. angustifolia</i>	+	-	КЖ: корм для половозрелого абалоне	Австралия
<i>M. integrifolia</i>	+	-	К: салаты, гарниры	Аляска
	+	-	СХ: удобрения; К: слоевища с икрой сельди	Канада
	+	-	ПФ: альгинаты	Перу
<i>M. leutkeana</i> <i>M. pyrifera</i>	+	-	ПФ: альгинаты	США
	+	+(-)	К: салаты, гарниры	Аляска
	+	-	ПФ: альгинаты	США
	+	-	СХ; ПФ: альгинаты	Аргентина
	+	+(-)	КЖ: корм для абалоне	Австралия
	+	-	КЖ: корм для абалоне	Чили
	+	-	ПФ: альгинаты	Мексика
	+	-	КЖ: корм для абалоне	Перу

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>M. leutkeana</i> <i>M. pyrifera</i>	+	-	К: порошок и в соленом виде; КЖ: корм для абалоне; ПФ: альгинаты; СХ: удобрения	Новая Зеландия
<i>Nemacystus</i> spp.	+	-	К: возбуждающее аппетит, в пищу в свежем виде; М: народная медицина	Северо-Восточная Азия
<i>N. decipiens</i>	+	+	К; М: противораковое; ПФ: фукоидан	Япония
<i>Nereocystis</i> spp.	+	-	М: лечение заболеваний нервной системы	Северная Америка
	+	-	К: употребляют с соевым соусом и уксусом	С-В Азия
	+	-	М: лечение кожных заболеваний; ПФ: альгинаты	Европейские страны
<i>N. luetkeana</i>	+	-	ПФ: альгинаты	США
	+	+(Э)	СХ: стимуляторы роста	Аляска
	+	-	СХ: стимуляторы роста	Канада
<i>Padina australis</i>	+	-	К; ПФ: альгиновая кислота	Филиппины
<i>Pelvetia</i> spp.	+	-	К: в качестве приправы	Канада
<i>Postelsia palmaeformis</i>	+	-	ПФ: альгинаты	США
<i>Pseudolessonia laminarioides</i> [= <i>Lessonia laminarioides</i>]	+	-	К: салаты, гарниры; К	Дальний Восток России
<i>Saccharina angustata</i> [= <i>Laminaria angustata</i>]	+	-	К: салаты, гарниры; ПФ: альгинаты	Япония
	+	-	К: салаты, гарниры	Дальний Восток России
<i>S. bongardiana</i> [= <i>L. bongardiana</i>]	+	-	К: салаты; СХ: удобрения	Дальний Восток России
<i>S. cichorioides</i> [= <i>L. cichorioides</i>]	+	-	М: антиоксиданты	Япония
<i>S. dentigera</i> [= <i>L. dentigera</i>]	+	-	К: салаты; СХ: удобрения	Дальний Восток России
<i>S. groenlandica</i> [= <i>L. groenlandica</i>]	+	-	К: салаты, супы	Канада
<i>S. japonica</i> [= <i>L. japonica</i>]	+	+	К: салаты, гарниры; ПФ: альгинаты	Китай
	+	+	К: салаты, гарниры, супы, солянки мясные и рыбные	Дальний Восток России
	+	+	К: салаты, супы; ПФ: альгинаты; КЖ: корм для морского ушка	Корея
	+	+	К: широкое применение в кулинарии; М: противораковое	Япония
<i>S. kurilensis</i> [= <i>Cymathaera japonica</i>]	+	-	К: салаты, гарниры	Дальний Восток России
<i>S. latissima</i> [= <i>Laminaria saccharina</i>]	+	-	ПФ: альгинаты	Англия
	+	-	К: приправы	Франция
		+(Э)	ПФ: альгинаты; КП	Германия
	+	-	ПФ: альгинаты	Япония
<i>S. longicuris</i> [= <i>L. longicuris</i>]	+	-	ПФ: альгинаты	Канада
<i>S. longipes</i> [= <i>Laminaria longipes</i>]	+	-	К: салаты, гарниры; СХ: удобрения	Дальний Восток России
<i>S. religiosa</i> [= <i>L. religiosa</i>]	+	-	К: салаты, гарниры	Япония
	+	-	К: салаты, гарниры	Корея
<i>Saccorhiza polyschides</i>	+	-	К: приправы	С. Америка
	+	-	ПФ: альгинаты	Европа
<i>Sargassum</i> spp.	+	-	К: салаты, овощные супы, лечебные чаи; М: антибактериальное, антигрибковое, противораковое, глистогонное, лечение дефицита йода в организме; ПФ: альгинаты; СХ: удобрения	Страны северного полушария

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>Sargassum</i> spp.	+	-	К: салаты, гарниры	Бангладеш
	+	-	ПФ: альгинаты	Бразилия
	+	-	М: народная медицина	Гавайи
	+	+(Э)	ПФ: альгинаты	Индия
	+	-	К; М; ПФ: альгинаты	Индонезия
	+	-	К: гарниры, супы, чай	Япония
	+	-	К: супы, чай	Корея
	+	-	ПФ: альгинаты	Китай
	+	-	К: салаты	Малайзия
	+	-	К: салаты; М: антибактериальные чаи, лечение зоба, противогрибковое, противораковое; ПФ: альгинаты	Мьянма
	+	-	М: источник микроэлементов, применяется при отравлении тяжелыми металлами	Филиппины
	+	-	К: гарниры, супы, чай; КЖ: корм для крупного рогатого скота, свиней и домашней птицы; М: антибактериальное, противораковое, лечение зоба; СХ: удобрения	Вьетнам
<i>S. aquifolium</i> [= <i>S. binderi</i> , <i>S. crassifolium</i>]	+	-	К: овощные супы, сладкие желе; М: лечение мочеполовых болезней, зоба; косметика; ПФ: альгинаты	Индонезия
	+	-	СХ; К; ПФ: альгинаты	Вьетнам
	+	-	К; М: народная медицина	Таиланд
	+	-	К; КЖ; М: противораковое, антибактериальное, лечение зоба, источник витаминов и антиоксидантов; ПФ: альгинаты; СХ: удобрения	Филиппины
<i>S. carpophyllum</i>	+	-	СХ; К; ПФ: альгинаты	Вьетнам
<i>S. cinctum</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Филиппины
<i>S. confusum</i>	+	-	М: антигельминтное	Япония
<i>S. denticarpum</i>	+	-	К; М; СХ: удобрения	Вьетнам
<i>S. feldmannii</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Филиппины
<i>S. filipendula</i>	+	-	М: источник витаминов, минералов и растительных волокон	Египет
<i>S. fulvellum</i>	+	-	К: супы, чай; М: антисклеротическое, противодиабетическое, противогипертоническое, косметика	Корея
	+	-	М: противораковое; ПФ: альгинаты	Япония
	+	-	М: источник витаминов	Филиппины
<i>S. fusiforme</i> [= <i>Hizikia fusiformis</i>]	-	+	К: приправы	Китай
	+	+	К: варят с соевым соусом; М: противораковое и противодиабетическое	Япония
	+	+	К: гарниры, супы, чай	Корея
<i>S. glaucescens</i>	+	-	К; ПФ; СХ: удобрения	Вьетнам
<i>S. graminifolium</i>	+	-	К; ПФ; СХ: удобрения	Вьетнам
<i>S. hemiphyllum</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Филиппины
<i>S. henslowianum</i>	+	-	К; ПФ; СХ: удобрения	Вьетнам
<i>S. herporhizum</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Мексика
<i>S. horneri</i>	+	-	К: приправы	Корея

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>S. ilicifolium</i> [= <i>S. cristaefolium</i> , <i>S. duplicatum</i>]	+	-	СХ; К; М; ПФ: альгинаты	Вьетнам
	+	-	ПФ: альгинаты; К; КЖ; М; СХ	Индия
	+	-	К; КЖ; М; ПФ; СХ: регуляторы роста (см. <i>S. aquiifolium</i>)	Филиппины
<i>S. johnsonii</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Мексика
<i>S. lapazeanum</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Мексика
<i>S. macrocarpum</i>	+	-	М: антинейротрофический эффект	Япония
<i>S. mcClurei</i>	+	-	К; М; ПФ; СХ: удобрения	Вьетнам
<i>S. miyabei</i> [= <i>S. kjellmanianum</i>]	+	-	М: источник антиоксидантов; ПФ: альгинаты	Китай
	+	-	М: противораковое	Япония
<i>S. oligocystum</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Филиппины
	+	-	К: гарниры, чай	Таиланд
	+	-	К; М; СХ: удобрения	Вьетнам
<i>S. pallidum</i>	+	-	К: салаты; СХ: удобрения	Россия (Сахалин)
	+	-	К: в свежем или жареном (как овощи); М: антибактериальное, антиоксидантное, мочегонное, противогрибковое, лечение зоба и туберкулеза кожи; источник йода	Китай
	+	-	К: в свежем или жареном виде; ПФ: альгинаты	Япония
<i>S. paniculatum</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Филиппины
<i>S. polycystum</i> [= <i>S. myriocystum</i>]	+	-	К: лечебный чай; М: народная медицина	Таиланд
	+	-	К: овощные супы, сладкие желе; М: антиоксидант, лечение мочеполовых болезней, зоба, кометика; ПФ: альгинаты	Индонезия
	+	-	К: чай; М; ПФ: альгинаты; СХ: удобрения	Вьетнам
	+	-	ПФ: альгинаты	Индия
<i>S. quinhonense</i>	+	-	К: чай; М: народная медицина; СХ: удобрения	Вьетнам
	+	-	ПФ: альгинаты	Филиппины
<i>S. ringgoldianum</i>	+	-	М: противораковое	Япония
<i>S. siliquosum</i>	+	-	К: сладкие желе, салаты; М: лечение зоба, жаропонижающее; ПФ: альгинаты	Индонезия
	+	-	К; М (см. <i>S. crassifolium</i>); КЖ; СХ: удобрения	Филиппины
	+	-	К; ПФ; СХ: удобрения	Вьетнам
<i>S. sinicola</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Мексика
<i>S. stenophyllum</i>	+	-	М: антиоксидант	Индия
<i>S. swartzii</i> [= <i>S. wightii</i>]	+	-	К; М; СХ: удобрения	Вьетнам
	+	-	ПФ: альгинаты	Индия
<i>S. tenerrimum</i>	+	-	М: антибактериальное	Индия
<i>S. thunbergii</i>	+	-	М: антигельминтное	Япония
<i>S. vachellianum</i>	+	-	К; ПФ; СХ: удобрения	Вьетнам
<i>S. vulgare</i>	+	-	М: антигельминтное	Филиппины
	+	-	М: лечение заболеваний нервной системы	Шотландия
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	+	-	К: приправы, гарниры; М: противовирусное, противораковое	Япония
	+	-	К: приправы, гарниры	Корея
<i>Silvetia siliquosa</i> [= <i>Pelvetia siliquosa</i>]	+	-	К: приправы	Корея

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>Spatoglossum asperum</i>	+	-	М: противогрибковое	Индия
<i>Stoechospermum polypodioides</i> [= <i>S. marginatum</i>]	+	-	М: антибактериальное, противовирусное, противораковое; ПФ: альгинаты; СХ: удобрения	Индия
<i>Turbinaria</i> spp.	+	-	ПФ: альгинаты	Индия
	+	-	М: репеллент	Мьянма
	+	-	ПФ: альгинаты	Филиппины
	+	-	СХ: удобрения	Вьетнам
<i>T. conoides</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Индия
	+	-	К; М: источник микроэлементов и витаминов; СХ: удобрения; ПФ: альгинаты	Филиппины
	+	-	М: антибактериальное; антиоксидант	Таиланд
<i>T. decurrens</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Индия
	+	-	К; М: репеллент; ПФ: источник альгиновой кислоты; СХ: удобрения	Филиппины
<i>T. ornata</i>	+	-	ПФ: альгинаты	Индия
	+	-	К; М: репеллент, источник витаминов; антиоксидантов; ПФ: альгинаты; СХ: удобрения	Филиппины
<i>T. turbinata</i>	+	-	М: противовирусное	Мексика
<i>Undaria pinnatifida</i>	+	+	К: варят, солят, сушат	Франция
	+	+	К: супы, варят с соевым соусом, жарят в масле; М: противовирусное, антибактериальное, противодиабетическое, используют в народной медицине; ПФ: фукоидан	Япония
	+	+	К: салаты, гарниры, супы; М: народная медицина	Корея
	-	+	К: салаты, гарниры, супы	Китай
	+	-	К: салаты	Австралия
<i>Undariopsis petersiana</i> [= <i>Laminaria peterseniana</i> , <i>Undariella petersenia</i>]	+	-	К: салаты, гарниры	Япония
	+	-	К: супы	Корея
<i>Zonaria crenata</i>	+	-	М: антибактериальное	Индия
<i>Z. subarticulata</i>	+	-	М: антибактериальное	Южная Африка
Красные водоросли (RHODOPHYTA)				
<i>Acanthopeltis</i> spp.	+	-	К: желе; ПФ: агар	Корея
<i>A. japonica</i>	+	-	К: желе; ПФ: агар	Япония
<i>Acanthophora muscoides</i>	+	-	К: желе; ПФ: агар; СХ: регуляторы роста	Филиппины
<i>A. spicifera</i>	+	-	К: желе; ПФ: агар	Филиппины
	+	-	ПФ: агар	Вьетнам
<i>Agardhiella subulata</i> [= <i>Neogardhiella baileyi</i>]	+	+	ПФ: каррагинан	Бразилия
	+	+(Э)	ПФ: каррагинан	Флорида
	+	-	ПФ: каррагинан	Мексика
<i>Agardhiella</i> sp.	+	-	ПФ: каррагинан	Мексика
<i>Ahnfeltia</i> spp.	+	-	К: салаты, гарниры; ПФ: агар	Северо-Восточная Азия, Россия
<i>Ahnfeltia plicata</i>	+	-	ПФ: агар	Чили
	+	-	К: желе; М: бактериологический агар	Япония
	+	-	ПФ: агар	Россия
<i>A. tobuchiensis</i>	+	-	М: антибактериальное; ПФ: бактериологический агар	Дальний Восток России
<i>Ahnfeltiopsis</i> spp.	+	-	М: антигельминтное	Вьетнам

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>A. flabelliformis</i>	+	-	ПФ: каррагинан	Южная Америка
<i>A. furcellata</i> [= <i>Gymnogongrus furcellatus</i>]	+	-	ПФ: каррагинан	Чили
<i>Alsidium helminthochorton</i>	+	-	М: антигельминтное	Европа
<i>Amansia glomerata</i>	+	-	М: антимикробное, противогрибковое	Филиппины
<i>Amphiroa beauvoisii</i> [= <i>A. zonata</i>]	+	-	М: антимикробное, противогрибковое	Филиппины
<i>Asparagopsis taxiformis</i>	+	-	К: салаты, супы	Гавайи
	+	-	К: салаты, супы	Япония
	+	-	К; КЖ; М: антимикробное, противогрибковое	Филиппины
<i>Betaphycus gelatinum</i> [= <i>Eucheuma gelatinae</i>]	+	-	ПФ: каррагинан	Китай
	+	-	К: овощной суп на кокосовом молоке; М: антигельминтное	Индонезия
	+	-	К: салаты; М: противораковое	Япония
	+	-	К; М: антигельминтное; ПФ: каррагинан	Филиппины
	+	-	К: желе; ПФ: каррагинан	Вьетнам
<i>B. philippinensis</i>	+	+	ПФ: каррагинан	Филиппины
<i>Bostrychia tenella</i>	+	-	М: антитрипаносомная активность	Мексика
	+	-	К: супы, гарниры	Филиппины
<i>Bryothamnion triquetrum</i>	+	+	К: приправы	Страны Карибского побережья
<i>Caloglossa</i> spp.	+	-	М: лечение зоба, мочеполовой системы и водянки	Индонезия
	+	-	М: антигельминтное	Вьетнам
<i>C. bengalensis</i> [= <i>C. adnata</i>]	+	-	К: салаты, овощные супы; М: антигельминтное, народная медицина	Индонезия
<i>C. lepreurii</i>	+	-	М: лечение зоба, мочеполовой системы и водянки	Индонезия
	+	-	М: антигельминтное	Вьетнам
<i>Callophyllis variegata</i>	+	-	ПФ: каррагинан	Чили
<i>Campylaephora hypnaeoides</i>	+	-	К: супы, гарниры, желе; ПФ: агар	Япония
<i>Catenella</i> spp.	+	+(Э)	К: едят сырыми или жарят в кунжутном масле со специями	Мьянма
<i>C. nipae</i>	+	+(Э)	К: салаты, жарят в кунжутном масле со специями	Юго-Восточная Азия, Мьянма
<i>Centroceras clavulatum</i>	+	-	М: антибактериальное, противогрибковое	Индия
<i>Ceramium</i> spp.	+	-	М: антимикробное, противогрибковое	Филиппины
<i>C. kondoi</i>	+	-	К: желе	Япония
<i>Champia parvula</i>	+	-	М: антибактериальное, противогрибковое	Индия
<i>C. salicornioides</i>	+	-	М: антитрипаносомная активность	Мексика
<i>Chondracanthus</i> spp.	+	-	К: гарниры, желе; ПФ: каррагинан	Чили
<i>Ch. acicularis</i> [= <i>Gigartina acicularis</i>]	+	-	ПФ: каррагинан	Испания
<i>Ch. chamissoi</i> [= <i>Gigartina chamissoi</i>]	+	-	К: готовят с рыбой и моллюсками	Перу
	+	-	ПФ: каррагинан	Чили
<i>Ch. canaliculatus</i> [= <i>Gigartina canaliculata</i>]	+	-	ПФ: каррагинан	Мексика
	+	+(Э)	ПФ: каррагинан	Чили
<i>Ch. intermedius</i> [= <i>Gigartina intermedia</i>]	+	-	ПФ: каррагинан	Вьетнам

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>Chondria armata</i>	+	-	М: антигельминтное	Япония
	+	-	К: приправы; М: сильное антибактериальное, антигельминтное, противогрибковое	Филиппины
<i>Ch. baileyana</i>	+	-	М: источник антиоксидантов	Мексика
<i>Ch. crassicaulis</i>	+	-	К: М: народная медицина	Корея
<i>Chondrophycus cartilagineus</i> [= <i>Laurencia cartilaginea</i>]	+	-	К: салаты; М: антибактериальное, анти-микробное, противогрибковое; ПФ: агар	Филиппины
<i>Chondrus</i> spp.	+	-	К: салаты, супы; ПФ: каррагинан	Япония
	+	-	СХ: удобрения	Португалия
<i>Ch. armatus</i>	+	-	К; М: антибактериальное	Япония, Корея
<i>Ch. crispus</i>	+	-	ПФ: каррагинан	Канада
	+	-	ПФ: каррагинан	Англия
	+	-	К: соления	Франция
	+	-	М: лечение респираторных заболеваний; ПФ: каррагинан	Ирландия
	+	-	ПФ: каррагинан	Португалия
	+	-	ПФ: каррагинан	Испания
	+	-	К: салаты; ПФ: каррагинан	США
	+	-	КС: антицеллюлитное	Южная Африка
<i>Ch. ocellatus</i>	+	-	К: салаты	Япония
	+	-	К: салаты, гарниры	Корея
<i>Corallina</i> spp.	+	-	М: антибактериальное, противогрибковое	Филиппины
<i>C. officinalis</i>	+	-	М: антигельминтное	Франция
<i>Dermonema</i> spp.	+	-	М антигельминтное	Вьетнам
<i>D. virens</i> [= <i>D. dichotomum</i>]	+	-	К: едят сырыми или готовят с овощами	Вьетнам
<i>Dichotomaria marginata</i> [= <i>Galaxaura marginata</i>]	+	-	М: антибактериальное	Тайвань
<i>Digenea simplex</i>	+	-	М: антигельминтное	Египет
	+	-	К: салаты, гарниры; М: антигельминтное; ПФ: агар	Япония
	+	-	М: антигельминтное, слабительное; ПФ агар	Филиппины
	+	-	М: слабительное	Индонезия
<i>Dilsea</i> spp.	+	-	М: источник антикоагулянтов	Северная Америка
<i>Dumontia</i> spp.	+	-	М: лечение генитального герпеса	Филиппины
<i>Eucheuma</i> spp.	+	+	К; М: народная медицина; ПФ: каррагинан	Индонезия
	+	+	К: салаты, супы; ПФ: каррагинан	Япония
	-	+	ПФ: каррагинан	Малайзия
	-	+	К: желе; М: лечение рака, язвы, головной боли, зоба, кашля, астмы и бронхита; ПФ: каррагинан	Филиппины
	+	-	К: желе; ПФ: каррагинан	острова Южной Пацифики
	+	+	К: салаты, желе; ПФ: каррагинан	Вьетнам
<i>E. arnoldii</i>	+	-	К: желе; ПФ: каррагинан	Филиппины
	+	-	К: желе; ПФ: каррагинан	Вьетнам
<i>E. cartilagineum</i>	+	-	К: салаты, желе	Япония

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>E. denticulatum</i> [= <i>E. muricatum</i> , <i>E. spinosum</i>]	-	-	ПФ: каррагинан	Франция
	+	-	К: сладкие желе; М: лечение зоба, кашля, астмы и бронхита; ПФ: каррагинан	Индонезия
	+	+	ПФ: каррагинан	Мадагаскар
	+	-	К; ПФ: йота-каррагинан	Филиппины
	+	-	ПФ: каррагинан	Танзания
<i>E. isiforme</i>	+	-	К: салаты, желе	Карибские острова
<i>E. serrata</i>	+	-	М: противораковое	Япония
	+	-	М: антибактериальное	Тайвань
<i>E. uncinatum</i>	+	-	ПФ: каррагинан	Мексика
<i>Furcellaria fastigiata</i>	ИВ	-	ПФ: фуцеллярин	Дания
	+	-	ПФ: фуцеллярин	Канада
<i>F. lumbricalis</i>	+	-	ПФ: фуцеллярин	страны Балтики
	+	-	ПФ: фуцеллярин	Канада
<i>Gelidiella</i> spp.	+	-	К: муссы, пудинги; ПФ: агар	Южная Азия
<i>G. acerosa</i>	+	+(Э)	М: антибактериальное, противогрибковое; ПФ: агар	Индия
	+	-	К: салаты, желе; ПФ: агар	Филиппины
	+	-	К: желе; ПФ: агар	Вьетнам
<i>Gelidium</i> spp.	+	-	К; М: народная медицина; ПФ: агар	Индонезия
	+	-	К: сладкие желе, салаты; М: антибактериальное, противовирусное, противогрибковое	Филиппины
	+	+	ПФ: агар высокого качества	Япония
	+	-	ПФ: агар	Тайвань
	+	-	М: лечение желудка	Корея
	+	-	М: антибиотическое, антимикробное, противогрибковое; СХ: удобрения	Португалия
	+	-	ПФ: агар	Франция
	+	-	ПФ: агар	Испания
	+	-	ПФ: агар	Южная Африка
	+	-	ПФ: агар	Чили
	+	-	ПФ: агар	Мексика
+	-	ПФ: агар	США	
<i>G. abbottiorum</i>	+	-	ПФ: агар	Южная Африка
<i>G. amansii</i>	+	+	К: салаты, желе; ПФ: агар	Китай, Тайвань
	+	-	ПФ: агар	Япония
	+	-	К: салаты, супы, желе	Корея
	+	-	К: сладкое желе с кокосовым молоком; М: лечение желудка; ПФ: агар	Индонезия
<i>G. chilense</i>	+	-	ПФ: агар	Чили
<i>G. corneum</i> [= <i>G. sesquipedale</i>]	+	-	ПФ: агар	Франция
	+	-	ПФ: агар	Марокко
	+	-	ПФ: агар	Португалия
	+	-	ПФ: агар	Испания
<i>G. crinale</i>	+	-	ПФ: агар	Перу
<i>G. howei</i>	+	-	ПФ: агар	Перу
<i>G. japonicum</i>	+	-	К: салаты, желе; ПФ: агар	Япония

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>G. lingulatum</i>	+	-	ПФ: агар	Чили
<i>G. madagascariense</i>	+	-	ПФ: агар	Мадагаскар
<i>G. pacificum</i>	+	-	ПФ: агар	Китай
	+	-	К: салаты, желе; ПФ: агар	Япония
<i>G. pristoides</i>	+	-	ПФ: агар	Южная Африка
<i>G. pulchellum</i>	+	-	ПФ: агар	Португалия
<i>G. pusillum</i>	+	-	К: салаты, супы, желе	Бангладеш
	+	-	К: салаты, супы, желе; ПФ: агар	Филиппины
	+	-	ПФ: агар	Португалия
<i>G. rex</i>	+	-	ПФ: агар	Чили
<i>G. robustum</i>	+	-	ПФ: агар	Мексика
<i>G. spinosum</i> [= <i>G. latifolium</i>]	+	-	К: сладкие желе; М: лечение желудка	Индонезия
	+	-	ПФ: агар	Испания
	+	-	ПФ: агар	Португалия
<i>Gigartina</i> spp.	+	+	К: салаты, супы, желе	Америка
	+	-	ПФ: каррагинан	Аргентина
	+	+ (Э)	КЖ: корм для абалоне	Новая Зеландия
	-	-	ПФ: каррагинан	Япония
	И			
<i>G. atropurpurea</i>	+	+ (Э)	ПФ: каррагинан	Новая Зеландия
<i>G. gelatinosa</i>	+	-	М: антибактериальное, противогрибковое	Филиппины
<i>G. skottsbergii</i>	+	-	ПФ: каррагинан	Аргентина
	+	-	ПФ: каррагинан	Чили
<i>Gloiopeltis</i> spp.	+	-	К: супы, гарниры, приправы	Япония
	+	-	ПФ: фуноран	Китай
	+	-	М: противораковое	Корея
	+	-	К: готовят с овощами; М: противораковое	Вьетнам
<i>G. complanata</i>	+	-	К; М; ПФ: фуноран	Япония
<i>G. furcata</i>	+	-	К; М; ПФ: фуноран	Япония
	+	-	К: супы	Корея
<i>G. tenax</i>	+	-	К: супы	Япония
	+	-	К: салаты, супы; М; ПФ: фуноран	Корея
	+	-	М: народная медицина; источник витаминов	Филиппины
<i>Gracilaria</i> spp.	+	-	ПФ: агар	Аргентина
	+	-	Наживка в рыболовстве	Австралия
	+	-	ПФ: агар	Бразилия
	+	-	К: салаты, овощные супы, сладкие желе; КЖ: корм для абалоне	Гавайи
	+	-	К; М: народная медицина; ПФ: агар	Индонезия
	+	-	ПФ: агар; СХ: удобрения	Италия
	+	+	К: салаты, желе; ПФ: агар	Япония
	+	-	М: лечение дизентерии, диареи, почек	Мьянма
	+	+ (Э)	М: лечение зоба и мочеполовых болезней; ПФ: агар	Филиппины
	+	-	ПФ: агар	Перу
	+	-	СХ: удобрения	Португалия
	+	-	КЖ: корм для половозрелого абалоне	Южная Африка
	+	-	К: салаты, желе	острова Южной Пацифики
	+	-	К: салаты, желе; М: слабительное; ПФ: агар	Вьетнам

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>G. aculeata</i>	+	+(Э)	КЖ: корм для абалоне	Южная Африка
<i>G. arcuata</i>		+(Э)	ПФ: агар	Гуам
	+	-	К: салаты	Япония
	+	-	К: желе; КЖ; ПФ: агар; СХ: удобрения, регуляторы роста	Филиппины
<i>G. blodgettii</i>	+	-	К: салаты	Япония
	+	-	К: салаты, желе; М: лечение желудочных болезней, слабительное; ПФ: агар	Филиппины
<i>G. bursa-pastoris</i>	+	-	К: салаты	Япония
<i>G. canaliculata</i> [= <i>G. crassa</i>]	+	+(Э)	ПФ: агар	Мьянма
<i>G. cervicornis</i>	+	+	КЖ: для креветок	Бразилия
<i>G. changii</i>	+	-	К: салаты, желе	Таиланд
	+	+	К: салаты; ПФ: агар	Малайзия
<i>G. chilensis</i>	+	+	КЖ: корм для абалоне; ПФ: агар	Новая Зеландия
	+	+	ПФ: агар	Чили
<i>G. chorda</i>	+	+(Э)	ПФ: агар	Корея
<i>G. coronopifolia</i>	+	-	К: салаты	Гавайи
	+	-	К; М: источник витаминов и микроэлементов; ПФ: агар	Филиппины
	+	-	К: салаты, гарниры; ПФ: агар	Вьетнам
<i>G. corticata</i>	+	-	М: антибактериальное, противогрибковое	Индия
<i>G. dendroides</i>	+	-	СХ: удобрения; ПФ: агар	Италия
<i>G. domingensis</i>	+	-	ПФ: агар	Бразилия
	+	-	К: салаты	Карибские острова
<i>G. firma</i>	+	+	ПФ: агар	Филиппины
	+	-	К: салаты; ПФ: агар	Вьетнам
<i>G. foliifera</i>	+	-	К: салаты, гарниры; ПФ: агар	Вьетнам
<i>G. gigas</i>	+	-	К; М: лечение желудка, слабительное; ПФ: агар	Филиппины
	+	-	К; ПФ: агар	Вьетнам
<i>G. gracilis</i> [= <i>G. confervoides</i> , <i>G. verrucosa</i>]	+	+	ПФ: агар	Аргентина
	+	-	К; ПФ: агар	Гавайи
	-	+	К: салаты, овощные супы, сладкие желе; М: лечение зоба, желудочно-кишечного тракта, мочеполовых болезней; ПФ: агар	Индонезия
	+	-	ПФ: агар	Италия
	+	-	К: салаты	Япония
	+	-	К: салаты	Корея
	+	+(Э)	ПФ: агар	Намибия
	+	-	К; КЖ: корм для рыб; М: источник белка и витаминов; ПФ: агар	Филиппины
<i>G. heteroclada</i>	+	+	К; ПФ: агар	Вьетнам
	+	+	КЖ: корм для абалоне; ПФ: агар	Филиппины
<i>G. howensis</i>	+	-	ПФ: агар	Перу
<i>G. longa</i>	+	-	СХ: удобрения; ПФ: агар	Италия
<i>G. maramae</i>	+	-	К: салаты, супы	Фиджи

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>G. parvispora</i>	+	+	ПФ: агар	Гавайи
<i>G. salicornia</i>	+	-	К: салаты	Япония
	+	-	К: супы, салаты	Таиланд
	+	-	К; ПФ: агар	Филиппины
	+	-	К; ПФ: агар	Вьетнам
<i>G. secundata</i>	+	-	КЖ: корм для абалоне; ПФ: агар	Новая Зеландия
<i>G. tenuistipitata</i>	+	+	К; ПФ: агар	Китай
	+	-	К; ПФ: агар	Малайзия
	+	-	ПФ: агар	Филиппины
	+	+	К: салаты, супы	Таиланд
	+	+	К; ПФ: агар	Вьетнам
<i>G. textorii</i>	+	-	К; ПФ: агар	Япония
	+	-	М: источник витаминов	Филиппины
	+	-	К; ПФ: агар	Вьетнам
<i>G. truncata</i>	+	-	КЖ: корм для абалоне; ПФ: агар	Новая Зеландия
<i>G. vermiculophylla</i> [= <i>G. asiatica</i>]	+	+	К; ПФ: агар	Китай
	+	+	К; ПФ: агар	Вьетнам
<i>Gracilariopsis</i> spp.	+	+	К: салаты, овощные супы, сладкие желе; ПФ: агар	Южная Америка
<i>G. heteroclada</i> [= <i>Gracilaria bailiniae</i>]	+	+	К; ПФ	Вьетнам
<i>G. lemaneiformis</i>	+	-	ПФ: агар	Чили
	+	-	К: салаты	Япония
	+	-	ПФ: агар	Мексика
	+	-	ПФ: агар	Перу
<i>G. longissima</i>	+	+(Э)	ПФ: агар	Марокко
<i>G. tenuifrons</i>	+	-	ПФ: агар	Бразилия
<i>Grateloupia</i> spp.	+	-	К: салаты	Гавайи
	+	-	К; М: антигельминтное	Япония
	+	-	К: салаты, овощные супы, соленья, сладкие желе	Корея
	+	-	К; ПФ: агар	Филиппины
<i>G. filicina</i>	+	-	К: салаты	Япония
	+	-	М: антигельминтное	Индонезия
	+	-	К: салаты	Филиппины
<i>G. ramosissima</i>	+	-	К: супы, салаты	Филиппины
	+	-	К: салаты, овощные супы, соленья, сладкие желе; М: антигельминтное	Индонезия
<i>G. turuturu</i>	+	-	К: салаты	Корея
<i>Halymenia</i> spp.	+	-	К: супы, салаты	Юго-Восточная Азия
	+	-	К: супы, салаты	Мьянма
	+	-	К: супы, салаты	Филиппины
<i>H. dilatata</i>	+	-	К: салаты, супы	Филиппины
<i>H. durvillei</i>	+	-	К; ПФ: каррагинан	Филиппины
<i>H. floresii</i>	+	-	М: противогрибковое	Индия
<i>H. venusta</i>	+	-	К: салаты, супы	Кения
<i>Hydropuntia</i> spp.	+	-	К: салаты, овощные супы, сладкие желе; КЖ: корм для абалоне; М: лечение зоба и мочеполовых органов; ПФ: агар	Юго-Восточная Азия

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>H. caudata</i> [= <i>Gracilaria caudata</i>]	+	-	ПФ: агар	Бразилия
	+	-	К: салаты	Япония (Окинава)
	+	-	М: лечение желудочно-кишечного тракта и мочеполовых органов; ПФ: агар	Индонезия
	+	-	К; ПФ: агар	Вьетнам
<i>H. cornea</i> [= <i>Gracilaria cornea</i>]	+	-	ПФ: агар	Бразилия
	+	-	К: салаты, супы	Карибские острова
	+	+	КЖ: корм для молодого абалоне	Канарские острова
<i>H. crassissima</i> [= <i>Gracilaria crassissima</i>]	+	-	К: салаты, супы	Карибские острова
<i>H. edulis</i> [= <i>Gracilaria edulis</i> , <i>G. lichenoides</i>]	+	+(Э)	ПФ: агар	Индия
	+	-	К: салаты, супы	Япония
	+	+(Э)	ПФ: агар	Мьянма
	+	-	К; М: лечение кожных болезней, желудочно-кишечных заболеваний, чахотки; ПФ: агар	Филиппины
<i>H. euchematoides</i> [= <i>Gracilaria euchematoides</i>]	+	-	К: супы, желе	Япония (Окинава)
	+	-	М: народная медицина; ПФ: агар	Индонезия
	+	-	К; ПФ: агар	Филиппины
	+	-	К: желе; ПФ: агар	Вьетнам
<i>H. fisheri</i> [= <i>Gracilaria fisheri</i>]	+	-	К; ПФ: агар	Таиланд
<i>Hypnea</i> spp.	+	+	К: супы; ПФ: каррагинан	Китай
	+	-	ПФ: каррагинан (хипнеан)	Индонезия
	+	-	К: сушеные лапшевидные пластины для приготовления супов; М: лечение зоба, понижающее артериальное давление, лечение болезней желудка	Мьянма
	+	-	КЖ; М: источник микроэлементов; противораковое; СХ: удобрения	Филиппины
	+	-	К: салаты; М: лечение гипертонии; ПФ: каррагинан (хипнеан)	Юго-Восточная Азия
	+	-	К: салаты	острова Южной Пацифики
	+	-	К: салаты, супы	Таиланд
	+	-	М: антигельминтное; ПФ: каррагинан (хипнеан)	Вьетнам
<i>H. boergesenii</i>	+	-	К; КЖ; М: противораковое; СХ: удобрения; ПФ: каррагинан (хипнеан)	Филиппины
<i>H. cervicornis</i>	+	-	К; КЖ; М: противораковое, источник микроэлементов; ПФ: каррагинан (хипнеан); СХ: удобрения	Филиппины
<i>H. musciformis</i>	+	+(Э)	ПФ: каррагинан (хипнеан)	Бразилия
	+	+	КЖ: корм для абалоне	Канарские острова
	+	+	М: антибактериальное; ПФ: каррагинан (хипнеан)	Индия
	+	-	ПФ: каррагинан (хипнеан)	Оман
	+	-	К; М: антигельминтное; ПФ: каррагинан (хипнеан)	Филиппины

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>H. pannosa</i>	+	-	К: салаты	Бангладеш
	+	-	К; КЖ; М: противораковое; ПФ: каррагинан (хипнеан); СХ: удобрения	Филиппины
<i>H. spinella</i>	+	+	КЖ: корм для абалоне	Канарские острова
<i>H. valentiae</i>	+	+	ПФ: каррагинан (хипнеан)	Бангладеш
	+	-	М: антибактериальное	Индия
	+	-	ПФ: каррагинан (хипнеан)	Перу
	+	-	К; М: антибактериальное, противогрибковое	Филиппины
	+	-	К: желе	Вьетнам
<i>Iridaea</i> spp.	+	-	К: салаты, желе; ПФ: каррагинан (иридофикан)	США
	+	-	ПФ: каррагинан (иридофикан)	Аргентина
<i>I. ciliata</i>	+	-	ПФ: каррагинан (иридофикан)	Чили
<i>I. undulosa</i>	+	-	К: дополнение к диете (порошки, таблетки)	Аргентина
<i>Jania adhaerens</i>	+	-	М: антинейротрофический эффект	Япония
<i>J. rubens</i> [= <i>Corallina rubens</i>]	+	-	М: антигельминтное	Франция
<i>J. squamata</i> [= <i>Corallina squamata</i>]	+	-	М: антигельминтное	Франция
<i>Jeannerettia lobata</i> [= <i>Polexenia lobata</i>]	+	-	КЖ: корм для половозрелого абалоне	Австралия
<i>Kappaphycus</i> spp.	+	-	К: сладкие желе, салаты, овощные супы; ПФ: каррагинан	Филиппины
	-(И)	+	ПФ: каррагинан	Япония
	+	+	М: антиопухолевое; лечение язвы, головной боли	Вьетнам
<i>K. alvarezii</i>	-(И)	-	К: желе; ПФ: каррагинан	Аргентина
	-	+	ПФ: каррагинан	Карибские острова
	-	+И	ПФ: каррагинан	Франция
	-	+Э	ПФ: каррагинан	Индия
	+	+	К; КЖ: корм для абалоне и молодых креветок; М: источник микроэлементов; ПФ: каррагинан	Филиппины
	-	+	ПФ: каррагинан	Танзания
	-	+	К: желе, салаты с другими овощами; ПФ: каррагинан	Вьетнам
<i>K. cottonii</i> [= <i>Eucheuma cottonii</i>]	-(И)	-	ПФ: каррагинан	Франция
	-	+	ПФ: каррагинан	Индонезия
	+	-	К; ПФ: каппа-каррагинан	Филиппины
	+	-	К: желе; ПФ: каррагинан	Вьетнам
<i>K. inerme</i>	+	-	К: желе; ПФ: каррагинан	Вьетнам
<i>K. procrusteanum</i>	+	-	К; ПФ: каррагинан	Филиппины
<i>K. striatus</i> [= <i>Eucheuma striatum</i>]	+	+	ПФ: каррагинан	Карибские острова
	+	-	ПФ: каррагинан	Мадагаскар
	+	-	К: желе; ПФ: каррагинан	Филиппины
	+	+	ПФ: каррагинан	Танзания
<i>Laurencia</i> spp.	+	-	К: салаты, овощные супы, приправы; М: лечение желудка	Юго-Восточная Азия
	+	-	М: противогрибковое	Филиппины
<i>L. microcladia</i>	+	-	М: антитрипаносомная активность	Мексика

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>L. obtusa</i>	+	-	М: антибактериальное	Индия
	+	-	К: салаты, овощные супы; М: источник антиоксидантов, лечение желудка	Индонезия
	+	-	К; М: антибактериальное, противогрибковое	Филиппины
<i>Lithothamnion</i> spp.	+	-	СХ: для улучшения почвы;	Англия
	+	-	СХ: удобрения	Франция
<i>Mastocarpus</i> spp.	+	-	ПФ: каррагинан	Европа
<i>M. papillatus</i>	+	-	ПФ: каррагинан	Чили
<i>M. stellatus</i>	+	-	ПФ: каррагинан	Англия
	+	-	К; ПФ: каррагинан	Ирландия
	+	-	ПФ: каррагинан	Португалия
	+	-	ПФ: каррагинан	Испания
<i>Mazzaella laminarioides</i> [= <i>Iridaea laminarioides</i>]	+	-	ПФ: каррагинан	Чили
<i>M. membranacea</i> [= <i>Iridaea membranacea</i>]	+	-	ПФ: каррагинан	Чили
<i>Meristotheca</i> spp.	+	+	К: салаты	Юго-Восточная Азия
<i>M. papulosa</i>	+	+	К: салаты; М: народная медицина; СХ: удобрения	Япония
	+	+	К: салаты; М: противораковое	Тайвань
<i>M. procumbens</i>	+	-	К: салаты	Фиджи
<i>Myriogramme livida</i> [= <i>Nitophyllum lividum</i> , <i>Prionitis ramosissima</i>]	+	-	К: салаты	Вьетнам
<i>Nemalion vermiculare</i>	+	-	К: салаты	Корея
<i>Neorhodomela larix</i>	+	-	М: антибактериальное, источник антиоксидантов	Япония
<i>Osmundea pinnatifida</i> [= <i>Laurencia pinnatifida</i>]	+	-	К: специи	Азорские острова
<i>Palisada perforata</i> [= <i>Laurencia papillosa</i>]	+	-	К: салаты, гарниры, супы	Кения
	+	-	К; М: антибактериальное, противогрибковое; ПФ: агар, СХ: удобрения	Филиппины
<i>Palmaria palmata</i> [= <i>Rhodymenia palmata</i>]	+	-	СХ: удобрения; К; М: источник витаминов, минералов, йода; лечение кожных болезней, головной боли; слабительное	Европа
	+	-	К: салаты	Америка
	+	-	К: салаты	Канада
	+	-	К: салаты	Англия
	+	+	К: салаты, соленья	Франция
	-	+(Э)	К; КЖ: корм для абалоне	Германия
	+	-	М: противодиабетическое, противораковое; СХ: корм для крупнорогатого скота	Ирландия
	+	-	СХ: удобрения	Исландия
<i>Parviphycus tenuissimus</i> [= <i>Gelidiella tenuissima</i>]	+	-	К: салаты, супы	Бангладеш
<i>Phyllospora comosa</i>	+	-	КЖ: корм для половозрелого абалоне	Австралия
<i>Phymatholithon calcareum</i>	+	-	СХ: удобрения, улучшающие почву	Англия
<i>Plocamium corallorhiza</i>	+	-	КЖ: корм для абалоне	Южная Африка

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>Polysiphonia</i> spp.	+	-	КЖ: корм для абалоне	Австралия
	+	-	М: антибактериальное	Индия
<i>P. morrowii</i>	+	-	М: антиоксидант	Япония
<i>Porphyra</i> spp.	+	-	К: супы, гарниры, салаты	Америка
	+	-	К: супы, гарниры	Аргентина
	+	-	К: салаты	Израиль
	+	+	К: пластинки нори, роллы с рисом, овощные супы; М: противораковое	Япония
	+	+	К: пластинки нори, овощные супы; М: лечение зоба, моче-половых болезней, водянки	Корея
	+	+	К: пластинки нори; М: антибактериальное	Новая Зеландия
	+	-	М: противогрибковое, понижающее артериальное давление и содержание холестерина	Филиппины
<i>P. abbotiae</i>	+	-	К: салаты	Аляска
<i>P. acanthophora</i>	+	-	К: пластинки нори	Бразилия
<i>P. atropurpurea</i>	+	-	К: сладкие желе с кокосовым молоком, овощные супы; М: лечение зоба, мочеполовых болезней и водянки	Индонезия
<i>P. columbina</i>	+	-	К: салаты	Чили
	+	-	К: готовят с рыбой и моллюсками	Перу
<i>P. crispata</i>	+	-	К: салаты, супы	Япония
	+	-	К: салаты, супы	Филиппины
	+	-	К: салаты, супы	Таиланд
	+	-	К: супы	Вьетнам
<i>P. haitanensis</i>	+	+	К: супы	Китай
<i>P. kuniedae</i>	+	-	К: супы	Корея
<i>P. laciniata</i>	+	-	М: лечение заболеваний нервной системы	Шотландия
<i>P. leucosticta</i>	+	-	К: добавляют в омлет	Азорские острова
<i>P. perforata</i>	+	-	К: пластинки нори	Мексика
<i>P. seriata</i>	+	-	К: пластинки нори, салаты	Япония
<i>P. spiralis</i>	+	-	К: пластинки нори	Бразилия
<i>P. suborbiculata</i>	+	-	К: салаты	Китай
	+	-	К: пластинки нори	Япония
	+	-	К: пластинки нори	Корея
	+	-	К: салаты	Филиппины
	+	-	К: супы	Вьетнам
<i>P. tenera</i>	+	-	К: салаты, супы	Япония
<i>P. torta</i>	+	-	К: салаты, супы	Аляска
<i>P. umbilicalis</i>	+	-	К: салаты, супы	Франция
	+	-	К: салаты, супы	Япония
<i>P. vietnamensis</i>	+	+	К: роллы с рисом, супы, нори	Япония
	+	+	К: салаты, супы, нори	Корея
	+	-	К: салаты	Таиланд
	+	-	К: салаты, супы	Вьетнам
<i>P. yezoensis</i>	+	+	К: салаты, супы, нори	Китай
	+	+	К: роллы с рисом; М: противодиабетическое, противораковое	Япония
	+	+	К: салаты, супы, нори	Корея

Род и вид	П	В	Область применения	Использование в странах и регионах
<i>Prionitis articulata</i> [= <i>Carpopeltis articulata</i>]	+	-	М: антибактериальное, противогрибковое	Филиппины
<i>Pterocladia</i> spp.	+	-	ПФ: агар	Египет
<i>P. lucida</i>	+	-	ПФ: агар	Новая Зеландия
<i>P. lyallii</i>	+	-	М: лечение генитального герпеса	Филиппины
<i>Pterocладиella</i> spp.	+	-	М: противовирусное	Юго-Восточная Азия
<i>P. capillacea</i> [= <i>Pterocladia capillacea</i> , <i>Pterocladia pyramidale</i>]	+	-	ПФ: агар	Азорские острова
	+	+(Э)	ПФ: агар	Бразилия
	+	-	К: желе; ПФ: агар	Япония
	+	-	К: желе	Корея
	+	-	ПФ: агар	Новая Зеландия
	+	-	ПФ: агар	Перу
	+	-	К: салаты; ПФ: агар	Филиппины
<i>Ptilophora subcostata</i> [= <i>Gelidium subcostatum</i>]	+	-	ПФ: агар высокого качества	Япония
	+	-	КЖ: корм для абалоне	Австралия
<i>Rhodymenia</i> spp.	+	-	М: противогрибковое	Индия
<i>Sarconema filiforme</i> [= <i>Sarconema furcellatum</i>]	+	-	М: противогрибковое	Индия
<i>Sarcothalia atropurpurea</i> [= <i>Gigartina atropurpurea</i>]	+	+(Э)	ПФ: каррагинан	Новая Зеландия
<i>S. crispata</i> [= <i>Iridaea crispata</i>]	+	-	ПФ: каррагинан	Чили
<i>Scinaia moniliformis</i>	+	-	К: овощные рагу	Юго-Восточная Азия
	+	-	К: овощные рагу	Филиппины
<i>Solieria robusta</i>	+	-	К: салаты	Мьянма
<i>Tricleocarpa fragilis</i> [= <i>Galaxaura oblongata</i>]	+	-	ПФ: сульфатированные полисахариды	Филиппины
<i>Wrangelia</i> spp.	+	-	М: антибиотическое, противогрибковое	Филиппины
<i>Wrangelia penicillata</i>	+	-	М: антибактериальное	Филиппины
Синезеленые водоросли CYANOBACTERIA				
<i>Lyngbya</i> spp.	+	-	М: антибактериальное, противовирусное, противогрибковое	Филиппины
Морские травы Seagrasses (TRACHEOPHYTA)				
<i>Zostera</i> spp.	+	-	СХ: удобрения	Португалия
	+	-	М: зостерин	Россия
<i>Z. marina</i>	+	-	М: антибактериальное, антимикробное; источник антиоксидантов	Япония
	+	-	М: антимикробное; источник антиоксидантов	Корея
<i>Ruppia</i> spp.	+	-	СХ: удобрения	Португалия
<i>Potamogeton</i> spp.	+	-	СХ: удобрения	Португалия

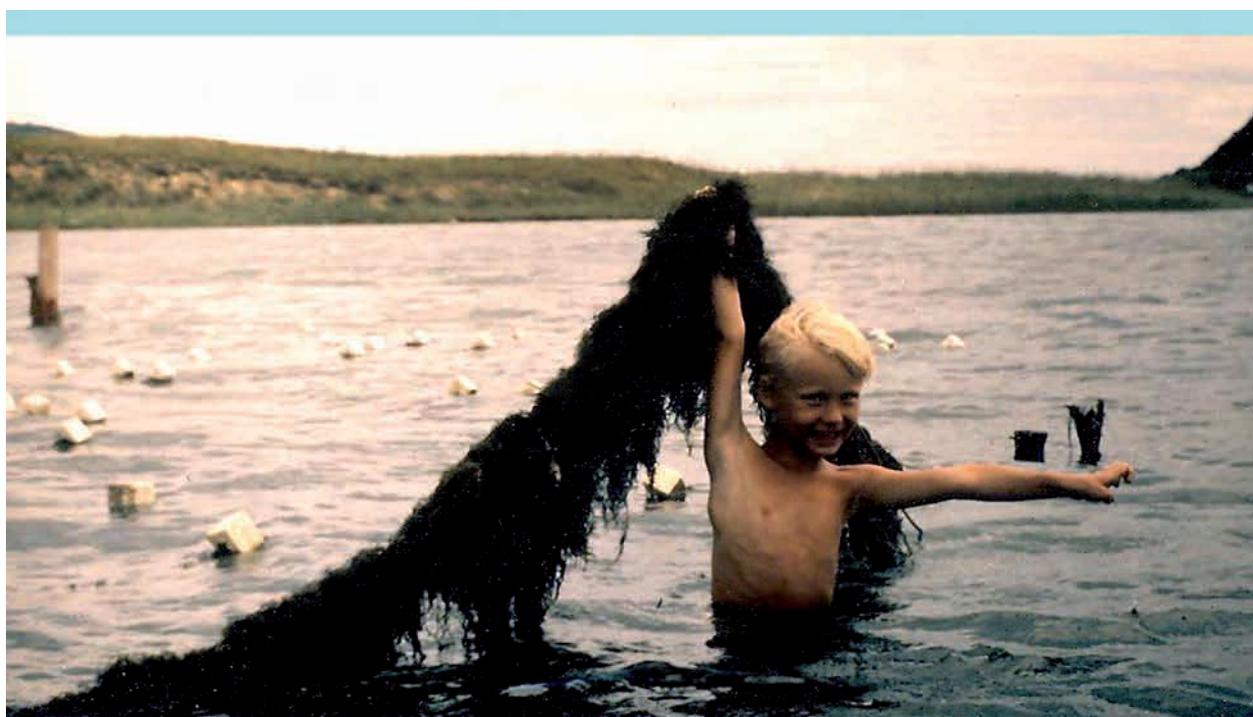
Примечание. Таблица составлена на основе литературных данных из книг и статей, приведенных в разделе «Литература».

Приводятся современные названия видов, в квадратных скобках даны недавние синонимы этих названий. Сокращения: П – природные запасы; В – выращивание; АТ – альтотерапия; -(И) – импортируемые виды; К – кулинария; КЖ – корм животным; М – медицина; ПФ – производство фикоколлоидов; СХ – сельское хозяйство; +(Э) – экспериментальное культивирование.

3.1. «ОВОЩИ» ИЗ МОРЯ

В табл. 3 показано, что более 300 видов водорослей в разных странах люди используют в пищу. Из водорослей готовят более 2000 блюд и около 30 напитков. Из свежих и вареных водорослей готовят салаты. Водоросли используют с различными соусами, мясом, рыбой, овощами. Солености из водорослей употребляют как приправы или гарниры; сухие водоросли, растертые в муку, употребляют как специи, их добавляют в различные пасты и пудинги, кисели и муссы, сладкие и острые желе и т.д. Из напитков основным является чай из бурых водорослей, а также густые сладкие напитки из красных водорослей с алкоголем и без него. Особенно вкусны и широко известны супы из зеленых, бурых и красных водорослей. «Королевой» супа является моностромма (*Monostroma* spp.), очень вкусны в супе порфира (*Porphyra* spp.), ламинария (*Laminaria* spp.) и сахарина (*Saccharina* spp.). Такие водоросли, как каулерпу (*Caulerpa* spp.), ламинарию, сахарину, ундарию (*Undaria* spp.) и порфиру, не только собирают в море, но и культивируют специально для употребления в пищу.

Пища из морских водорослей малокалорийна, вкусна и полезна. Она очищает желудочно-кишечный тракт и кровь от отходов метаболизма и вредных веществ и поэтому благоприятствует здоровью и долголетию. Свежие морские водоросли состоят на 80–90% из воды, сухие водоросли содержат 80–90% углеводов и белка, большой набор биологически активных веществ (полиненасыщенные жирные кислоты, каррагинаны, фукоиданы, пектины, альгиновая кислота, стерины, каротиноиды, хлорофиллы). В состав водорослей входят практически все необходимые для человека витамины и минералы. Содержание фикоколлоидов-полисахаридов в морских водорослях может достигать 60% (в расчете на сухую массу). Полисахариды морских растений отличаются по структуре от полисахаридов высших наземных растений. Так, бурые водоросли содержат в больших количествах альгиновую кислоту, красные – агар и каррагинан. Полисахариды водорослей используются как загустители и гелеобразующие пищевые добавки.



Урожай грацилярии на плантациях Института биологии моря, Россия



Рис. 27. Сбор грацилярии и саргассума в зал. Шон Хай (Вьетнам). Апрель 2007 г.

Агар нерастворим в холодной воде, но растворяется в горячей. Одним из главных свойств агара является способность его водных растворов при охлаждении превращаться в твердые, прочные гели, плавящиеся при температуре только выше 80°C. Эти свойства агара дают возможность использовать его в приготовлении пудингов, желе, пастилы, мармелада – низкокалорийной пищи (агар не переваривается в ЖКТ человека), богатой витаминами и микроэлементами.

Каррагинан обладает высокой вязкостью в растворах, хорошо смешивается с различными жидкостями и является наилучшим стабилизатором, эмульгатором и наполнителем по сравнению с такими веществами, как альгиновая кислота, агар и пектин. Кроме этих полисахаридов, являющихся основными составляющими клеточных стенок, водоросли содержат также запасные полисахариды, которые накапливаются в растениях как резервный материал для дыхания и вторичных синтезов. К ним относятся крахмал из зеленых водорослей, ламинарин из бурых и флоридан из красных водорослей. Запасные полисахариды водорослей имеют пищевую ценность как для человека, так и для животных.

Таким образом, водоросли являются малокалорийной и полезной пищей, а для того чтобы читатель мог познакомиться со вкусом водорослей и на себе почувствовать их полезность, мы предлагаем 96 рецептов приготовления блюд и напитков из водорослей. Часть из этих рецептов опубликована в книгах Л. Зенкевича и Г. Коробкиной (1968), S. Arasaki, T. Arasaki (1983), E. McConnaughey (1985); E. Lesley (1998); W.R. Tylor (2009); F.W. Wheaton, T.B. Lawson (1985), а часть записана со слов поваров азиатской и европейской кухонь.

3.1.1. РЕЦЕПТЫ БЛЮД И НАПИТКОВ ИЗ ВОДОРОСЛЕЙ СТРАН АТР

Каулерпа, или морской виноград – *Caulerpa* spp. (Chlorophyta)

Многие виды каулерпы (рис. 28) используют в салатах или едят в сыром виде. Выращивают каулерпу в закрытых прудах или открытых лагунах. Собирают обычно весной или осенью, засаливают или едят в свежем виде (Arasaki, Arasaki, 1983).

1. Желе из морского винограда (Япония)

1 литр сока морского винограда, 5 столовых ложек (ст. ложек) сока лимона или лайма (гибрид цитрусовых, напоминает лимон), 1 упаковка пектина, сахар по вкусу.

Водоросль промыть, положить в кастрюлю с водой (1 чашка воды на 2 чашки водоросли), довести до кипения. Потолочь слоевища водоросли в кастрюле до получения мягкой массы и продолжать варить около 25-30 минут, затем массу процедить через марлю, сложенную в несколько слоев (не выжимать). 1 литр сока поместить в широкий котелок, поставить на сильный огонь, добавить сок лимона или лайма, а также пектин и довести смесь до кипения, добавить сахар и варить на сильном огне 1 минуту, постоянно помешивая. Убрать котелок с огня, снять пенку с поверхности жидкости и, если необходимо, накрыть его крышкой, остудить.



Рис. 28. *Caulerpa lentillifera*, выросшая в аквариумах Морской биологической станции Сесоко (Япония, Окинава), май 2002 г.

2. Суп из соевых проростков, капусты и *Caulerpa lentillifera* (Япония)

50 г водоросли, 100 г соевых проростков, 100 г белокочанной капусты, 5 г имбиря, 10 г репчатого лука, соль, растительное масло.

Поджарить лук и имбирь, влить в сковороду 1 литр воды, добавить проростки, капусту и водоросль, варить на умеренном огне 45 минут, после чего добавить масло и соль по вкусу.

3. Морской виноград с васаби (Вьетнам)

50 г водоросли, паста васаби.

Первый способ: промыть водоросль в тёплой воде (30–40°C), добавить васаби. Второй способ: погрузить водоросль в обычную воду на 5–8 минут, вынуть, добавить васаби.

4. Салат из каулерпы (*Caulerpa lentillifera*) (Вьетнам)

100 г морского гребешка (моллюск), 50 г свежей каулерпы, 50 г нори (пластины красной водоросли *Porphyra* sp.), 300 г салата, ½ лука-порей, ½ овощного желтого перца, 50 г помидоров. Соус: 2 ст. ложки столового уксуса, 2 ст. ложки сахара, 1 ст. ложка растительного масла, ½ чайной ложки (ч. ложки) черного молотого перца.

Пропарить морской гребешок, нарезать лук-порей, помидор, перец и салат; промыть каулерпу, нарезать квадратиками пластинки нори. Все это уложить в тарелку и полить соусом.

5. Омар с каулерпой (Вьетнам)

300 г омара, 50 г каулерпы, краснокочанная капуста, огурец, морковь, овощной перец или паприка, 50 г белого вина. Соус: 1 ст. ложка майонеза, 1 ст. ложка кетчупа, ½ ч. ложки черного молотого перца, ½ ч. ложки коньяка, паста васаби (по вкусу).

Омар отварить в вине, вынуть из панциря и разложить на тарелке. Овощи нашинковать и вместе с каулерпой и отваренным омаром выложить в панцирь омара. Смешать пополам майонез с кетчупом, добавить черный молотый перец и коньяк. Полить этой смесью блюдо, украсить майонезом и васаби.

6. Суп из морского винограда (Япония)

100 г фарша из свинины, 1 куриный окорок, грибы, 50 г нори, 50 г каулерпы, 1 репа, 3 ч. ложки специй, ¼ ч. ложки черного молотого перца, лук репчатый, немного воды, щепотка сахара.

В фарш из свинины добавить 1 ч. ложку специй и ¼ ч. ложки перца, скатать из фарша шарики. Промыть куриный окорок и порезать его на дольки. В кипящую воду опустить репу, шарики из фарша, дольки окорока, грибы, каулерпу, нори, специи, сахар и выключить печь. Позже в суп добавить лук.

7. Цыпленок с морским виноградом (Япония)

200 г мяса цыпленка, 100 г водоросли, 1 лук-порей, 2 ч. ложки специй, 1–2 ч. ложки черного молотого перца, 1 ч. ложка сахара, растительное масло.

Промыть мясо, порезать на дольки, добавить специи, перец и растительное масло. Промыть морской виноград, обсушить. Лук-порей порезать длинными кусочками. Поджарить мясо цыпленка, добавить лук-порей, специи, сахар (по вкусу) и морской виноград, все равномерно перемешать, тушить несколько минут, после чего выложить на тарелку.

8. Сладкий суп с каулерпой (Япония)

50 г нори, 50 г каулерпы, 100 г сочных семян граната, 300 г сахара, 1 литр воды.

Погрузить нори в воду, довести до кипения, добавить сахар и варить до полного его растворения, после чего смесь охладить. Добавить в холодный суп каулерпу и гранат, опять довести до кипения, затем остудить и поместить в холодильник.

9. Суп из морского винограда с бульонными кубиками (Япония)

1 чашка морского винограда, 2 л воды, 6 говяжьих или куриных бульонных кубиков.

Довести воду до кипения, добавить в нее бульонные кубики, затем постепенно добавлять слоевища водоросли. Варить до тех пор, пока водоросль не станет мягкой.

10. Морской виноград в качестве гарнира (Япония)

2 куриные грудки, 2 чашки риса, 1 маленькая горсть морского винограда, соль по вкусу.

Отварить рис. Обжарить куриные грудки. Разложить рис и курицу по тарелкам, добавить свежую каулерпу в качестве гарнира.

Ульва, или морской салат – *Ulva* spp. (Chlorophyta)

Ульва богата аминокислотами, витаминами А, В₃, В₁₂ и С, а также железом. Из ульвы (рис. 29) готовят салаты, супы и вторые блюда.



Рис. 29. Ульва на литорали в зал. Санья (о-в Хайнань, Китай)

11. Салат с *Ulva lactuca* (Япония)

6 помидоров среднего размера, 1 авокадо, 10 г сушеного морского салата, 4 ст. ложки оливкового масла, 2 ст. ложки столового уксуса, соль.

Разогреть духовку в течение 10 минут. Поджарить сушеные пластинки водоросли в течение 30 секунд, чтобы они стали хрустящими. Томаты порезать на кусочки (не слишком толстые). Разрезать авокадо на 2 половинки и вынуть мякоть ложечкой. В чашке смешать томаты, мякоть авокадо и морской салат, все растереть, добавить уксус, оливковое масло и соль (по вкусу). Уксус можно заменить половинкой лимона.

12. Спагетти с жареным чесноком и морским салатом (Япония)

500 г спагетти, 4 зубчика чеснока, 10 г сушеного морского салата, 6 ст. ложек оливкового масла, соль по вкусу.

Отварить спагетти в подсоленной воде. Подогреть духовку в течение 10 минут, поместить в нее морской салат на 30 секунд (до хрустящего состояния). В кастрюлю налить оливкового масла. Когда масло разогреется, добавить мелко нарезанный чеснок и обжарить. Выключить огонь и добавить мелко нарезанный морской салат, растереть. Полить спагетти этой смесью и перемешать.

13. Овощной суп с морским салатом (Япония)

4 кусочка моркови, лук-порей, 2 картофелины, 50 г свежего шпината, 10 г сушеного морского салата, 3 ст. ложки оливкового масла, соль, черный молотый перец, вода или овощной бульон.

Подогреть оливковое масло в кастрюле и добавить рубленые шпинат, лук-порей, морковь, картофель, морской салат, все перемешать и залить водой или овощным бульоном, варить до готовности.

14. Морской салат в качестве приправы (Япония)

Собрать морской салат, промыть несколько раз в пресной воде. Слоевища сушат медленно (около недели), раскладывая их на бумаге под солнцем или в теплой комнате. Водоросль может быть высушена в течение нескольких часов в духовке, но тогда остается не очень приятный запах. После сушки водоросль значительно уменьшится в размере и почернеет. Перед приготовлением их нужно раскрошить и использовать как приправу к рису, супам и другим блюдам.

Нитчатые виды ульвы (*Ulva spp.*), или зеленый салат (аонори)

Из-за своего приятного запаха зеленый салат часто используется как приправа для первых и вторых блюд. Водоросль очень богата белками, содержит много витамина А, ниацина, и витамина С, а также содержит железа в несколько раз больше, чем шпинат. При употреблении зеленого салата нормализуется содержание железа в организме. Эта водоросль является прекрасным дополнением к рациону тем людям, которым приходится придерживаться диеты (Arasaki, Arasaki, 1983).

15. Жареный гребешок с икрой морского ежа (Япония)

12 средних морских гребешков, глутамат, 1–½ ст. ложки икры морского ежа, ½ яичного желтка, порошок сушеной ульвы (аонори), 4 стебля имбиря, ½ чашки уксуса, 1 ст. ложка сахара, ¼ ч. ложки соли.

Мясо морского гребешка промыть, посолить и добавить глутамат. Хорошо перемешать икру морского ежа и яичный желток. Положить мясо гребешка на гриль и жарить около 5 минут, поливая время

от времени пастой из желтка и икры морского ежа. Когда мясо гребешка приобретет золотистый цвет, посыпать порошком аонори. *Гарнир*: стебли имбиря опустить в кипящую воду и затем замариновать (добавить ½ чашки столового уксуса, 1 ст. ложку сахара, и ¼ ч. ложки соли).

16. Жареный морской окунь (Япония)

4 ломтика морского окуня или другой белой рыбы, соль, 1 яичный желток, ½ ст. ложки водки, 1 ч. ложка пудры из аонори, маринованные стебли имбиря.

Рыбу слегка посолить. Смешать яичный желток с водкой. Обжарить ломтики рыбы, поливая их время от времени смесью из желтка и водки. Посыпать ломтики рыбы пудрой из аонори и опять обжарить их в течение нескольких минут на среднем огне. Добавить к рыбе маринованные стебли имбиря или маринованные огурцы.

17. Репа с зеленым салатом (Япония)

1 большая или 2–3 маленькие репы, ½ чашки крепкого бульона, 1 ч. ложка саке, 1/5 ч. ложки соли, 1 ч. ложка сахара, 4 г зеленого салата, пудра из аонори.

Очистить репу и порезать на круглые дольки. Бульон (вода, саке, соль и сахар) довести до кипения, добавить репу и немного (2 или 3 минуты) поварить до появления аромата, добавить зеленый салат. Сверху репу посыпать пудрой из аонори.

Саргассовые водоросли – *Sargassum* spp. (Heterokontophyta)

Саргассовые водоросли (рис. 30) являются богатейшим источником фукоидана, минералов и альгиновой кислоты. Из саргассумов готовят чай – один из наиболее популярных напитков в странах АТР. Во Вьетнаме и Индонезии *S. polycystum*, *S. oligocystum*, *S. mcClurei*, *S. aquifolium* [= *S. binderi*] готовят с овощами, молодые побеги саргассума едят в свежем виде (Huynh, Nguyen, 1998; Istini et al., 1998). Саргассы употребляют в профилактических целях, а также для поддержания здоровья.

18. Саргассум с мясом или рыбой (Вьетнам)

Слоевище саргассума, 1 помидор, мясо или рыба (лучше рыба), соль, рыбный соус (нюок мам).

Слоевища водоросли тщательно промыть, нарезать кусочками (2–3 см) и варить вместе с мясом или рыбой, добавить помидор, соль или рыбный соус.

19. Чай из саргассума (Вьетнам)

Сушеные слоевища саргассума (*Sargassum mcClurei*) промыть в холодной воде (можно из пакетика с этикеткой ОСОБЕННЫЙ ПРОДУКТ НЯЧАНГА), заварить кипящей водой в чайнике и принимать в течение дня.

20. Сладкий напиток из саргассума (Вьетнам)

Молодые слоевища саргассума, сахар.

Свежие или сушеные слоевища саргасса промыть в холодной воде, варить (недолго), добавить сахар по вкусу и лед. Обычно этот напиток предпочитают женщины и дети.



Рис. 30. Саргассум из зал. Нячанг (Вьетнам)

Морская капуста – *Saccharina japonica* (Heterokontophyta)

Морская капуста (рис. 31) содержит значительное количество минеральных веществ: соли калия, натрия, магния, железа, алюминия, йод, бром, хром, марганец, кальций, а также альгиновую кислоту, ламинаран, маннитол, фукоидан, углеводы, белки, глюкозу, различные витамины (каротин, ниацин, витамин А, С и витамины группы В) (Подкорытова, Буянкина, 1986; McConnaughey, 1985). Для приготовления блюд из *S. japonica* (комбу), следуя японским рецептам, очень важно правильно подготовить исходный материал.

21. Бульон из комбу

Обычно необходимо от 20 до 50 г сушеной водоросли, чтобы приготовить 1 литр бульона (исходный материал для супов и других блюд). Тщательно промыть и очистить слоевища от механических примесей, затем выдержать их в кастрюле с водой 30–60 минут и поставить на медленный огонь. Как только вода закипит, кастрюлю необходимо убрать с огня. Водоросль не рекомендуется кипятить, так как может возникнуть неприятный запах, а также разрушатся полисахариды, а суп станет липким.

22. Бульон из комбу и тунца

1 л воды, 20 г сушеной водоросли и 10–30 г стружки из сушеного мяса тунца.

Тщательно промыть водоросль, положить в кастрюлю с водой, на медленном огне довести до кипения и сразу убрать с огня. Добавить стружку из тунца и снова довести бульон до кипения, после



Рис. 31. Сушка морской капусты. Дальний Восток России, май 2002 г.

чего процедить через ткань. Этот отвар называют первым исходным материалом. Он используется для супов и бульонов. Водоросль с тунцом не нужно выбрасывать. Их можно еще раз отварить в воде и получить второй бульон. Из самой водоросли можно приготовить блюдо, добавив соевый соус и сахар. Это блюдо подается с отварным рисом.

23. Суп из соевой пасты и яиц (Япония)

2 г сушеной водоросли (комбу), 1 яйцо, 1 стебель (10 г) съедобной хризантемы, 1–1/2 чашки крепкого бульона из костей, 1 ст. ложка соевой пасты.

Подогреть бульон, растворить в нем соевую пасту и добавить водоросль. Когда бульон начнет закипать, вбить в него сырое яйцо, добавить щепотку лепестков хризантемы и выключить печь. Суп можно считать готовым, когда яичный белок свернется.

24. Суп на курином бульоне и комбу (Япония)

Курица 360 г, 120 г лука репчатого, 30 г моркови, 60 г сельдерея, 1/5 чашки сырого риса, 20 г сливочного масла, 6 чашек воды, 6 ч. ложек порошка из комбу, 3 ч. ложки соли, 1/2 ч. ложки черного молотого перца, бульон из комбу.

Положить курицу в кастрюлю с бульоном из комбу и довести до кипения, снять пенку с поверхности бульона. Нарезать овощи и обжарить их в масле. Промытый рис и овощи опустить в кипящий бульон и варить до готовности. Вынуть курицу, удалить из нее кости, мясо положить в кастрюлю и довести до кипения. В конце варки добавить порошок из комбу, соль и перец по вкусу. Подавать горячим.

25. Трехцветный винегрет (Япония)

300 г дайкона, 60 г моркови, 1 полоска сушеной комбу (30 г), 3 ч. ложки соли, 3 ст. ложки рисового уксуса, 3 ст. ложки сахара.

Дайкон и морковь очистить. Нарезать овощи и водоросль соломкой ~4 см длиной. Посыпать солью, хорошо перемешать и оставить на 10 минут. Когда морковь и дайкон станут мягкими, промыть в воде и отжать насколько это возможно. Заправить уксусом, сахаром, солью по вкусу и все хорошо перемешать.

26. Огурцы с комбу (Япония)

3–4 свежих огурца, комбу, красный острый перец (чили), 2 чашки соевого соуса, соль.

Водоросль нарезать на тонкие полоски. Посолить огурцы, завернуть их в мягкую салфетку и оставить на некоторое время, затем огурцы промыть и порезать. Измельчить перец. Соединить комбу, огурцы и перец в чашке. Все полить соевым соусом и выдержать ~12 часов, время от времени помешивая.

27. Баклажаны с зеленым перцем и комбу (Япония)

5 зеленых овощных перцев, 2 маленьких баклажана, 1 полоска комбу, 3 ст. ложки соевого соуса, 1–1/2 ст. ложки сладкой водки или вишневого ликера, соль.

Очистить перцы от семян и нарезать соломкой. Разрезать баклажаны на половинки, вымочить в подсоленной воде и затем нарезать полосками. Протереть полоску комбу влажной салфеткой, нарезать соломкой, слегка посолить. Натереть баклажаны и зеленый перец на терке, отжать их (насколько это возможно). Соединить овощи с комбу, полить соевым соусом и сладкой водкой, перемешать и выдержать ~30 минут.

28. Суп сахалинский (Россия)

300–400 г свинины, бульон из костей, 5–6 картофелин, 2–3 моркови, 2–3 головки репчатого лука, отварная морская капуста, 4 ч. ложки сметаны, соль, специи по вкусу, зелень.

Мясо нарезать тонкими ломтиками и обжарить. Добавить в обжаренное мясо морскую капусту, нарезанную соломкой, морковь, лук репчатый и жарить 5–10 минут. В готовый бульон из костей положить очищенный и нарезанный брусочками картофель, варить ~15 минут, в конце варки добавить обжаренные мясо с овощами, соль, специи.

29. Щи морские (Россия)

300–400 г свинины, бульон из костей, 100–150 г отварной морской капусты, 2–3 моркови, 4 ч. ложки сметаны, соль, специи и зеленый лук по вкусу.

Свинину нарезать кубиками и слегка обжарить, затем добавить нарезанные соломкой морскую капусту, морковь, лук и продолжать обжаривать 5–10 минут. В готовый бульон, сваренный из костей, положить обжаренные мясо с овощами и морской капустой, соль, специи и варить 10 минут. При подаче на стол добавить сметану и мелко нашинкованный лук.

30. Рассольник дальневосточный (Россия)

Бульон из костей, 100–150 г отварной морской капусты, 5–6 картофелин, 1–2 головки репчатого лука, 2–3 корня петрушки, 3–4 соленых огурца, 2 ст. ложки масла топленого или маргарина, 2 ст. ложки сметаны, соль, специи, зелень по вкусу.

Отварную морскую капусту нарезать соломкой, обжарить вместе с корнем петрушки и луком, положить в готовый бульон, туда же опустить нашинкованные огурцы. В конце варки добавить специи. При подаче к столу добавить сметану и зелень.

31. Маринованная морская капуста (Россия)

Морская капуста свежая или свежемороженая 600–700 г. Маринад: 2–3 стакана воды, сахар, соль, уксус, гвоздика и лавровый лист по вкусу.

Отварить морскую капусту, охладить и нашинковать в виде лапши. Залить холодным маринадом и выдержать 8–10 часов. Для приготовления маринада в горячую воду добавить сахар, соль, гвоздику, лавровый лист и варить 10–15 минут. Раствор слить, охладить и добавить уксус по вкусу.

Маринованную капусту можно подавать как гарнир к мясным, рыбным блюдам, а также использовать для приготовления салатов.

32. Борщ с морской капустой (Россия)

100–50 г маринованной морской капусты (см. рецепт 31), 4–5 небольших свёкол, 2–3 моркови, 2–3 корешка петрушки, лук репчатый 1–2 шт., 1–2 картофелины, 1 ст. ложка томатной пасты, 4 ч. ложки сметаны, 1–2 ст. ложки 3%-ного уксуса, соль, специи, зелень по вкусу.

Свёклу, морковь, корень петрушки и лук очистить, промыть, нарезать соломкой и положить в кастрюлю, добавить томат и тушить 20 минут. Затем добавить морскую капусту и продолжать тушить. В кипящий бульон, оставшийся после варки морской капусты, положить картофель, нарезанный брусочками, в конце варки добавить тушеные овощи и специи, соль, уксус и сахар (по вкусу). При подаче в тарелку добавить сметану и мелко нарезанную зелень.

33. Котлеты с морской капустой (Россия)

400–500 г говядины, 100 г отварной морской капусты, ½ городской булочки, ½ стакана молока или воды, 4 ст. ложки панировочных сухарей, 2–3 ст. ложки жира, соль, специи.

Отварную морскую капусту соединить с подготовленным мясом, булочкой, замоченной в молоке или воде, все пропустить через мясорубку, добавить соль, перец, перемешать. Приготовленные котлеты панировать в сухарях и обжарить на растительном масле с обеих сторон. Подавать к столу с картофельным пюре, жареным картофелем, рассыпчатой кашей или отварными макаронами, политыми сверху растопленным маслом.

34. Рулет мясной с яйцом и морской капустой (Россия)

400–500 г говядины, ½ городской булочки, ¼ стакана молока или воды, 2 яйца, 150 г отварной морской капусты, панировочные сухари, 2–3 ст. ложки жира, соль, специи, зеленый лук.

Подготовленное мясо, булочку, замоченную в молоке или воде, пропустить через мясорубку, добавить соль, перец, перемешать. На салфетке, смоченной водой, разложить котлетную массу слоем 1,5–2 см, сверху положить рубленые яйца (сваренные вкрутую), смешанные с отварной морской капустой, нарезанной соломкой и нашинкованным зеленым луком. Края салфетки соединить так, чтобы один край котлетной массы заходил на другой. Положить рулет на сковороду, смазанную жиром. Поверхность рулета смазать яйцом, посыпать панировочными сухариками, сбрызнуть жиром и запечь в духовке. Готовый рулет полить растопленным маслом. Подавать с макаронами, гречневой кашей.

35. Рагу овощное (Россия)

5–6 картофелин, 100–150 г отварной морской капусты, морковь 4–6 шт., 1–2 корня петрушки, 3–4 ст. ложки консервированного зеленого горошка, лук репчатый 2–3 шт., 1–2 ст. ложки томат-пасты, 3–4 ст. ложки растительного масла, чеснок, соль, перец черный молотый, лавровый лист, зелень.

Очищенный картофель, нарезанный ломтиками, обжарить, положить в кастрюлю, добавить обжаренные в масле морковь, корень петрушки, томат-пюре, немного воды и тушить 10–15 минут на сла-

бом огне. В конце тушения добавить консервированный зеленый горошек, отварную морскую капусту, нарезанную соломкой, соль, перец, лавровый лист и растертый чеснок.

36. Салат дальневосточный из морской капусты с клюквой (Россия) (рис. 32)

100–150 г маринованной морской капусты, 100–150 г белокочанной квашеной капусты, 3–4 картофелины, лук репчатый 1–2 шт., 2–3 ст. ложки растительного масла, соль, черный молотый перец, зелень, клюква.

Смешать нашинкованную маринованную морскую капусту с белокочанной квашеной капустой. Картофель отварить, очистить, нарезать ломтиками. Лук репчатый очистить, промыть и нашинковать. Подготовленные овощи соединить, посолить, поперчить, полить растительным маслом и тщательно перемешать. При подаче на стол посыпать мелко нарезанной зеленью петрушки.

37. Винегрет овощной с морской капустой (Россия)

100–150 г морской капусты, 2–3 моркови, 2–3 свёклы, 3–4 картофелины, 1–2 соленых огурца, 50–100 г репчатого или зеленого лука, 1–2 ст. ложки растительного масла, 1–2 ст. ложки 3%-ного уксуса, соль, сахар, черный молотый перец по вкусу.

Картофель, свеклу, морковь отварить, очистить, охладить и нарезать тонкими ломтиками. Огурцы промыть, нарезать тонкими ломтиками, смешать с овощами, добавить нашинкованный зеленый или репчатый лук, маринованную капусту, заправить растительным маслом, уксусом, солью, перцем, сахаром и хорошо перемешать. При подаче винегрет посыпать нашинкованным зеленым луком.

38. Морская капуста под майонезом (Россия)

100–150 г маринованной морской капусты, 50–100 г майонеза, 1–2 яйца.

В маринованную морскую капусту (см. рецепт 31) добавить часть мелко нарубленных яиц, сваренных вкрутую, заправить майонезом, выложить в салатник горкой и украсить дольками яйца.



Рис. 32. Салат из морской капусты с клюквой (Россия)

39. Комбу с соевым соусом и медом (Япония)

1/2 слоевища морской капусты, 1 чашка бульона из комбу, 2 ч. ложка меда, 1 ч. ложка растительного масла, 1/3 чашки соевого соуса, 2 зубчика чеснока.

Отварить морскую капусту в течение 30 минут, порезать на тонкие полоски, добавить мед, масло, соевый соус и измельченный чеснок. Поместить всё на 10 минут в кастрюлю с толстым дном, добавить бульон из комбу (способ приготовления бульона из комбу см. рецепт 21), закрыть крышкой и поставить в холодильник на 2 часа.

40. Морская капуста с корнем лотоса (Япония)

300 г корня лотоса, 1 слоевище морской капусты, 2 стакана воды. Соус для варки: 1/4 стакана сёю (японский соевый соус), 1,5 ст. ложки десертного вина, 3 ст. ложки водки.

Предварительно очищенный корень лотоса нарезать тонкими кружочками и замочить в уксусе с водой, чтобы он не потерял цвет, а затем промыть и обсушить. Налить в кастрюлю 2 стакана горячей воды, добавить нашинкованную морскую капусту и корень лотоса и варить при слабом кипении, пока они не станут мягкими. Смешать вино, водку и сёю, а затем вылить эту смесь в кастрюлю и продолжать варить при слабом кипении, пока большая часть жидкости не впитается в овощи.

41. Бульон даси (Япония)

Морская капуста (~10 см длиной), 900 мл воды, 40 г стружки сушеного мяса тунца.

Протереть слоевище капусты влажной тканью, разрезать на 3–4 полоски, положить в кастрюлю и залить водой так, чтобы она покрывала водоросль. Через час поставить кастрюлю на средний огонь. Непосредственно перед тем, как вода закипит, вынуть полоски водоросли (их следует нарезать соломкой и использовать для приготовления супа), добавить в воду стружку тунца. Снять кастрюлю с огня и дать постоять, пока стружка не осядет на дно. Процедить бульон через марлю.

42. Куриные роллы в комбу (Япония)

30 г комбу, 200 мл воды, 200 г куриных грудок и бедер, 60 мл бульона из комбу (даси, см. рецепт 41), 1 ст. ложка сахара, 4 ст. ложки sake, 2 ст. ложки сладкой водки, 3 ст. ложки соевого соуса.

Слоевище водоросли вымочить в воде около 10 минут, воду не выливать. Порезать комбу на прямоугольные полоски (5×10 см). Порезать курицу на кусочки толщиной около 5 см (примерно такое же





Рис. 33. *Undaria pinnatifida*, Дальний Восток России, бух. Троицы, август 2007 г. (фото А.В. Скрипцовой)

количество, как и комбу). Разложить кусочки курицы на полоски водоросли и завернуть их в полоски. Проткнуть роллы деревянной шпажкой. Поместить роллы в кастрюлю и добавить бульон даси и воду, в которой вымачивалась водоросль. Вырезать из фольги круг диаметром меньше, чем кастрюля, и накрыть роллы. Варить, пока комбу не станет мягкой. Добавить сахар, саке, сладкую водку, соевый соус и продолжать варить еще 15 минут.

Ундария перистонадрезная, или вакаме – *Undaria pinnatifida* (Heterokontophyta)

Ундария (рис. 33) богата белками, витаминами и минералами. Из нее делают салаты, готовят супы, едят соленой, сушеной или в свежем виде. Она имеет прекрасный вкус и очень полезна (McConnaughey, 1985).

43. Морской салат из ундарии с сахаром (Россия)

30 г сушеной ундарии, 1 свежий огурец, 4 ст. ложки рисового уксуса, 3 ст. ложки соевого соуса, 2 ч. ложки сахара, 1/4 ч. ложки соли.

Замочить ундарию на 20 минут в теплой воде, а затем промыть в холодной, обсушить и удалить твердые прожилки, затем порезать. В небольшой сковороде смешать уксус, соевый соус, сахар, и эту смесь поставить на огонь до растворения сахара, после чего остудить. Очистить огурец, разрезать вдоль, а затем его настрогать, посолить и оставить на несколько минут, отжать и соединить с водорослью и заправить блюдо приготовленной смесью.

44. Молодой бамбук с ундарией (вакаме) (Япония)

*¾ проростка молодого вареного бамбука, нарезанного кусочками, ½ чашки бульона даси (см. рецепт 41), 3 ст. ложки соевого соуса, 3 ст. ложки сладкой водки, ¼ слоевища ундарии, нарезанной кусочками, листья саншо (японская слабожгучая приправа из листьев пряного растения зубного дерева (*Zanthoxylum sansho*) для гарнира.*

Поместить бамбук и бульон даси в большую кастрюлю и довести до кипения. Уменьшить огонь, добавить сладкую водку и соевый соус. Закрыть крышкой на 15 минут. Добавить ундарию и варить при слабом кипении в течение нескольких минут. Подавать горячим вместе с листьями саншо.

45. Салат с авокадо, ундарией (вакаме) и яблоками (Япония)

1 ст. ложка оливкового масла, 1 ст. ложка лимонного сока, соль, черный молотый перец по вкусу, 1 маленький авокадо и 1 яблоко Фуджи (очищенные от кожуры и нарезанные соломкой), 1 слоевище вакаме, размоченное, подсушенное и нарезанное соломкой.

Взбить лимонный сок и оливковое масло, посолить, поперчить. Соединить авокадо, яблоко и вакаме, нарезанные соломкой, перемешать и заправить взбитой смесью.

46. Суп мисо с ундарией (вакаме) и тофу (Япония)

На 4 порции: 1,5 ст. ложки сушеной ундарии, нарезанной кусочками, 0,5 брикета (170 г) тофу (соевого творога), 2 стебля зеленого лука, 4 стакана бульона даси (см. рецепт 41), 3 ст. ложки пасты мисо (паста из ферментированных соевых бобов).

Размочить в воде кусочки сушеной ундарии и слить воду через сито. Мелко нашинковать зеленый лук. Порезать тофу на кубики (~1 смх1 см). Нагреть бульон в глубокой суповой кастрюле. В мелкой посуде перемешать пасту мисо до однородной массы, добавив немного бульона. Вылить пасту в кастрюлю, добавить тофу и довести до кипения. Положить в кипящий бульон кусочки ундарии и сразу же снять с огня. Подавать суп, посыпав его мелко нашинкованным зеленым луком.

47. Карпаччо из тунца с маринованными овощами (Япония)

*240 г мяса свежего тунца. Для маринованных овощей: 1 дайкон, 1 морковь, 1 огурец, 1 лопушник (большой), ½ ч. ложки шафрана испанского, 2 зубчика чеснока, 2 ст. ложки уксуса белого, 15 пестиков шафрана, соль по вкусу, 1 стакан воды. Для приправы: 4 слоевища вареной ундарии, сок одного лимона, 3 ст. ложки соевого соуса. Для гарнира: 100 г батата, 40 г икры лососевой, 1 стебель лука-скороды или шнатт-лука (*Allium schoenoprasum*), 2 ст. ложки масла растительного. Для мусса: 2 ч. ложки сока шпината, 1 ст. ложка сока лимона, 15 г желатина (замочить в воде), 2 яйца (белок), 1 ст. ложка сливок, соль по вкусу, порошок васаби.*

Слоевица водоросли смешать с лимонным соком и соевым соусом в миксере. Смесью охладить. В кастрюле разогреть оливковое масло, обжарить чеснок. Овощи, предназначенные для маринования, почистить, порезать и тушить в масле около двух минут. Добавить специи, воду, уксус и продолжать тушить еще около шести минут, пока овощи не будут готовы. Для получения мусса смешать желатин, порошок васаби, соль, сок лимона и шпината до образования густой массы, затем добавить сливки и взбитые белки. Мусс охладить. Из мусса сформировать шарики, положить их на тарелку. Аккуратно обмять рыбу между двумя половинками полиэтиленовой пленки. Шарики обернуть кусочками рыбы. Для приготовления гарнира: батат очистить, нарезать соломкой и обжарить в масле до хрустящего состояния. Жареный батат выложить на рыбу вместе с икрой, луком, маринованными овощами и сбрызнуть оливковым маслом.

48. Салат с ундарией (вакаме) (Япония)

Сушеные слоевища ундарии, 3 ст. ложки рисового уксуса, 3 ст. ложки соевого соуса, 2 ст. ложки азиатского кунжутного масла, 1 ч. ложка сахара, 1 ч. ложка растертого свежего имбиря,

½ ч. ложки измельченного чеснока, 1 маленькое яблоко, лук-шалот (1 стебель), 2 ст. ложки свежих измельченных листьев кинзы (цилянтро), 1 ст. ложка обжаренных семян кунжута.

Размочить сушеную водоросль в теплой воде в течение 5 минут, вынуть и отжать воду, нарезать полосками ~1½ см шириной. Для получения приправы соединить соевый соус, уксус, кунжутное масло, сахар, имбирь и помешивать до растворения сахара. Нарезать яблоко кубиками, добавить нарезанные ундарию, лук-шалот и измельченные листья кинзы, полить приправой, перемешать и посыпать кунжутом.

49. Салат с ундарией, помидорами и красным перцем (Япония)

1 чашка кипятка, 3 чашки сушеной ундарии (вакаме), 1 томат, 1 красный овощной перец, ½ головки красного лука, 1 ч. ложка оливкового масла.

Вскипятить воду в чайнике и запарить ундарию в течение 5 минут (до полного впитывания воды водорослью). Если добавить много воды, то натуральный запах водоросли будет потерян. Нарезать водоросль и поместить в салатник, добавить нашинкованные томат, перец, лук, масло и все хорошо перемешать.

50. Салат из ундарии с помидорами черри и кунжутным соусом (Япония)

1 ст. ложка измельченной сушеной ундарии, 5 помидоров черри, 1-½ ст. ложки кунжутного семени, ½ ч. ложки меда, соль и черный молотый перец по вкусу, 2 ч. ложки уксуса, 1 ч. ложка соевого соуса, 1 ч. ложка кунжутного масла.

Вымочить кусочки ундарии в воде, пока не станет мягкой, влагу удалить. Порезать томаты на половинки или квадратики. Для получения приправы смешать мед, соль, перец, соевый соус, уксус, кунжутное масло. Соединить ундарию с помидорами, полить приправой, добавить кунжутное семя и хорошо перемешать.

51. Ундария (вакаме) с луком (Япония)

12 полосок ундарии, 4 больших луковицы, разрезанные на половинки, 1 ст. ложка соевого соуса, 2 ст. ложки кунжутной пасты.

Вымочить полоски ундарии (~10 минут), нарезать маленькими квадратиками и поместить на дно кастрюли. Налить воды, чтобы она покрыла водоросль. Добавить лук и полить сверху смесью соевого соуса и кунжутной пасты. Сбрызнуть соком лука, накрыть и готовить на медленном огне ~30 минут.

52. Салат с ундарией и огурцами (Япония)

1 чашка сушеной ундарии, 1 маленький или средний свежий огурец, 1 морковь, 1 желтый или красный овощной перец, 1 ст. ложка кунжутного масла, 1-2 ст. ложки рисового уксуса, сок 1 апельсина, зеленый лук.

Залить кусочки водоросли водой и вымачивать ~10 минут, затем отжать и нарезать их кусочками. Разрезать огурец вдоль на 2 части, половинки нарезать тонкими ломтиками, натереть морковь, порезать перец на маленькие кусочки. Выложить морковь, перец, огурец и водоросль в салатник и перемешать. В маленькой миске смешать кунжутное масло, рисовый уксус, апельсиновый сок и полить этой заправкой салат.

53. Пицца с ундарией (Япония)

Тесто для пиццы, ½ чашка соуса для пиццы, 1-2 ст. ложки оливкового масла, 1 головка лука репчатого, 1 чашка тертого сыра моцарелла, 1 чашка свежей ундарии, ½ чашки тофу, 1 сладкий перец, 2-3 гриба.

Лук нарезать и обжарить на растительном масле, добавить нарезанную ундарию, немного воды и притушить в течение 2 минут. Нарезать грибы и перец ломтиками, тофу кубиками. Натереть сыр. Раскатать тесто и распределить соевый соус. Сверху положить притушенные лук и ундарию. Добавить грибы, перец, тофу и посыпать сверху сыром. Выпекать при температуре 350°C около 30 минут, пока сыр не расплавится.

Алярия – *Alaria* spp. (Heterokontophyta)

Эта водоросль богата витаминами С, В₁₂, В₅, содержит фолиевую кислоту, ниацин, кальций, альгиновую кислоту, магний, фосфор. Алярия традиционно используется в сушеном виде, из нее готовят супы и вторые блюда, часто используют вместо шпината или капусты.

54. Сливочный суп из алярии (Австралия)

4–5 картофелин, 1½ чашки нарезанной ломтиками или кусочками тыквы, ¾ чашки сушеной алярии, 2 чашки воды, 1 большой зубчик чеснока, 1 головка лука репчатого, 2 ч. ложки базилика и итальянской приправы, ½ ч. ложка семян сельдерея, ½ чашки приправы к курице, 3 чашки молока, ½ чашки сухого нежирного молока, ½ чашки тертого сыра.

Размочить сушеные кусочки водоросли в воде, довести до кипения, добавить тыкву, чеснок, лук, специи и приправу к курице. Варить на слабом огне до готовности. Затем добавить взбитые в блендере свежее и сухое молоко, сыр. Суп снова довести до кипения.

55. Алярия с морковью (Австралия)

½ чашки сушеной измельченной водоросли, ½ чашки воды, 1 чашка моркови, нарезанной ломтиками, ½ ч. ложки укропа, ¼ ч. ложки гвоздики, соль по вкусу.

Размочить в воде сухую водоросль в течение 10 минут. Добавить укроп, гвоздику, довести до кипения и выключить огонь, томить 10 минут. Добавить морковь и продолжать готовить еще 10 минут.

56. Алярия с картофелем (Австралия)

½ чашки сушеной водоросли (можно свежей), 1 чашка воды, 4 средних картофелины, очищенных и нарезанных кусочками, соль по вкусу, масло растительное.

Водоросль нарезать ножницами на кусочки. Вымочить в течение нескольких минут в воде (если водоросль сушеная), добавить картофель, довести до кипения, затем уменьшить огонь и варить до готовности картофеля. Заправить маслом и солью.

Макроцистис – *Macrocystis* spp. (Heterokontophyta)

Водоросль богата витаминами Е, А, С, витаминами группы В, содержит микроэлементы (калий, натрий, кальций, магний, фосфор), альгинаты, ламинаран, фукоидан и маннитол. Из макроцистиса варят супы, его парят или жарят. В кулинарии используется в основном *Macrocystis integrifolia*.

57. Корейский суп с перцем (Корея)

На 4 порции: куриный бульон, 1 чашка тонко нарезанного макроцистиса, 1 зубчик натертого чеснока, нашинкованный зеленый лук, 2–3 ст. ложки соевого соуса, ½ ч. ложки черного молотого перца (можно меньше).

Залить курицу водой в большой кастрюле и варить до готовности, затем ее вынуть из кастрюли и использовать для приготовления другого блюда. В бульон добавить нарезанную водоросль, чеснок, лук, соевый соус и перец.

Примечание: вместо макроцистиса могут быть использованы другие водоросли: *Alaria*, *Nereocystis*, *Cystoseira*, *Gracilaria*.

Хизикия веретеновидная – *Hizikia fusiformis* (Heterokontophyta)

В настоящее время этот вид переименован в *Sargassum веретеновидный* [= *Sargassum fusiforme*]. Эта водоросль очень богата такими микроэлементами, как йод, железо и кальций. Широко используется в пищу в Китае, Корее, Японии. В Японии хизикию употребляют в пищу с древних времен. Из нее готовят салаты, супы и вторые блюда (Arasaki, Arasaki, 1983).

58. Хизикия с рисом (Япония)

2 больших луковицы, ½ кг хизикии (промыть быстро в кипятке, затем вымочить в дистиллированной воде в течение 20 минут), 2–3 ст. ложки горячего кунжутного масла (использовать по вкусу), 1 ст. ложка пасты мисо, 2 ст. ложки уксуса из бурого риса, ¼ ст. ложки нерафинированного кунжутного масла, 2 ч. ложки маранта (приправа из травянистых растений семейства Марантовые).

Обжарить лук до мягкости, добавить разогретое нерафинированное кунжутное масло и вымоченные водоросли вместе с жидкостью. После этого добавить пасту мисо и уксус из бурого риса, помешивая эту смесь в течение 5 минут. Закрыть сковороду крышкой на 7–10 минут, затем снова помешивать в течение 2 минут и добавить марант. Подавать с отварным бурым рисом.

59. Тушеная хизикия (Япония)

½ стакана сушеной хизикии, 1–2 небольших моркови, ½ куски сильно обжаренного тофу (абураагэ), 1 ст. ложка растительного масла, ½ стакана бульона даси (см. рецепт 41), 1,5 ст. ложки сахара, 1,5 ст. ложки соевого соуса сёю, 1 ч. ложка водки.

Вымочить хизикию в теплой воде в течение 15–20 минут в большой миске. Промыть в холодной воде и откинуть на дуршлаг, затем нарезать на кусочки и убрать избыток воды бумажной салфеткой. Очистить и нашинковать морковь. Сильно обжаренный тофу (абураагэ) промыть кипятком, чтобы удалить лишний жир, промокнуть салфеткой и нарезать тонкими полосками. В сковороде разогреть масло и тушить хизикию вместе с морковью в течение 2 минут, постоянно помешивая. Добавить бульон даси, сахар, соевый соус, водку и тушить на слабом огне 15–18 минут. Абураагэ положить через 10–12 минут после начала приготовления.

60. Хизикия с корнем лотоса (Япония)

15 г сушеной водоросли, 6 кусочков корня лотоса, 1 ст. ложка соевого соуса, несколько капель сока имбиря.

Вымочить хизикию в течение 10 минут. Поместить в кастрюлю и залить водой так, чтобы она покрывала водоросль. Порезать корень лотоса на кусочки, положить сверху водоросли и готовить 20–25 минут, после этого добавить соевый соус и сок имбиря, перемешать и готовить еще 3 минуты.

61. Салат из хизикии (Япония)

30 г сушеной хизикии, 1 стебель сельдерея, 3 капустных листа, 4 листа салата, салатное масло, 4 ст. ложки майонеза, 3 ст. ложки белого кунжутного семени, 1 ст. ложка лимонного сока, 1 ст. ложка соевого соуса, кунжутное масло, щепотка соли.

Вымочить водоросль в воде, затем хорошо подсушить, обжарить на салатном масле, посолить и оставить. Нарезать стебель сельдерея соломкой, нашинковать капусту и погрузить в холодную воду на несколько минут, после чего слить воду. Обжарить и помолоть кунжутное семя, после чего его соединить с майонезом и лимонным соком, добавить соевый соус, кунжутное масло и соль, перемешать и выложить на листья салата.

Грацилярия – *Gracilaria* spp. (Rhodophyta)

Грацилярия (рис. 34) содержит около 20% сухих веществ, из которых 15–30% составляет агар, 5–8% – азотистые вещества (в основном белки), 4–5% – клетчатка и 24–27% – минеральные вещества (Суховеева, Подкорытова, 2006). Грацилярия обладает желеобразующим свойством из-за содержания в ней агара. В мире используют в пищу более 20 видов грацилярии, из которых готовят в основном сладкие блюда.

62. Салат из свежей грацилярии (Вьетнам)

Свежая грацилярия (*Gracilaria salicornia*, *G. coronopifolia*, *G. blodgettii*), соевый или рыбный соус, уксус (или рассол из ким-чи), фиолетовый лук (небольшие головки) кольцами, соль, лимон, черный молотый перец по вкусу.

Водоросль промыть в кипяченой воде, затем варить в течение 2 минут. Добавить уксус, лук, соль и поставить в холодильник на ночь. Утром добавить соус, лучше рыбный (ныок мам), лимон и перец.

63. Грацилярия с мясом (Вьетнам)

Грацилярия, мясо куриное, карамбола, или тропическая звезда (*Averrhoa carambola*, плоды желтого или желто-коричневого цвета, разрезанные поперек напоминают звезду), черный молотый перец, грибы (ухо дьявола), соль по вкусу.

Замочить слоевища водоросли в воде для разбухания, затем промыть в солевом растворе, нарезать кусочками 4–5 см длиной и добавить в готовое куриное мясо, нарезанное соломкой. Добавить карамболу (срезать ребрышки и порезать поперек), добавить перец, отварные грибы (ухо дьявола) и соль по вкусу, все перемешать.

64. Пудинг из *Hydropuntia eucheumatoides* [= *Gracilaria eucheumatoides*] (Вьетнам)

Водоросль, сахар, корень имбиря.

Слоевища водоросли хорошо промыть от песка. Опустить в кипяток и кипятить в течение 5–7 минут на слабом огне (воды немного, чтобы чуть-чуть покрывала водоросль), добавить сахар по вкусу и в конце варки добавить мелко нашинкованный корень имбиря (примерно 2 грамма), перемешать.

65. Суп из грацилярии (*Gracilaria verrucosa* и *Gracilaria sjoestedtii*) и ламинарии (Гавайи)

4 чашки воды, 1 слоевище морской капусты (*Saccharina japonica*), нарезанной кусочками (можно использовать сушеную ламинарию или алярию), 1 томат (нарезанный кубиками), ½ чашки пасты мисо (соевая паста), 1 чашка грацилярии (нарезанной кусочками ~10 см длиной), лук, сыр.



Рис. 34. *Gracilaria salicornia* на литорали в зал. Нячанг (Вьетнам), март 2006 г.

Положить в кастрюлю с водой морскую капусту и лук, довести до кипения. Варить в течение 10 минут, затем добавить пасту мисо, томат и сыр, продолжать варить еще 5 минут. Добавить грацилярию и немедленно подавать к столу.

66. «Спагетти» из *Gracilaria* с томатным соусом (Гавайи)

1 ст. ложка растительного масла (предпочтительно оливковое), ~1 кг говядины, 1 средняя луковица, 1 зубчик измельченного чеснока, 1/8 ч. ложки кайенского перца, томатный соус, 1/4 чашки тертой моркови, 2 чашки грацилярии, 2 литра воды, чашка тертого сыра.

Обжарить мясо с луком и чесноком в масле. Добавить томатный соус, кайенский перец и морковь. Тушить 15 минут. Опустить водоросль в кипящую воду на 15 секунд, вынуть, обсушить и добавить в мясо, перемешать и сверху посыпать тертым сыром.

67. Сэндвич гуакамоле (Гавайи)

1 авокадо тертый (~1/2 чашки), 1 томат (нарезанный кубиками), 1/2 чашки свежей грацилярии (промытой и нарезанной кусочками), сок половинки лимона, 1/8 ч. ложки кайенского перца или перца чили, 1/4 чашки рубленого сладкого лука или зеленого лука, 1/4 чашки плавленого сыра.

Измельчить в блендере лимон и авокадо. Добавить томат, грацилярию, лимон, перец, лук, сыр и хорошо перемешать. Можно намазывать на булку, крекеры или кукурузные чипсы.

68. Салат из грацилярии (Гавайи)

2 чашки свежей грацилярии (нарезанной кусочками), ~240 г домашнего сыра, тертый редис – 4 шт., 2 томата (нарезанных дольками), ½ чашки рубленого зеленого лука. Для йогуртового соуса: ½ чашки йогурта, ½ чашки майонеза, 1 зубчик тертого чеснока, 1 ч. ложка специй: эстрагон, тимьян, майоран, порошок порфиры (красная водоросль), порошок из бурых водорослей, петрушка, укроп и базилик.

Разложить грацилярию на тарелке. Соединить домашний сыр и тертый редис, перемешать и выложить на середину тарелки, сверху посыпать луком. Разложить дольки томата по краю тарелки. Заправить йогуртовым соусом.

69. Ароматная грацилярия (Гавайи)

2 чашки грацилярии, ½ томата, ½ чашки сладкого красного лука, 1 свежий огурец, 1 зубчик тертого чеснока. Маринад: ¼ чашки растительного масла, ¼ чашки уксуса, 3 ст. ложки соевого соуса, 1 ст. ложка сахара, ½ ч. ложки соли, ½ ч. ложки свежего имбиря, тертый кайенский перец.

Подвяленную грацилярию быстро пропарить над кипящей водой, промыть в холодной воде и нарезать кусочками (5–7,5 см длиной). Томаты, лук и огурец нарезать маленькими кусочками или полосками, соединить и в эту смесь добавить грацилярию, чеснок, маринад и перемешать. Блюдо охладить и дать настояться в течение 2 часов.

70. Маринованная грацилярия (Корея)

~900 г свежей грацилярии, нарезанной кусочками (5–7,5 см длиной), ½ чашки соли, 2 зубчика измельченного чеснока, 1 небольшой пучок зеленого лука, очень мелко нашинкованного, 2 маленьких красных перца чили, 1 кусочек корня имбиря, очень мелко нарезанного или тертого.

Чистую (промытую) грацилярию положить в кастрюлю, посолить и хорошо перемешать, придавить тяжелой тарелкой и оставить на ночь. Утром хорошо промыть, добавить чеснок, лук, перец, имбирь, перемешать, плотно уложить в банку и поставить в холодное место на 2 дня, чтобы произошла естественная ферментация, после этого поставить в холодильник и дать настояться в течение нескольких дней перед употреблением.

71. Бутербродная паста «Гавайская вечеринка» (Гавайи)

1 чашка маринованной грацилярии, 1 упаковка мягкого плавленого сыра, 1 ст. ложка майонеза.

Плавленый сыр растереть с майонезом. Добавить рубленую маринованную грацилярию (рецепт смотри выше). Смесь можно оставить при комнатной температуре на несколько часов или поставить в холодильник. «Гавайскую вечеринку» можно есть с чипсами, крекерами, намазывать на тосты.

Порфира, или нори – *Porphyra* spp. (Rhodophyta)

Асакуса-нори (*Porphyra tenera*) является одним из любимых продуктов в Японии. Водоросль широко используется в кулинарии стран АТР, содержит аминокислоты, каротиноиды, белки, липиды, витамины (фолиевая кислота, А, С, В₁, В₂, В₃, В₆, В₁₂), а также богата такими микроэлементами, как кальций, железо и йод. В кулинарии широко используют нори – тонкие, темно-зеленые (почти черного цвета) листы спрессованных высушенных слоевищ водоросли. В супермаркетах продается в виде пластин (листов), упакованных в вакуумные пакеты (рис. 35).



Рис. 35. Пластины нори используют для приготовления суши и роллов

72. Суп из Порфиры вьетнамской (*Porphyra vietnamensis*) (Вьетнам)

Свежая порфира, бульон из косточек, мясо отварное, лук, соль, черный молотый перец, рыбный соус (ныок мам).

Водоросль промыть. Приготовить бульон из реберных косточек, добавить мясо, нарезанное ломтиками, порфиру, лук, соль, довести до кипения. В конце варки добавить перец, рыбный соус.

73. Свежая порфира в лимонном соусе (Япония)

1 чашка свежей водоросли, 2 г свежего корня имбиря. Для лимонного соуса: 1 лимон, 1 ст. ложка соевого соуса, 1 ч. ложка сладкой водки или сахара.

Водоросль хорошо промыть в слегка подсоленной воде, воду слить. Порфиру погрузить в кипящую воду, затем ее слить. Корень имбиря нарезать соломкой и положить в воду. Лимонный соус: отрезать от лимона 4 тонких ломтика и отложить их, из оставшегося лимона выжать сок, добавить в него соевый соус, воду и сахар (или сладкую водку). Добавить в порфиру лимонный соус, вымоченный имбирь и положить дольку лимона.

74. Роллы с авокадо (Япония)

½ авокадо, ¼ листа нори, 1 ч. ложка пасты васаби, ½ ч. ложки соевого соуса.

Снять с авокадо кожуру, вынуть косточку и нарезать ломтиками. Слегка поджарить нори с одной стороны на открытом огне, затем нарезать узкими полосками (1×5 см). Завернуть каждый кусочек авокадо в полоску водоросли. Слегка намазать пастой васаби и полить соевым соусом.

75. Креветки с нори и тертым дайконом (Япония)

3 креветки, соевый соус, 100 г дайкона (японская редька), ½ ст. ложки лимонного сока, ¼ пластины асакуза-нори, сахар.

Очистить креветку и разрезать вдоль. Быстро обжарить на открытом огне. Полить соевым соусом. Снова обжарить. Повторить дважды, так чтобы не пригорел соевый соус. Почистить и натереть на мелкой терке дайкон. Лимонный соус: лимонный сок, соевый соус и сахар по вкусу. Полить креветку лимонным соусом.

Слегка поджарить лист нори, растереть в порошок и посыпать на креветки. Сверху положить тертый дайкон и снова посыпать порошком нори.

76. Жареный цыпленок с нори и баклажаном (Япония)

Мясо куриных грудок, очищенных от костей (8 половинок), 6 маленьких восточных баклажанов, 1 пластинка асакуза-нори, 2 яичных желтка, 1 ст. ложка муки, 3 ст. ложки воды, 1 ст. ложка саке, ¼ ч. ложки соли, масло растительное для жарки.

Мясо куриных грудок слегка обвалить в муке. Разрезать баклажаны вдоль на 4 части и положить в подсоленную воду. Слегка взбить яйца, добавить воду и саке, перемешать, добавить муки и снова перемешать до густой консистенции. Нагреть масло до 170°C. Обвалить куриные грудки и баклажаны в тесте, затем обжарить на сильном огне. Обвернуть каждый кусочек полоской нори, снова обвалить в тесте и быстро обжарить.

77. Роллы с омлетом (Япония)

½ чашки риса для суши, ¼ поджаренной пластинки нори, 20 г моркови, 20 г грибов шиитаке, 20 г тыквы, тонкий омлет.

Притушить нарезанные соломкой морковь, грибы (шиитаке) и тыкву для суши-роллов. На пластине нори распределить равномерно рис, сверху положить тонкий омлет, в середине выложить начинку из грибов, тыквы и моркови. Все это закатать в рулет и порезать на равные части.

78. Кулечки суши (Япония)

200 г риса для суши (мелкозернистый), 1 пластина нори (поджаренная).

Для начинки первого кулечка: 60 г консервированной фасоли, 1 свежий огурец (маленький), ¼ ч. ложки морских водорослей (мелко нарезанных), ½ ч. ложки соевого соуса.

Для начинки второго кулечка: 40 г картофеля (нарезанного тонкой соломкой), 40 г моркови (нарезанной тонкой соломкой), ½ ст. ложки маринованных слив (мелко нарезанных).

Для начинки третьего кулечка: 1 редис, 1 мелкий помидор, ½ ст. ложки соевой пасты.

Для начинки четвертого кулечка: 40 г грибов шимеджи, 1 лист салата-латука, ½ ч. ложки соевого соуса.

В этой разновидности суши, рис с начинкой заворачивается не в трубочку, а укладывается в кулечек. Множество самых разнообразных ингредиентов, которые вы можете использовать для начинки, позволит вам приготовить бесконечное количество вариантов этого блюда. Прежде всего приготовьте для суши рис (мелкозернистый): промойте, отварите, а затем добавьте в него уксусную смесь. Лист нори порезать на четыре равные части. Для приготовления начинки первого кулечка нарежьте огурец тонкой соломкой, перемешайте соевый соус с консервированной фасолью и посыпьте ее мелко нарезанными морскими водорослями. Для приготовления начинки второго кулечка нарежьте картофель и морковь тонкой соломкой, отварите их в слегка подсоленной воде и присыпьте мелко нарезанными маринованными сливами. Для приготовления начинки третьего кулечка нарежьте тонкими дольками редис и помидор и смажьте их соевой пастой. Для приготовления начинки четвертого ку-

лѐчка отварите грибы (шимеджи), добавьте к ним мелко нарезанный лист салата-латука и приправьте соевым соусом. На каждый из четырех кусочков нори выложите ровным слоем приготовленный рис, а сверху на него уложите компоненты начинки. Сверните нори с рисом и начинкой в кулѐчки и подавайте к столу.

79. Закуска из порфиры (нори) (Япония)

10 пластин нори, свежий корень имбиря, 6 ст. ложек водки, полстакана соевого соуса сѐю, 1 ст. ложка сахара.

Измельчить нори, натереть имбирь, добавить водку, соевый соус и сахар. Довести до кипения на среднем, а затем сильном огне, убавить огонь и варить, пока вся жидкость не впитается водорослью.

80. Нигири-суши (Япония)

На 20 порций: 150 г риса для суши, 200 мл воды, 2 ст. ложки рисового или яблочного уксуса, 1 ст. ложка сахара, 1 ч. ложка соли, маринованный корень имбиря, паста васаби, соевый соус для суши, 200 г филе рыбы (тунец, угорь, макрель) или мясо креветки, краба, осьминога, кальмара.

Промыть рис, меняя воду, пока она не станет абсолютно прозрачной (~6 раз), поместить промытый рис в сотейник, залить водой, накрыть крышкой, варить на медленном огне 15 минут после закипания воды. Снять сотейник с огня и, не открывая крышку, дать рису настояться 10 минут. Переложить рис в большую миску, добавить смесь из уксуса, сахара и соли, тщательно размешать деревянной ложкой, помахивая крышкой сотейника над рисом, чтобы выпарился уксус. Филе рыбы или других морепродуктов нарезать тонкими ломтиками. Окунуть руки в мисочку с подкисленной уксусом водой, взять рис небольшими порциями и сформировать «колбаски» (~6 см длиной и 3 см в диаметре). Положить сверху риса немного васаби, затем ломтик рыбы (2,5–3 см шириной), слегка прижать пальцами. Порезать нори на длинные полоски (~1 см шириной) и обернуть их вокруг этих «колбасок», скрепить концы полосок, слегка смочив их водой. Подавать на прямоугольном блюде или специальной дощечке, с имбирем и пастой васаби.

81. Суши гуанкан-маки (Япония)

На 1 пластину нори: 30 г икры летучей рыбы, 30 г мяса краба, 30 г салата из морской капусты, 80 г вареного риса для суши, маринованный имбирь, паста васаби, соевый соус для суши.

Нарезать лист нори полосками 3–4 см шириной. Сформировать из вареного риса «брусочек» с закругленными краями, обернуть его полоской нори, так чтобы получилась «чашечка» и рис занимал не более половины внутри этой чашечки. Плотно соединить концы полоски, слегка смочив свободный край водой. Заполнить верхнюю часть чашечки начинкой из икры, мяса краба и салата из морской капусты, сверху украсить капелькой пасты васаби. Разложить суши на тарелке, подавать с имбирем и соевым соусом.

82. Суши нори-маки (Япония)

Для 18 штук: 150 г риса для суши, 200 мл воды, 2 ст. ложки рисового уксуса, 1 ст. ложка сахара, 1 ч. ложка соли, 3 пластины нори, 100 г филе тунца, паста васаби, соевый соус для суши, маринованный имбирь.

Промыть рис, поместить в сотейник, залить водой, накрыть крышкой. После закипания воды варить рис еще 15 минут на медленном огне. Снять сотейник с огня и, не открывая крышку, дать рису настояться 10 минут. Переложить рис в большую миску, добавить смесь из уксуса, сахара и соли, интенсивно размешать деревянной ложкой, помахивая крышкой над рисом, чтобы уксус выпарился. Лист нори положить длинной стороной к себе, сверху листа выложить рис, оставляя каемку 1,5–2 см от

дальнего длинного края. По центру на рис положить немного пасты васаби, а сверху тонкую полоску тунца (~1 см в сечении), закатать нори в рулет, так чтобы тунец был в середине. Рулет необходимо туго скатать при помощи бамбукового коврика, чтобы рис слипся. В качестве начинки также можно использовать креветку, мясо краба, копченый угорь, филе макрели, окуня, сельди и т.д. Разрезать готовый рулет на 6 частей, подавать на блюде для суши с имбирем, васаби и соевым соусом.

83. Футомаки суши (Япония)

Для 18 штук. Для приготовления риса: 150 г риса для суши, 200 мл воды, 2 ст. ложки рисового уксуса (можно яблочного), 1 ст. ложка сахара, 1 ч. ложка соли. Для начинки: 3 пластины нори, 50 г креветки, 50 г копченого угря, 1 болгарский перец, 1 свежий огурец, 1 дайкон, паста васаби, соевый соус, имбирь.

Приготовить рис (см. рецепт 80). Положить перед собой лист нори длинной стороной к себе и равномерно распределить на нем слой риса, оставляя каемку 1,5–2 см шириной у противоположного края. Сверху на рис (ближе к себе) распределить тонкой полоской пасту васаби, а затем уложить длинные полоски угря, огурца, креветки, перца, редьки. Свернуть рулет как можно плотнее, чтобы рис слипся. Нарезать рулет на 6 частей, подавать на блюде с маринованным имбирем, пастой васаби и соевым соусом.

84. Темаки-суши (Япония)

Для 18 штук: 150 г риса для суши, 9 листов нори, 200 г филе тунца, 50 г икры летучей рыбы, 3 ч. ложки соуса кимчи, 1 авокадо или свежий огурец, маринованный имбирь, соевый соус для суши.

Приготовить рис (см. рецепт 80). Листы нори разрезать пополам. Положить в левую руку половину листа блестящей стороной вниз, придерживая большим пальцем уголок нори. Слева на нори равномерно выкладываем слой риса (около половины площади), оставляя каемку (~1 см шириной) по краям. На рис (по диагонали) выложить начинку из смеси мелко нарезанного филе тунца, икры летучей рыбы и соуса кимчи, сверху начинки положить кусочек авокадо или огурца. В качестве начинки можно использовать крабовые палочки, красную рыбу, красную икру, мясо креветки и т.д. Правой рукой загнуть уголок нори (под большим пальцем) внутрь, затем взять левый угол и плотно свернуть кулёчек в форме конуса. Противоположный угол нори слегка смочить водой для склеивания. Заворачивая, плотно придавить, чтобы кулёчек не развалился. Подавать на блюде с имбирем и соевым соусом.

85. Суши с копченым лососем (Япония)

275 г риса для суши, 2 ст. ложки рисового уксуса, 1 ст. ложка сахара, 3 листа нори, 1 ст. ложка пасты васаби, свежий огурец, очищенный от семян и нарезанный длинными полосками, 50 г копченого лосося, нарезанного полосками, 4 пера зеленого лука, 1 яичный омлет, японский соевый соус для суши, маринованный имбирь, ½ ст. ложки соли.

Отварить рис и выложить его в неметаллическую миску. Смешать уксус, сахар и ½ ст. ложки соли и сбрызнуть этой смесью рис. Положить лист нори блестящей стороной вниз на бамбуковый коврик или на полотенце и выложить на него с помощью двух ложек, смоченных в воде, одну четверть охлажденного риса, оставив каемку листа нори с одной стороны, не занятой рисом (1 см шириной). Сверху намазать немного пасты васаби. На васаби положить полоску огурца, половину порции лосося и немного зеленого лука и плотно закатать рулетом в нори. Сделать также еще 2 рулета, но с использованием огурца, омлета и зеленого лука. Нарезать каждый рулет на 6 частей с помощью острого ножа, смачивая нож в воде перед каждым нарезанием. Подавать с соевым соусом и маринованным имбирем.

86. Суп из свежей порфиры (Гавайи)

1–2 чашки свежей порфиры, 2 ст. ложки соевого соуса, ½ чашки рубленого репчатого лука, 1 зубчик измельченного чеснока или лук-порей, 8 чашек воды, ¼ чашки бурого риса, ¼ дробле-

ного гороха, 1 морковь и 1 томат (нарезанные кубиками), 1 ч. ложка итальянской приправы, соль, черный молотый перец по вкусу.

Промыть порфиру, несколько раз меняя воду. Обсушить и поместить в кастрюлю с водой. Варить, помешивая, пока порфира не станет зеленой. Добавить соевый соус, лук, чеснок, продолжать готовить 5–10 минут, время от времени помешивая. Добавить оставшиеся ингредиенты, довести до кипения и убавить огонь. Томить около 2 часов. Посолить и поперчить по вкусу.

Каппафикус – *Karraphycus* spp. (Rhodophyta)

Водоросли культивируют в лагунах или искусственных прудах южных стран АТР (рис. 36, 37). В настоящее время водоросли рода *Karraphycus* – главные источники каррагинана в Юго-Восточной Азии. Из этих водорослей получают каррагинан, производят сладкие железные конфеты, готовят салаты и овощные супы (Тропо, 1993, 1998).

87. Пудинг из каппафикуса (*Karraphycus alvarezii*) (Вьетнам)

300 г водоросли, 2 стакана воды, 200 г сахара, 10 г имбиря.

Высушенный и размоченный каппафикус измельчить на кусочки, залить двумя стаканами воды, добавить сахар. Кипятить на слабом огне 5–7 минут. В конце варки добавить измельченный имбирь.



Рис. 36. *Karraphycus alvarezii* с плантаций в зал. Шон Хай (Вьетнам, провинция Нинь Туан), март 2006 г.



Рис. 37. Сушеный каппафикус на рынке в г. Нячанг

Дульсе, или морская пальма – *Palmaria palmata* (Rhodophyta)

Дульсе (рис. 38) содержит большое количество железа, калия, магния, йода, кальция и фосфора, а также белки, витамины А, С, Е, В₂, В₆. Ее добавляют в свежие овощные салаты, супы, хлеб.

88. Бульон из дульсе (Япония)

25 г сушеной дульсе, 1 средняя картофелина, 25 г сливочного масла, 0,5–1 ч. ложка лимонного сока, соль, черный молотый перец, 750 мл молока, твердый хлеб.

Поместить дульсе в чашку с водой, через 5–10 минут слить воду, обсушить и опустить в кастрюлю с водой, варить в течение 10 минут. После варки ее снова обсушить. Очистить и отварить картофель, сделать из него пюре. Соединить картофельное пюре, дульсе, сливочное масло и лимонный сок. В эту смесь добавить молоко, перемешать, довести до кипения и варить на медленном огне около 20 минут, часто помешивая. Добавить остатки лимонного сока. Подавать с хлебом.

89. Пирог с дульсе (Япония)

17 г дульсе, 1 маленький пакет готовой смеси для пирога (около 250 г), 300 мл молока, 3–4 яйца, 50 г тертого сыра, соль и черный молотый перец.

Замесить тесто и раскатать его в виде «колбаски» длиной до 20 см, уложить в блюдо для выпечки (овальной или круглой формы), смазать тесто жиром и оставить его при комнатной температуре на

30 минут, затем распределить тесто на блюде. Нагреть духовку до 200°C. Измельчить дульсе (лучше в блендере), поместить водоросль в сито и опустить в чашку с водой на 10 минут, затем вынуть сито из чашки и обсушить дульсе. Выложить дульсе на раскатанное тесто. Взбить яйца, добавить молоко и снова взбить, затем вылить эту смесь на пирог. Сверху посыпать сыром, посолить и поперчить. Выпекать 20 минут.

90. Дульсе с нашинкованной капустой (Япония)

25 г сушеной дульсе (измельченной), 50 г изюма, 175 г белой капусты (нашинкованной), 1 средняя морковь (тертая), лук-шалот (2 измельченных луковицы). Для соуса: 4 ст. ложки яблочного сока, соль и черный молотый перец.

Изюм положить в маленькую миску с теплой водой на 5 минут, до разбухания, затем просушить его. Поместить в большую чашку нашинкованную капусту, тертую морковь, лук-шалот, изюм, дульсе и перемешать. В маленькой миске смешать яблочный уксус, соль и перец, полить этой смесью салат и перемешать.

91. Дульсе с сыром (Япония)

25 г муки, 200 г тертого сыра (чеддер), 100 г сливочного масла или маргарина, 25 г дульсе (мелко нарезанной).

Смешать все ингредиенты, замесить тесто и раскатать его (~1,5 см толщиной), разрезать на кусочки, разместить их на смазанном жиром противне и выпекать в духовке при 200°C около 10 минут. После выпечки остудить. Хранить в герметичном контейнере.

92. Жареная дульсе (Япония)

1 луковица лука репчатого, 1 ст. ложка растительного масла, ½ красного сладкого перца, ½ желтого сладкого перца, 1 морковь, 1 чашка дульсе, 1–2 ст. ложки воды или бульона, соль по вкусу.



Рис. 38. Дульсе, морская пальма (*Palmaria palmata*), выращенная в интенсивной культуре на о-ве Зулд (Германия), декабрь 2004 г.

Нагреть масло в сковороде и обжарить в течение минуты нарезанные ломтиками лук, морковь и перец. Добавить дульсе и перемешать, затем добавить воду или бульон и продолжать готовить в течение 5–7 мин. Подавать с рисом.

93. Суп из водорослей (Япония)

Любые бурые водоросли, дульсе, вода, специи по вкусу.

Промыть водоросли в пресной воде. Поместить в кастрюлю, залить водой и варить около 30 минут. Добавить специи. Подавать можно и горячим, и холодным.

94. Спагетти с дульсе (Япония)

40 г дульсе, 175 мл оливкового масла, 50 г кедровых орешков, 3 зубчика чеснока, 50 г свежих листьев базилика, 50 г свежей петрушки, 50 г свежего сыра пармезан, порция спагетти.

Приготовить спагетти, затем промыть холодной водой. Обжарить охлажденные спагетти в кастрюле с оливковым маслом. Измельчить водоросль, петрушку, базилик, чеснок и кедровые орешки, все соединить, добавить тертый сыр, перемешать и посыпать этой смесью обжаренные спагетти.

Гелидиелла игольчатая – *Gelidiella acerosa* (Rhodophyta)

Во Вьетнаме эту водоросль называют «хи хоа» (рис 39). Из нее получают агар, готовят сладкое желе, добавляют в чай (Tsusui et al., 2005), на Филиппинах из этой водоросли готовят салаты (Trono, 1998).



Рис. 39. Гелидиелла игольчатая (*Gelidiella acerosa*) в литоральной ванне на мысе Баланг Ан (Вьетнам), март 2009 г.

95. Сладкий картофель с агаром из гелидиеллы (Япония)

2 больших сладких картофелины (батат). Для сиропа: ¼ чашки нефильтрованного яблочного сока, 2 ст. ложки агара, ½ чашки ячменного солода, ¼ чашки кленового сиропа, 2 ст. ложки ванильного экстракта, ¼ ч. ложки морской соли, ½ ч. ложки корицы, ¼ ч. ложки тертого мускатного ореха, ½ ч. ложки гвоздичного перца, ¼ ч. ложки гвоздики, 2 ст. ложки кудзу (белый крахмал из корня растения кудзу, используется для загустения приправ, соусов), 1 чашка измельченных орехов пекан.

Очистить и крупно нарезать сладкий картофель, положить его в 4-литровую кастрюлю с двумя чашками воды, кастрюлю накрыть, довести до кипения и варить картофель до готовности (~25 минут), после чего слить воду. Для приготовления сиропа: в кастрюле среднего размера смешать ячменный солод, кленовый сироп, ванильный экстракт, соль, корицу, мускатный орех, гвоздичный перец и гвоздику, добавить агар и тщательно перемешать. В отдельной чашке полностью растворить кудзу в 3 ст. ложках воды, интенсивно взбить и добавить в приготовленную смесь (сироп) с агаром. Приготовить пюре из сладкого картофеля с оставшимся ванильным экстрактом. Полить пюре сиропом и подождать несколько минут, затем переложить его в неглубокую кастрюлю, дать остыть при комнатной температуре и поставить в холодильник примерно на 1 час. Охлажденное пюре взбить в комбайне. Разложить орехи пекан на бумаге для выпечки и жарить 10 минут при температуре 350°C. Разложить по стаканам слоями пудинг и крем пекан, сверху посыпать жареным измельченным орехом.

96. Салат из агарового желе (Филиппины)

Желе из агара, зеленый манго (нарезанный ломтиками), сок каламанси (мускусный лайм), лук репчатый (мелко рубленый), соль, черный молотый перец по вкусу.

Опустить желе из агара в кипящую воду на 4–5 секунд, обсушить и промыть в воде, затем нарезать кусочками и поместить в глубокую тарелку. Добавить манго, лук, специи, перемешать и полить соком каламанси.

3.2. ПИЩЕВЫЕ ДОБАВКИ ИЗ МОРСКИХ РАСТЕНИЙ

В последнее время несмотря на новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности городское население практически всех стран испытывает недостаток в пище, богатой полезными для здоровья человека веществами. Пища городского человека почти всегда несбалансирована по минеральным элементам, витаминам, биологически активным веществам, а также часто по белкам, жирам и углеводам. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, радиоактивными и бытовыми отходами, а также удобрениями, пестицидами, гербицидами (результат интенсивного сельского хозяйства) делают нашу пищу вредной для здоровья. Попытки исправить положение путем перехода на полезные диеты малоэффективны, так как при этом необходимо использовать не вредную, а здоровую пищу. Производство так называемой «экологически чистой» пищи дорого, и такие продукты могут употреблять только богатые люди.

Деревенский житель, живущий «от земли» или «от моря», чаще всего не имеет этих проблем, так как использует свежие продукты, выращенные в индивидуальных хозяйствах (т.е. для себя), а не на полях с интенсивным земледелием и не на фермах с интенсивным животноводством.

Чтобы нейтрализовать негативное воздействие на организм некачественных или «пустых» (не содержащих витамины и другие биологически активные вещества) пищевых продуктов, городские жители все чаще начинают прибегать к помощи биологически активных добавок (БАД) к пище. БАДы являются, как это принято называть, функциональной пищей, т.е. человек, принимающий добавки, уже из аннотации к препарату знает, с какими целями он будет это употреблять: для очистки организма от «шлаков», поддержания иммунитета, улучшения пищеварения и т.д.

БАД и любая другая функциональная пища приготавливаются из растений, различных органов животных, а также из минералов и содержат полезные для человека вещества в легко усвояемой форме. Одной из основных функциональных особенностей БАДов является очистка нашего организма (крови, лимфы, ЖКТ, печени и других органов) от вредных веществ и радикалов, окисляющих нестойкие вещества клеточных мембран (Halliwell, Gutteridge, 1987). Агрессивные радикалы образуются в организме человека всегда, но особенно большое их количество накапливается у больного человека. Они окисляют липиды и денатурируют белки мембран, нарушая их целостность. Здоровый организм имеет свои собственные средства защиты против агрессивных радикалов, это антиоксиданты ферментной и неферментной природы. Однако при нарушении обмена веществ во время или после болезни биосинтез этих защитных веществ значительно ослаблен и для восстановления нормального обмена требуется пища, богатая антиоксидантами и другими биологически активными веществами и химическими элементами.

В последнее время растет интерес к натуральным антиоксидантам, так как клинические исследования подтверждают, что использование в пищу свежих овощей и фруктов снижает риск развития хронических заболеваний, в том числе раковых. Природные вещества, используемые в фитотерапии, не имеют побочных эффектов, как это случается при применении лекарств, полученных синтетическим путем.

Главными источниками природных антиоксидантов являются травы, специи, некоторые овощи. Морские растения, особенно водоросли, также являются природным источником антиоксидантов и биологически активных компонентов, таких как каротиноиды, пищевые волокна, белки-ферменты, непредельные жирные кислоты, витамины и минералы.

Какие же БАДы изготавливают из морских растений и чем они полезны? Из бурых водорослей, таких как сахарина (*Saccharina* spp.), ламинария (*Laminaria* spp.), фукус (*Fucus* spp.), аскофиллум (*Ascophyllum* spp.), макроцистис (*Macrocystis* spp.) и других, производят биологически активные добавки, содержащие хорошо усваиваемые соединения йода, способные дополнить обычно бедный этим элементом рацион. БАДы из водорослей богаты не только йодом, но и такими макроэлементами, как Ca, K, Na, и микроэлементами Mg, Mo, Zn, Co, Fe, Mn и др.

Пищевые добавки из бурых водорослей проявляют свойства энтеросорбентов, т.е. очищают ЖКТ человека от свободных радикалов и тяжелых металлов. Хотя водоросли и содержат в своем составе тяжелые металлы, но они в большей части связаны с полисахаридами, которые не перевариваются в ЖКТ человека, и металлы не попадают в организм человека при употреблении водорослей. В то же время уже имеющиеся в организме тяжелые металлы и радиоактивные элементы выводятся из организма вместе с калом и мочой при употреблении в пищу бурых водорослей или альгинатов.

Краткие выписки из рекламных листовок фирм не дают представления о механизмах действия БАДов на человека, однако показывают широту применения пищевых добавок, произведенных из бурых водорослей. Так, БАДы американского производства «Seavite», произведенные фирмой «Seavite Premium Atlantic», полученные из нескольких видов *Laminaria*, являются источником йода, очищают ЖКТ от тяжелых металлов, снижают уровень стронция-90 в организме человека, помогают при лечении таких заболеваний, как лейкомия, рак кости, а также при сердечно-сосудистых заболеваниях.

Международная фармацевтическая фирма «Santegra» выпускает несколько видов пищевых добавок, полученных из водорослей. Продукт «Phenalgin» из бурой водоросли *Cystoseira humilis* [= *C. canariensis*] содержит витамины группы В и высоко активные полифенолы – флоротаннины, которые проявляют высокую антиоксидантную активность. Содержащийся в БАДах фенолгин способствует поддержанию высокого уровня работоспособности и регулирует вес.

БАДы получают не только из водорослей, но и из морских трав, содержащих зостерин. Низкомолекулярные фракции зостерина способны всасываться из ЖКТ человека в кровь и связывать непосредственно в крови вредные вещества, которые вместе с зостерином выводятся из организма с мочой и потом. Высокомолекулярные фракции зостерина, не перевариваясь в ЖКТ и обладая хемосорбцией, поглощают вредные вещества (свободные радикалы, металлы и др.) непосредственно в ЖКТ и выводят их из организма.

В последние два десятилетия биологически активные пищевые добавки из водорослей находят широкое применение, особенно в развитых странах. Однако до настоящего времени еще не до конца разработаны методы оценки качества и возможных противопоказаний при употреблении БАДов. В то же время уже имеются примеры отрицательного влияния БАДов на здоровье человека. Так, известно, что во второй половине двадцатого века одним из основных заболеваний, от которого умирали люди в США, был рак толстой кишки. Было предположено, что это заболевание вызвано диетой, включающей в себя использование большого количества пищевых добавок в виде частично гидролизованного каррагинана, содержащегося в большинстве кондитерских изделий и молочных продуктов. J.K. Tobacman et al. (2001) провели исследования по проверке этой гипотезы и сделали заключение, что увеличение случаев болезни рака в США в двадцатом веке могло быть связано с употреблением каррагинана, а возможно, и других водорастворимых полимеров. Корреляционные анализы, проведенные среди людей в возрасте от 10 до 35 лет, часто употреблявших и почти не употреблявших продукты с каррагинаном, показали, что увеличенное употребление таких продуктов положительно коррелирует с частотой заболевания раком.

В настоящее время проблема состоит в том, что в большинстве случаев мы не имеем научно обоснованных данных о пользе или вреде применения БАДов из морских растений. Однако исследования в этом направлении ведутся во всем мире, и большинство исследователей считают, что люди с такими заболеваниями, как опухоли, диабет, гипертония, нарушение функций щитовидной железы, должны избегать приема БАДов, сделанных на основе гидролизованных биополимеров. Нежелательно применять БАДы кормящим матерям, а также детям. В настоящее время вопрос об использовании БАДов в клинической практике остается открытым и является больше предметом для дискуссий, нежели рекомендаций.

3.3. ПОЛИСАХАРИДЫ ИЗ МОРСКИХ РАСТЕНИЙ, ИХ ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Полисахариды – это наиболее используемые вещества из морских растений. Спектр использования полисахаридов очень широк: от производства прохладительных напитков до смазочных материалов. В мире собирают и выращивают миллионы тонн водорослей, главным образом для получения полисахаридов. Промышленно производят в основном три полисахарида: агар и каррагинан из красных водорослей и альгинаты из бурых. Кроме того, получают фукоидан и ламинаран из бурых водорослей, а также хипнеан из *Hypnea* spp., фуноран из *Gloiopeltis* spp., иридофикан из *Iridea* spp. и филлофоран из *Phyllophora* spp.

3.3.1. АГАР

Полисахарид агар содержится во всех видах водорослей порядков Gelidiales, Gracilariales, Ceramiales и Rhodymeniales (Fredericq et al., 1996). Традиционно в странах АТР агар получают преимущественно из водорослей, относящихся к родам *Gracilaria*, *Ahnfeltia* и *Gelidium*. Химически неизменный, или «сырой» агар получают во многих странах простыми традиционными методами. Промышленные предприятия производят в большей части химически измененный агар разного качества (рис. 40).

Методы получения агара

Впервые агар стали получать в восточных странах и использовать его как желирующую добавку к пище. Так, в Японии производство агара было налажено уже в четырнадцатом веке новой эры. Производство «сырого» агара в Японии народными методами продолжается по сей день.



Рис. 40. Экспериментальное производство агара из различных видов грацилярии в Институте океанографии Вьетнамской академии наук (г. Нячанг, 80-е гг. прошлого столетия)

Современные методы получения агара основаны на трех основных операциях: 1) экстракция, 2) замораживание–оттаивание и 3) высушивание. Во всех этих операциях применяются современные технологии и оборудование. Основные отличия в обработке водорослей перед экстракцией зависят главным образом от используемых видов водорослей. Так, гелидиум промывается пресной водой от песка и морской соли, агар экстрагируется пресной водой. Грацилярия также промывается пресной водой, но перед экстракцией агара обрабатывается щелочью, что увеличивает прочность агарового геля. Для этого водоросли нагревают в 2–5%-ном растворе щелочи (NaOH) до 85–90°C в течение часа. После удаления щелочи их промывают водой или слабокислым раствором.

Агар из гелидиума экстрагируют при кипячении (105–110°C) под давлением в течение 2–4 часов. Агар из грацилярии обычно экстрагируют водой при температуре 95–100°C в течение 24 часов. Дальнейший процесс получения агара одинаков для обоих видов водорослей.

Вначале проводят грубую фильтрацию смеси, чтобы освободить экстракт от остатков водорослей, затем – тонкую фильтрацию экстракта под давлением при высокой температуре. В дальнейшем экстракт охлаждают, чтобы сформировался гель, который нарезают на куски. Такой гель содержит около 1% агара и 99% воды и может содержать соли, пигменты и растворимые углеводы.

Одним из методов освобождения агара от воды является замораживание–оттаивание. Гель медленно замораживают, чтобы образовались крупные кристаллы льда. Структура геля при замораживании нарушается, и когда кристаллы тают, вода высвобождается из геля, далее сконцентрированный таким образом гель (содержащий 10–12% агара) высушивают горячим воздухом до твердого состояния и измельчают до кусочков нужного размера. При этом методе получения агара наиболее дорогостоящей является операция по замораживанию–оттаиванию.

Для освобождения агарового геля от воды используют высокое давление, вода выдавливается из геля, заключенного между металлическими пластинами. Гель, оставшийся между пластинами после обработки, содержит около 20% агара, его нарезают и высушивают горячим воздухом, а затем твердый агар измельчают. В этом процессе значительное количество энергии тратится на

сушку агара. При производстве агара расходуется большое количество пресной воды, особенно при производстве агара из гелидиума. Большое количество жидких отходов при производстве агара требует затрат на их очистку при вторичном использовании.

Из грацилярии и гелидиума описанными выше методами получают соответственно пищевой и бактериологический агар. Пищевой агар обычно окрашен и имеет слабый запах водорослей, выпускается такой агар в виде полосок или пудры. Бактериологический агар не имеет цвета и запаха и желируется при 41°C в отличие от пищевого агара, который желируется при 34–36°C. Бактериологический агар не должен содержать каких-либо веществ, ингибирующих рост бактерий, таких как соли металлов, растворимые углеводы или белки, а также бактерии и их споры. Гель из бактериологического агара должен быть прочным и связывать (растворять в себе) необходимые для питания бактерий вещества.

Агар можно разделить на два вещества: агарозу и агаропектин. Агароза – хорошо желирующийся компонент, агаропектин желируется слабо. В настоящее время имеется немного производств, где получают агарозу (Armisen and Galatas, 1987). В то же время потребность в агарозе все время растет из-за развития биотехнологических производств.

Производство агара в мире

Всего в 2001 году было произведено 7630 т агара, из них: в Европе – 10%, Африке – 14%, Америке – 39% и в Азиатско-Тихоокеанском регионе – 37% от мирового производства (<http://www.fao.org>, июль 2008).

Чили является основным производителем агара в мире. На фабриках Чили ежегодно производится около 2000 т агара (из *Gracilaria chilensis* и *Gracilariopsis lemaneiformis*) разного качества (Alveal, 1997, 1998, 2007; Romo et al., 2006).

Япония производит агар из таких водорослей, как грацилярия и гелидиум, импортируемых из Индонезии, Филиппин, Чили, Испании и Португалии. Всего импортируется около 20000 т сухих водорослей, из них производится около 1200 т агара, из которых 900 т экспортируется.

Корея (Ohno, Largo, 1998; Sohn, 1998) производит около 800 т главным образом пищевого агара в год* из грацилярии и гелидиума, импортируемых из других стран.

Соединенные Штаты Америки дают около 8% мирового производства агара, что составляет около 600 т пищевого и бактериологического агара, а также агарозы (Merrill, Waaland, 1998).

Испания производит пищевой и бактериологический агар, а также агарозу (10 т в год). Общая продукция агара составляет около 600 т. Большая часть продукта экспортируется. Агаровая промышленность Испании базируется как на традиционном сырье (*Gelidium* spp.), собираемом вдоль побережья Испании и Португалии, так и на привозном из Чили (грацилярия) и Южной Африки (гелидиум) (Melo, 1998).

Китай производит около 300 т пищевого агара из водорослей, выращенных на плантациях и собранных из естественных зарослей: *Gracilaria vermiculophylla* [= *G. asiatica*], *G. tenuistipitata* и *Gelidium amansii* (Wu, 1998; Tseng, 2001).

Индонезия вырабатывает (из грацилярии и гелидиума) около 260 т пищевого агара, который частично экспортируется (Istini et al., 1998, Akirim, 2007).

В Италии 250 т пищевого агара производится только из привозного сырья (Cecere, 1998).

В Аргентине вырабатывается 200–300 т агара, главным образом из *Gracilaria verrucosa*, собранной из естественных зарослей и культивируемой на плантациях. Агаром снабжают как местный рынок, так и экспортируют в США и Парагвай (Critchley, Ohno, 1998).

Индия производит 100–160 т пищевого и бактериологического агара, Пищевой агар производят главным образом из *Hydropuntia edulis* [= *Gracilaria edulis*], бактериологический – из *Gelidiella acerosa* (Mairh et al., 1998; <http://www.fao.org>, 2008).

* Здесь и далее объемы получаемого агара указаны за год.

В Португалии получают как пищевой, так и бактериологический агар; всего около 100 т в основном из *Gelidium corneum* [= *Gelidium sesquipedale*] и *Pterocladia capillacea* [= *Pterocladia capillacea*], собранных вдоль побережья страны, большая часть агара экспортируется в США и Европу (Sousa-Pinto, 1998; www.iberagar.com, 2008).

Франция вырабатывает до 100 т главным образом высококачественного бактериологического агара и агарозы, в основном из *G. corneum*, собираемого вдоль побережья Франции, Испании и Португалии (Kaas, 1998).

Марокко производит агар из *G. corneum*, собранного из естественных популяций, и занимает одно из первых мест в мире по экспорту этого продукта (<http://www.fao.org>, 2008).

Вьетнам вырабатывает 80–100 т пищевого агара из *G. tenuistipitata*, *Gracilaria vermiculophylla* [= *G. asiatica*] и частично из *G. acerosa*, собранных в море и выращенных на плантациях.

В Мексике производят 40–75 т агара из мексиканских видов рода *Gelidium* (Pacheco-Ruiz, Aguilar-Rosas, 1984; Robledo, 1998).

Новая Зеландия является основным производителем бактериологического агара из *Pterocladia lucida*. Всего в Новой Зеландии производят около 30 т агара (Brown, 1998).

Таиланд ежегодно вырабатывает около 40 т пищевого агара для местного рынка (Lewmanomont, 1998).

В Перу пищевой агар производит также для внутреннего потребления главным образом из *Gracilariopsis lemaneiformis* [= *Gracilaria lemaneiformis*] и *Gelidium howei* (Acleto, 1998).

В Бразилии агар получают из местных видов грацилярии. Всего вырабатывают до 40 т (Oliveira, 1998).

В России агар экстрагируют в основном из неприкрепленной водоросли *Ahnfeltia tobuchiensis*, произрастающей на юге Дальнего Востока. В 80–90-е гг. прошлого столетия в Японском море добывали около 1800 т сух. м. анфельции «из пласта» и из береговых выбросов и получали около 120–150 т агара (Титлянов и др., 1993; Суховеева, Подкорытова, 2006). В настоящее время производство агара резко уменьшилось.

В 60–80-е гг. прошлого столетия рынок агара сокращался за счет замены его в пищевой промышленности другими качественными и дешевыми фикоколлоидами, такими как каррагинаны и альгинаты. С 90-х гг. прошлого столетия рынок пищевого агара стабилизировался и вряд ли изменится в ближайшие 10–20 лет. В настоящее время рынок бактериологического агара также стабилизировался, однако цена на него повышается из-за большого спроса и более качественной, чем в прошлые годы, очистки этого продукта. В настоящее время производится и продается всего около 50 т агарозы (<http://www.fao.org>, 2008). Рынок агарозы растет и будет расти в течение ближайших 5 лет в связи с развитием биотехнологий.

Использование агара

Агар широко используется во многих отраслях промышленности и в быту из-за его способности образовывать гель с уникальными свойствами. Большая разница в температурах, при которых гель образуется и плавится, придает ему эти свойства. Около 90% производимого агара используется в пищу, а остальной агар – для технических целей. Используют агар в хлебопечении, в производстве мороженого, пирожных, фруктовых пудингов (гелей), джемов и мармелада. В последнее время агар нашел применение в пищевой промышленности как вещество, способствующее легкому отделению продукта от различного рода современных упаковок. Так как агар не имеет вкуса и запаха, он добавляется в пищу только вместе с другими веществами. Особое применение агаровый гель находит в производстве сладкого десерта: конфет и пастилы, так как удерживает в своей структуре сахар, краски и отдушки, причем при добавлении сахара плотность геля увеличивается. В комбинации с другими биокolloидами агар используется для стабилизации щербетов и мороженого. Агар используется также для приготовления мясных и рыбных продуктов. Он улуч-

шает текстуру молочных продуктов, мягкого сыра и йогурта, используется для осветления вина, особенно сливового, которое трудно осветлить другим способом. Агар не переваривается в ЖКТ человека и поэтому является основным компонентом малокалорийных блюд. Он используется в текстильной, бумажной и кожевенной промышленности. В парфюмерии агар применяют для стабилизации эмульсий и суспензий. В фармакологии его используют как желирующее вещество и адсорбент при изготовлении таблеток и капсул. В цветоводстве и растениеводстве агар применяют как нейтральный носитель питательных веществ, его используют при выращивании проростков.

Бактериологический агар широко используется в медицинских, биотехнологических и научно-исследовательских работах: для выращивания бактерий, в культивировании меристемы и других тканей, а также при тестировании наличия бактерий в воздухе, воде и почве.

Агароза применяется в высокотехнологичных отраслях промышленности и в научно-исследовательских работах. Ее широко применяют в современной биохимии и молекулярной биологии для выделения, очистки и анализа биополимеров: белков, полисахаридов, нуклеиновых кислот (Суховеева, Подкорытова, 2006), а также как среду для иммобилизации клеток и ферментов в биотехнологических процессах (Renn, 1984).

3.3.2. КАРРАГИНАН

Способы получения каррагинана

В начале XX века из экстрактов некоторых красных водорослей стали промышленно получать каррагинан. Скачок в производстве каррагинана произошел в начале 60-х гг. прошлого столетия, когда каррагинан стал широко применяться в пищевой промышленности. В странах АТР, как и во всем мире, каррагинан получают из представителей родов *Chondrus*, *Eucheuma* и *Carpathyus*.

Исходный метод получения «сырого» (неизмененного химически) каррагинана состоит в следующем: каррагинан экстрагируется из водорослей водой, остатки водорослей отделяются от экстракта фильтрованием, после чего экстракт выпаривается досуха. В настоящее время этот метод экстракции каррагинана применяется только в домашних условиях. Сегодня промышленное производство каррагинана основано на других, более технологичных методах (Подкорытова и др., 1994).

Получение полуочищенного каррагинана и водорослевой муки. При производстве полуочищенного каррагинана используются водоросли из родов *Carpathyus* и *Eucheuma*. Свежие водоросли помещают в металлические сосуды, заливают раствором щелочи (KOH), и смесь нагревают в течение двух часов. Щелочь проникает внутрь слоевищ водорослей, уменьшая количество сульфатов в молекуле каррагинана и относительно увеличивая количество галактозы или ее 3,6-ангидрида. Каррагинан образует гель внутри водорослей и не растворяется в воде. Растворимые белки, углеводы и соли остаются в растворе и удаляются вместе с ним. Остатки водорослей промывают несколько раз водой, чтобы удалить щелочь. Промытый водой материал высушивают под открытым небом на солнце около двух дней, после чего его измельчают и растирают в муку, которую упаковывают в мешки и продают как «водорослевую муку». Этот продукт, содержащий каррагинан, имеет неприятный запах, а также содержит различные бактерии и непригоден в пищу. Однако он имеет большой спрос на рынке фикоколлоидов, где его покупают в качестве сырья (для получения каррагинана) страны, не имеющие собственных запасов каррагинансодержащих водорослей. Для производства полуочищенного каррагинана в настоящее время используется главным образом выращенный *Carpathyus alvarezii*, содержащий каппа-каррагинан.

Очищенный или отфильтрованный каррагинан. Этот продукт был впервые произведен из *Chondrus crispus*, а в настоящее время его получают практически из всех каррагинансодержащих видов. Водоросли промывают и нагревают в растворе щелочи в течение нескольких часов. Щелочь используют для того, чтобы увеличить прочность геля в конечном продукте. Нерастворимые

в воде остатки водорослей отделяют от раствора центрифугированием, фильтрацией или комбинацией этих операций, затем раствор фильтруют под давлением. Экстракт, содержащий 1–2% каррагинана, концентрируют до 2–3% содержания продукта путем вакуумной дистилляции или ультрафильтрации.

Существует два метода получения твердого каррагинана из раствора. Это метод осаждения биокolloидов спиртом, используемый для получения разных типов каррагинана, и метод дегидрирования геля путем прессования под давлением или путем замораживания–оттаивания, последний используется только для получения каппа-каррагинана.

При первом методе к водному раствору каррагинана добавляется изопропиловый спирт до тех пор, пока весь каррагинан не выпадет в осадок. Осадок отделяют от раствора центрифугированием или фильтрацией, затем его прессуют для освобождения от растворителя и промывают изопропанолом. Остаток сушат и размалывают.

При втором методе полученный разными способами гель каррагинана дегидратируют путем замораживания–оттаивания. Удобно формировать гель в виде спагетти, пропуская раствор каррагинана через небольшие отверстия прямо в растворе KCl. Образовавшиеся «спагетти» промывают калиевой солью и затем прессуют, чтобы освободиться от части воды, затем гель замораживают. После размораживания от геля отделяют воду, промывают раствором соли, режут и сушат горячим воздухом. Полученный продукт неизбежно содержит некоторое количество соли. Методом альтернативным описанному выше является способ освобождения геля от воды путем прессования, где используется оборудование, применяемое при производстве агара.

Филиппинский натуральный продукт, получаемый из водоросли рода *Eucheuma*. Обработанные щелочью и отмытые от нее водоросли измельчают и химически отбеливают, чтобы обесцветить сырье и убить бактерии. После промывания от отбеливателя сырье высушивают в специальных закрытых сушилках, которые позволяют не только высушить, но и не загрязнить его бактериями (как это происходит при сушке на открытом воздухе). Если каррагинан все же содержит некоторое количество бактерий, то его промывают этиловым спиртом, который после обработки удаляют в вакуумной сушилке.

Мировое производство каррагинана

Производство каррагинана в 70-е гг. прошлого столетия составляло 8000–9000 т, а в 2000 г. оно достигло уже 27000 т. США, Дания и Франция контролируют рынок каррагинана. США и Дания не имеют запасов каррагинансодержащих водорослей и используют для производства каррагинана привозные сухие водоросли или сырой (неочищенный) каррагинан, произведенный в других странах (Critchley, Ohno, 1998).

США в 2001 г. имели более 35% мирового производства каррагинана, это около 10000 т продукта, в основном очищенного каррагинана высокого качества, который получают из сырого полуочищенного продукта и из сухих водорослей, ввозимых из Индонезии и Филиппин, а также из *Chondrus crispus*, импортируемого из Европы и Канады (Merrill, Waaland, 1998; Lindstrom, 1998).

Франция импортирует около 14000 т сухих водорослей (*Eucheuma denticulatum* и *Carparhycus alvarezii*) из Индонезии, Филиппин и других стран для производства высококачественного каррагинана (Kaas, 1998). При такой поставке сырья Франция должна производить не менее 7000 т каррагинана.

Япония производит каррагинана около 3000 т, главным образом из *Eucheuma* spp., *Carparhycus* spp., импортируемых из Юго-Восточной Азии, а также из *Chondrus* spp. и *Gigartina* spp. – из Европы (Ohno, Largo, 1998).

Испания ежегодно производит в среднем около 1600 т каррагинана в основном из водорослей, импортируемых с Филиппин и Индонезии (*Eucheuma* spp.), 60–80% готового продукта экспортируется в другие индустриально развитые страны (Juanes, Sosa, 1998).

Чили производит более 1000 т каррагинана из *Iridaea ciliata*, собираемой вдоль побережья, и из видов *Eucheuma*, выращенных на плантациях (Alveal, 1998).

Новая Зеландия получает к-каррагинан из водорослей, импортируемых с островов Южной Пацифики, Фиджи, Тонго, а также из Индонезии и Филиппин (Luxton, Courtney, 1987). Продукция каррагинана в Новой Зеландии в середине 80-х гг. прошлого столетия составляла около 1000 т готового продукта, из которых 40 т продавалось на местном рынке (Brown, 1998).

Китай вырабатывает около 400 т каррагинана в основном из местных видов водорослей, таких как *Betaphycus gelatinum* [= *Eucheuma gelatinae*] и *Hypnea* spp., собираемых в южных провинциях (Critchley, Ohno, 1998).

Филиппины получают каррагинан из водорослей родов *Eucheuma* и *Karraphycus*, выращиваемых на плантациях. Кроме того, эти водоросли экспортируются за границу в сыром и сухом виде, как полуготовый каррагинан в виде муки или как готовый продукт. Последние два вида продуктов преобладают в экспорте (<http://www.fao.org>, 2008).

Малайзия производит каррагинан из *Eucheuma* spp., выращенных на плантациях. В этой стране производство каррагинана было основано только в 1988 г., а в 1995 г. каррагинан уже выпускали 7 компаний (<http://www.fao.org>, 2008).

Индонезия выпускает каррагинан в виде полуфабриката (Akirim, 2007) и экспортирует его в такие страны, как Новая Зеландия, Англия, Германия, Франция, Австрия и Япония для дальнейшей обработки (<http://www.fao.org>, 2008).

Использование каррагинана

Относительно невысокая и стабильная цена каррагинана (от 3,3 до 4,5 американских долларов за килограмм), его физико-химические свойства, а также очень низкие применяемые концентрации сделали этот продукт высококонкурентным на рынке загустителей и гелеобразователей. Каррагинан, имеющий свойства загустителя, стабилизирующего и гелеобразующего компонента, влияет на свойства материалов, с которыми он смешивается, и, также как агар, применяется в производстве хлебобулочных изделий, молочных продуктов, различного рода напитков, в консервировании мяса и рыбы, а также как диетическая добавка. Каррагинан реагирует с белками, содержащимися в молоке и муке, предотвращая их денатурацию, и придает продуктам вязкость и желеобразующие свойства. Каррагинан, также как и агар, не переваривается в ЖКТ человека.

Полисахариды группы каррагинана обладают разнообразной биологической активностью. Перспективным оказался поиск среди них антикоагулянтов крови – аналогов гепарина (Renn, 1984). В медицине к-каррагинан используют как заменитель агара при проведении вирусологических и иммунологических исследований, в качестве антиопухолевого, противовоспалительного средства, иммуномодулятора. Он является основой питательных сред, а также применяется для приготовления таблеток и капсул. Известно, что каррагинан замедляет свертывание крови, обладает противосклеротическим эффектом, ингибирует опухолевые метастазы.

Кроме пищевой и медицинской отраслей каррагинан используют в качестве стабилизатора при изготовлении косметических средств (Wheaton, Lawson, 1985): лосьонов, кремов, шампуней. Каррагинан придает коже мягкость и бархатистость, а волосам – блеск и шелковистость. Каррагинан используют для увеличения вязкости зубных паст. Известно применение каррагинана и в текстильной промышленности (Sandford, Baird, 1983; Witt, 1985; Stephen, Williams, 2006). В биотехнологии применяется главным образом к-каррагинан. Его водные растворы образуют прочные, эластичные и термообратимые гели. Температура образования геля и его прочность зависят от концентрации полимера, количества и типа катионов, присутствующих в растворе (Суховеева, Подкорытова, 2006).

3.3.3. АЛЬГИНАТЫ

Альгинаты это – соли альгиновой кислоты, получаемые в основном из таких бурых водорослей, как *Macrocystis pyrifera*, *M. leutkeana* (США), *Ascophyllum nodosum* (Норвегия), *Laminaria digitata* (Франция), *L. hyperborea* (Англия), *Saccharina latissima* и *S. japonica* (Китай, Япония), *Lessonia trabeculata* (Япония, США), *Ecklonia maxima*, *Alaria* spp. (Япония), *Durvillaea antarctica* (Англия, США), *Sargassum* spp. (Китай и Вьетнам), а также *Ecklonia maxima* (Южная Африка).

Способы получения альгинатов и альгиновой кислоты

Наиболее подробно методы получения альгиновой кислоты и альгинатов описаны в книге М.В. Суховеевой и А.В. Подкорытовой (2006). Методы основаны на получении продуктов из ламинариевых водорослей, произрастающих в морях Дальнего Востока России. Ниже приводится описание технологического процесса по упомянутой книге в сокращенном виде.

Подготовка материала. Водоросли промывают в морской или пресной воде, удаляют песок, слизь и другие загрязнения. Сырые или восстановленные слоевища водорослей измельчают на кусочки размером 4–9 см².

Деминерализация. Деминерализацию проводят для превращения альгинатов, содержащихся в водорослях, в альгиновую кислоту. Водоросли загружают в перфорированные корзины, опускают в реактор и заливают 1,0–2,0%-ным раствором соляной или серной кислоты при температуре 30–35°C и соотношении массы сырых водорослей к массе раствора 1:1 или в соотношении воздушно-сухой массы водорослей к массе раствора 1:15, выдерживают в течение 1,0–2,0 ч при периодическом прокачивании смеси воздухом или ее перемешивании механической мешалкой с частотой вращения 10–15 об/мин.

После деминерализации перфорированную емкость с водорослями вынимают из раствора, дают возможность стечь жидкости в течение 15–20 мин, 2–3 раза промывают пресной водой (1–20°C) и отстаивают водоросли в воде в соотношении 1:5 в течение 30 мин при периодическом перемешивании. После этого водоросли еще раз промывают до pH 7 в промывных водах.

Экстракция. Деминерализованные водоросли, промытые водой, помещают в реактор и заливают горячей водой с температурой 80°C в соотношении 1: 8, добавляют углекислый натрий (Na₂CO₃) из расчета 10% к массе исходных сухих водорослей и доводят pH раствора до 8,5–9,0. Экстракцию проводят в течение 6–8 ч при температуре 80–90°C, поддерживая pH раствора на уровне 8,5–9,0. Водоросли периодически перемешивают. При получении слишком густого экстракта в смесь добавляют еще 2 части горячей воды, перемешивают и затем настаивают в течение 4–6 ч.

Фильтрация. После экстрагирования альгинатов смесь фильтруют вначале на вибро- или ротационном сите, а затем проводят более тонкую очистку с использованием пресс-фильтров, барабанных вакуумных фильтров или центрифуги. Очищенный экстракт с содержанием примесей не более 0,4 г/л охлаждают до температуры 10–20°C.

Экстракт используют для получения альгиновой кислоты, альгината кальция, альгината натрия или смешанных натрий-кальциевой или калий-кальциевой солей.

Осаждение геля альгината кальция. В охлажденный экстракт с температурой не выше 20°C при интенсивном перемешивании добавляют дозированный объем 10%-ного раствора хлористого кальция. Осажденный гель выдерживают в течение 20–30 мин до полного созревания при периодическом перемешивании и далее переносят на вибросито для отделения его от жидкой фракции. Гель альгината кальция дважды промывают горячей водой при температуре 90±5°C.

Обезвоживание геля альгината кальция. Отделение избытка воды от геля альгината кальция производят на гидравлическом прессе или центрифуге до доли сухих веществ в геле не менее 10%. Полученный продукт направляют на гранулирование.

Гранулирование. Частично обезвоженный гель альгината кальция измельчают на кусочки до 6 мм в диаметре. Гранулы альгината кальция или высушивают, или хранят в замороженном состоянии при температуре минус 18°C. Такой продукт можно использовать как полуфабрикат для получения альгиновой кислоты или альгината.

Осаждение геля альгиновой кислоты. Альгиновую кислоту осаждают из очищенного экстракта альгинатов путем добавления к нему 18%-ного раствора соляной кислоты или концентрированного раствора серной кислоты. Гель альгиновой кислоты выпадает в раствор в виде крупных белых сгустков при достижении pH раствора между 2–3. Смесь выдерживают при периодическом перемешивании в течение 20–30 мин для завершения реакции образования альгиновой кислоты, созревания и уплотнения геля. Затем смесь переносят на вибросито, где промывают водой при температуре 90–95°C до pH 3,0–3,5. Промытый гель отделяют от избытка воды прессованием или центрифугированием, гранулируют и направляют на сушку.

Для получения альгиновой кислоты из геля альгината кальция последний помещают в емкость, размораживают (если он замороженный) и обрабатывают дважды 2%-ным раствором соляной кислоты в соотношении 1:2 (альгинат кальция: раствор кислоты) при периодическом перемешивании в течение 0,5–1,0 ч.

После обработки раствором кислоты в результате химической реакции замещения катиона кальция на ион водорода альгинат кальция превращается в альгиновую кислоту, которую затем освобождают от избытка соляной кислоты промыванием водопроводной или дистиллированной водой до pH 3,0–3,5. Затем альгиновую кислоту сушат или используют для получения альгината натрия.

Получение альгината натрия. Частично обезвоженный гель альгиновой кислоты помещают в смеситель, снабженный мешалкой, куда добавляют раствор карбоната натрия. Если доля сухих веществ в геле альгиновой кислоты составляет около 10%, то карбонат натрия добавляют из расчета 3 кг соли на 100 кг геля и воды. Смесь выдерживают при периодическом перемешивании в течение 5–6 ч.

Полученный пастообразный альгинат натрия должен быть однородным, прозрачным и иметь pH около 6,5. Продукт обезвоживают и сушат. Для этого пасту альгината натрия заливают этиловым спиртом в соотношении 1:2 (альгинат: спирт), тщательно перемешивают до образования крепких волокон альгината и выдерживают в спирте не менее 30 мин, после чего спирт отделяют от осадка на вибросите. Обезвоженный спиртом альгинат измельчают на грануляторе, помещают ровным слоем на поддоны и сушат при температуре 50–70°C до содержания в нем влаги не более 15%. Высушенный продукт измельчают.

Страны, производящие альгинаты

В настоящее время в мире вырабатывают около 30000 т альгинатов. Основными производителями являются такие страны, как Япония, Китай, Индонезия, Норвегия, Великобритания, Франция, США, Чили.

Япония производит ежегодно около 1000–1500 т альгинатов главным образом из *Ecklonia taxima* и *Durvillaea antarctica*, импортируемых из Чили и Южной Африки. Альгинаты, выработанные в Японии, имеют высокое качество и экспортируются в другие страны, где находят применение в пищевой и фармацевтической промышленности (Ohno, 1998).

Китай производит около 8000 т альгиновой кислоты в основном из *Sargassum* spp., обитающего вдоль побережья Китая, а также из *Saccharina japonica* [= *Laminaria japonica*], широко культивируемой в стране. Из нее получают не только альгинаты, но также йод и маннитол (Tseng, 2001).

Индонезия производит около 300 т альгинатов преимущественно из местных видов саргасов. В последнее время одна из индонезийских фирм «PT Merlindo Rekatra» производит из саргасов медицинский продукт «Seahealth» и экспортирует его в Китай (Istini et al., 1998).

Норвегия производит более 3000 т альгинатов из местной популяции *Ascophyllum nodosum* (запасы которого в этой стране еще значительны), а также из импортного материала.

Англия производит около 3000 т альгинатов из местных видов *Ascophyllum* и *Laminaria hyperborea*, а также из импортного сырья.

Франция производит в последнее время до 3000 т продукта. Альгиновую кислоту получают в основном из *Laminaria digitata*, которую собирают вдоль побережья Франции в количестве около 60000 т, используют также и импортное сырье.

США производит около 5000 т альгинатов, в основном, из *Macrocystis pyrifera* (годовой сбор более 60000 т), используются и водоросли, импортируемые из Австралии, Индии и Чили (Merrill, Waaland, 1998; McHugh, King, 1998; Sanderson, 1994).

В Чили производят около 50 т альгината из *Lessonia trabeculata*, весь альгинат используется внутри страны (Alveal, 1998).

Таким образом, почти все страны, производящие альгинат, используют на его производство природные популяции водорослей, сырье для производства берут из моря или из береговых выбросов, и только Китай получает альгинаты в основном из культивируемой *S. japonica*.

Полезные свойства альгинатов и их использование

Альгинаты растворимы в таких смешивающихся с водой растворителях, как спирты и кетоны. Для приготовления водных растворов альгинатов их в начале растворяют в небольшом количестве спирта и затем разбавляют водой, такие растворы используются для стабилизации различного рода напитков. Растворы альгината натрия и пропиленгликоль альгината имеют высокую вязкость, даже разбавленные большим количеством воды. Их вязкость увеличивается с увеличением концентрации биокolloида и уменьшается с повышением температуры. Увеличение количества ионов поливалентных металлов в альгинатах повышает вязкость их растворов. Высушенные альгинаты, как и другие природные полисахариды, неустойчивы при нагревании или воздействии кислорода, причем высоковязкие альгинаты менее стабильны, чем слабовязкие. Наиболее стойким альгинатом является альгинат натрия, затем альгинат аммония, а наиболее неустойчивой является альгиновая кислота. Раствор чистого альгината натрия не уменьшает свою вязкость при комнатной температуре в течение нескольких месяцев. Альгинаты сохраняют свои свойства длительное время при комнатной температуре и при pH раствора от 5,5 до 10.

В настоящее время производят большое количество разных альгинатов, но наиболее используемые из них это – альгинаты натрия, кальция, калия, аммония, а для специальных целей – альгинаты цинка, меди, натрий-кальциевые, аммонийно-кальциевые, пропиленгликолевые альгинаты (Суховеева, Подкорытова, 2006). В пищевой промышленности используется около 30% ежегодно выпускаемых альгинатов, 50% – в текстильной, остальное – в медицинской, косметической, фармацевтической и других отраслях промышленности.

Растворимые альгинаты широко применяют в пищевой промышленности как загустители, стабилизаторы, эмульгаторы. Концентрированные растворы этих полимеров проявляют тиксотропные свойства, т.е. превращают золь в гель.

Альгинаты используются для получения высококачественных пищевых изделий:

Молочные продукты

Мороженое: 0,1–0,5%-ный альгинат поддерживает его однородность, предотвращая образование больших кристаллов льда.

Молочный коктейль: 0,25–0,5%-ный альгинат ускоряет образование его равномерной консистенции.

Щербеты: 0,3–0,5%-ный альгинат способствует равномерной текстуре продукта, удержанию вкусовых добавок и сахарного сиропа, а также придает изделию форму.

Шоколадное молоко: 0,25%-ная альгинат-каррагинановая композиция используется как суспензирующий агент для волокон какао, придает однородность и вязкость продукту.

Йогурт, сметана и другие молочные продукты: альгинат используется как наполнитель, придающий вязкость.

Добавление альгината (1,0–1,5%) в состав сыров придает им однородность, повышает устойчивость к высушиванию. Добавление альгината в состав соусов, майонезов предохраняет их от коагулирования.

Хлебобулочные изделия

Начинка для пирожного: 0,3–0,5%-ный альгинат придает продукту нежность и однородность текстуры, препятствует затвердеванию.

Желе и безе: 0,2%-ный альгинат сохраняет продукт стабильным при дефростации.

Глазурь: 0,3–0,5%-ный альгинат препятствует затвердеванию, предотвращает ломкость глазури.

Начинка для пирога: 0,3–0,5%-ные альгинаты предотвращают расслоение компонентов, делают начинку мягкой и однородной. В нейтральных или кислых типах начинки должно содержаться 0,7–1,5% альгината, в жиросодержащих начинках – 1,25–6% альгинатов.

Альгинаты двух- и поливалентных катионов металлов нерастворимы в воде. Это свойство используется для получения защитных покрытий и пленок в пищевой и медицинской промышленности. В России разработано средство «Альгипор» для покрытия ран и ожогов на основе водорастворимого альгината, ускоряющее заживление ран, ожогов и язв и снижающее их инфицирование.

На основе альгинатов разрабатывают препараты для лечения гастритов, язвы желудка и двенадцатиперстной кишки.

Как гелеобразователи альгинаты используются для инкапсулирования живых клеток, дрожжей и бактерий. Инкапсулированные клетки не вызывают реакции иммунной системы организма и поэтому являются эффективным лечебным препаратом.

Положительные результаты получены при применении альгинатных гелей в качестве хроматографических носителей, например, для диффузионной хроматографии гемоглобина. Альгинат аммония (0,1%) используется как основа для смазки резинового латекса и других полимерных продуктов. Покрытие низководородных сварочных прутков альгинатом (0,4–1,2%) улучшает качество сварочного шва. Включение в состав водорастворимых красок альгината (0,05–0,15%) улучшает суспензирование пигментов и контролирует вязкость красок.

Альгинаты помогают формировать мягкий отстой и уменьшают образование пены в водонагревательных котлах, улучшают пластичность и влажность глины при изготовлении керамических изделий. Они используются как связывающие вещества при приготовлении корма для рыб и креветок, уменьшают расход корма, а также загрязнение водоемов остатками пищи; контролируют выделение в воду или почву из гранул таких субстанций, как удобрения, гербициды и др. Альгинаты (0,5–1,5%) улучшают текучесть шампуней при их нанесении на волосы или тело, а также улучшают вязкость и контролируют застывание зубопротезных материалов, придавая им эластичность. В текстильной промышленности альгинаты способствуют устойчивости красок и придают особый блеск тканям.

3.3.4. ФУКОИДАНЫ

Фукоиданы – сульфатированные полисахариды бурых водорослей, которые в последнее время благодаря своим полезным свойствам и применению в пищевой и фармацевтической промышленности, а также в медицине стали производиться в промышленных масштабах в таких странах, как США, Япония, Австралия, Испания и др. Фукоиданы в различных количествах присутствуют практически во всех бурых водорослях. Промышленное производство фукоиданов в настоящее время основано на водорослях из таких родов, как *Nemacystus*, *Cladosiphon*, *Undaria*, *Adenocystis*, *Cystoseira*, *Sargassum*, *Laminaria*, *Saccharina*.

Методы выделения и очистки

Методы выделения и очистки фукоиданов базируются на работах по изучению их структуры и свойств, опубликованных в конце 80-х и начале 90-х гг. прошлого столетия (Maruyama et al., 1987; Baba et al., 1988; Ellouali et al., 1993; Tako et al., 2000).

Для производства фукоиданов используются свежие, сухие и замороженные водоросли. Фукоиданы экстрагируются водой с pH от 3,5 до 10,5, однако предпочтительно экстрагировать фукоиданы водой с pH 7. Для улучшения экстракции в воду иногда добавляют вещества, улучшающие выход фукоиданов.

Методы, разработанные для получения фукоиданов, включают: а) помещение водорослей в жидкость для экстракции, б) нагревание смеси и обработка ее ультразвуком, в) экстрагирование фукоиданов в среду и получение раствора фукоиданов, г) отделение фукоиданов, содержащихся в растворе от нерастворимых остатков водорослей.

Предпочтительное соотношение сырой массы сырья к массе экстрагирующей среды составляет 6:8. Температура смеси при обработке ультразвуком должна быть около 60°C. Экстракты фукоиданов, полученные под действием ультразвука, содержат как растворимые, так и нерастворимые компоненты, поэтому экстракт необходимо фильтровать. Ниже приведены два примера экстракции фукоиданов с использованием разного исходного материала и получением продукта разной степени очистки.

Пример 1. Кусочки сухих слоевищ водоросли *Nemacystis decipiens* или *Cladosiphon okamuranus* (7,2 г) помещают в коническую колбу объемом 300 мл и туда же заливают 290 мл воды, затем колбу помещают в ванну прибора («Branson 72», output 375 W, frequency 45kHz, Branson Ultrasonics Corporation, Danbury, Conn.) под ультразвук на 6 часов. Температуру в ванне прибора постепенно повышают от 20 до 48°C. После 6 часов экстракции фракцию фильтруют через нейлоновый газ. Фильтрат центрифугируют в течение 30 мин при 3500 об./мин для освобождения от нерастворимой фракции. Содержание нейтральных сахаров (превращенных в фукозу) в супернатанте, определенное методом с добавлением фенолсерной кислоты, составляло 150,5 мг.

Пример 2. Кусочки замороженных слоевищ *Nemacystus decipiens* (33 г сыр. м.) помещают в колбу 500 мл. В колбу добавляют воду и помещают в ванну ультразвукового генератора на 24 часа. Температуру в ванне постепенно повышают до 50°C. После экстракции смесь фильтруют и центрифугируют (как в примере 1). В супернатант (210 мл) добавляют 5 мл 3-молярного раствора уксуснокислого калия с pH 5,2, раствор перемешивают и в него добавляют 500 мл этилового спирта для осаждения фукоидана. После отстаивания раствора в течение 4 часов при комнатной температуре смесь центрифугируют в течение 30 мин. Затем осадок очищают 80- и 99,5%-ным этиловым спиртом и высушивают в эксикаторе под вакуумом. Таким образом получают 480 мг продукта в виде светло-коричневого порошка. Выход фукоиданового порошка при таком способе экстракции составлял 1,45% от свежего веса водорослей. Содержание нейтральных сахаров в порошке фукоидана составляло 160,3 мг (33,4%) и сульфатов 97,5 мг (0,3%) (<http://www.freshpatents.com>, 2008).

В Аргентине фукоидан экстрагируют из бурой водоросли *Adenocystis utricularis* тремя способами: дистиллированной водой, 2%-ным раствором солянокислого кальция и разбавленным раствором соляной кислоты. Во всех случаях экстракция эффективна как при комнатной температуре, так и при нагревании до 70°C. Выход продукта и его качество были примерно одинаковы при всех трех способах экстракции. Анализ показал, что в *A. utricularis* содержится 2 разных типа фукоидана. Один из них (галактофукан) главным образом экстрагируется при комнатной температуре и содержит в основном L-фукозу, D-галактозу и сульфатированные эфиры этих сахаров. Другой продукт (уронофукан) лучше экстрагируется при 70°C и состоит главным образом из фукозы и значительного количества уроновых кислот с низким содержанием сульфатированных эфиров сахаров (Ponce et al., 2003).

При изготовлении продукта промышленным методом необходимо стремиться не только к полной экстракции фукоидана из водоросли, но и к сохранению его природной структуры. Со-

хранение нативных свойств фукоидана дает возможность использовать его как добавку к пище и в медицинских целях, что, несомненно, расширяет рынок сбыта этого продукта.

Использование фукоиданов

Компании, производящие и распространяющие препараты фукоиданов, так рекламируют их свойства: способствуют оздоровлению кожи; уменьшают уровень холестерина в крови; помогают бороться с аллергией и с расстройствами желудка; поддерживают функциональную активность печени; способствуют выведению свободных радикалов (антиоксиданты), помогают в борьбе с раковыми заболеваниями; стабилизируют уровень сахара в крови. Такая реклама никак не искажает их свойства и не превышает их значение. Например, показано, что фукоидан из водоросли *Fucus evanescens* может быть использован как иммуностимулятор при реабилитации после перенесения тяжелых заболеваний (Kuznetsova, 2009). Фукоиданы проявляют антикоагуляционную активность и могут применяться в лечении и предупреждении сердечно-сосудистых заболеваний. Фукоидан из *Cladosiphon okamuranus* помогает при лечении желудочных заболеваний благодаря его антиоксидантной активности (Shibata et al., 1999; Zhang et al., 2002; Matsumoto et al., 2004). Фукоидан-хитозановые пленки применяются при лечении ожогов кожи (Sezer et al., 2007). Экстракты из *Cystoseira canariensis* способствуют восстановлению мышц, их росту и синтезу в них белка (Seifulla et al., 2009). Обнаружена антираковая активность фукоидана, который способствует саморазрушению раковых клеток, запуская процесс апоптоза (<http://www.sea-vegg.us/fucoidan.html>, 2008).

3.3.5. ДРУГИЕ ПРОДУКТЫ ИЗ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Фурцеллярин

В последние 30 лет новый продукт фурцеллярин появился на рынке фикоколлоидов. Производство фурцеллярина базируется в основном на красной водоросли *Furcellaria fastigiata*, растущей в северной Атлантике. Изначально этот фикоколлоид был известен как датский агар. Однако по своим свойствам он ближе всего к к-каррагинану. Продукция этого фикоколлоида сконцентрирована преимущественно в Дании. Около 30000 т сыр. м. *F. fastigiata* собирают в Канаде и экспортируют в Данию. В последние годы производят около 1200 т фуцеллярина, стоимость которого на рынке составляет от 3,2 до 5,0 американских долларов за килограмм (Stephen, Williams, 2006). Способ получения фурцеллярина описан Р.Л. Вистлером и Ж.Н. Де Миллером (Whistler, DeMiller, 1973). Промытая от песка и других примесей, фурцеллярин замачивается в растворе щелочи на 2–3 недели. После такой предобработки сырье поступает в производство или высушивается и сохраняется для дальнейшей обработки.

1. Водоросль, обработанную щелочью, кипятят в воде в открытых сосудах или под давлением. Экстракт фильтруют или центрифугируют.

2. Экстракт концентрируют в вакуумных испарителях, после чего фурцеллярин осаждают раствором KCl.

3. Полученный гель освобождают от раствора и помещают в солевой морозильник на 20–30 часов.

4. После оттаивания в растворе KCl гель прессуют или центрифугируют для получения волокнистой массы, содержащей около 15% сухого вещества.

5. Материал высушивают и измельчают до пудры.

Свыше 90% производимого фурцеллярина используется в пищевой промышленности для приготовления джемов, пудингов, фруктовых желе, соков, мясных и рыбных продуктов, в пивоварении, а также для приготовления диетического и детского питания. Фурцеллярин также исполь-

зуется в косметической промышленности, особенно в приготовлении зубной пасты. Очень успешно фуцелларин используется в смеси с другими фикоколлоидами (<http://www.fao.org>, 2008).

Хипнеан

Продукт, получаемый из красной водоросли *Hypnea musciformis* и родственных видов, близок по химической структуре к каррагинанам. Водоросли из рода *Hypnea* распространены в основном в тропических и субтропических водах. Экстракты из этой водоросли формируют гель, имеющий более высокую прочность, чем другие фикоколлоиды, кроме того, его свойства хорошо контролируются и модифицируются. Свойство формировать (часто в смеси с другими биоколлоидами) гели высокой прочности и эластичности делают эту водоросль перспективной для коммерческого использования и культивирования.

Фунорин

Продукт, получаемый из красных водорослей рода *Gloiopeltis*, используется в Азии, главным образом в Японии и Китае, при завивке и окрашивании волос. Биоколлоид экстрагируется из сухих обесцвеченных водорослей. При помещении последних в горячую или теплую воду они через некоторое время растворяются в ней, давая светлый и вязкий коллоидный раствор с прекрасными клеящими свойствами. Фунорин в небольших количествах используется также в текстильной промышленности (как клей), в традиционной японской и китайской живописи (добавляется в краску). Основные запасы *Gloiopeltis* spp. найдены в Японии и Китае, а также вдоль Тихоокеанского побережья Северной Америки.

Иридофикан

Свойства иридофикана близки к свойствам фунорина и каррагинана. Он экстрагируется из красных водорослей рода *Iridaea*, которые широко распространены в водах центральной Калифорнии, а также в Южной Африке, Японии и Чили. Продукт используется как растворитель или наполнитель в смеси с другими биоколлоидами. В США иридофикан используется в приготовлении жидкого шоколада и других напитков, а также используется как универсальный клей. Иридофикан применяется в медицинских целях в производстве лекарственных препаратов, предотвращающих коагуляцию крови.

Ламинарин

Вещество, найденное в слоевищах водорослей из родов *Laminaria* и *Saccharina* и в меньших количествах в водорослях из родов *Ascophyllum* и *Fucus*, не образует геля и не становится вязким, оно находит применение главным образом в изготовлении лекарств как антикоагулянт и стабилизатор. Коммерческое использование ламинарина незначительно.

Маннит (маннитол)

Маннит (спирт) содержится в красных и бурых водорослях, особенно в видах родов *Laminaria*, *Saccharina* и *Ecklonia*. В ламинариевых водорослях содержание маннита колеблется от 15 до 20%, но иногда достигает 30–35% (Usov, Klochkova, 1992; Усов, Клочкова, 1994; Усов, 2001). Технология получения маннита основана на его растворимости в этиловом спирте. При предварительной об-

работке сухих водорослей водой или слабыми растворами минеральных кислот в раствор переходят маннит и другие органические и минеральные соединения, состав и соотношения которых во многом зависят от режима обработки водорослей. Для увеличения выхода маннита из сухих водорослей их обрабатывают слабой кислотой. Эффективность экстрагирования маннита сильно зависит от степени измельчения исходного сырья. Максимальный выход маннита (12–15%) получается в процессе его экстрагирования 0,5%-ным раствором соляной кислоты при 40°C в течение 3–5 ч. Для нейтрализации кислого экстракта маннита используют NaCO_3 , Ca_2CO_3 , NaOH , CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$. После нейтрализации экстракт упаривают. Для предупреждения карамелизации маннита упаривание экстракта проводят без доступа воздуха в вакуум-аппарате при температуре не более 60°C. Кристаллы солей отделяют фильтрованием под вакуумом (0,6 кг/см²), а фильтрат упаривают до плотности 1,30–1,34 г/см³ при температуре 5°C, при этом выпадают первые кристаллы маннита и продолжают кристаллизоваться соли. Полнота кристаллизации достигается после созревания кристаллов при указанной температуре в течение 12–14 ч. Далее проводят дробное экстрагирование маннита из маннитно-солевой смеси кипящим этиловым спиртом. После охлаждения экстрактов, кристаллизации и высушивания получают химически чистый препарат, выход которого из сухих слоевищ ламинарии составляет не более 9% на сух. м. (Суховеева, Подкорытова, 2006). Применение маннита чрезвычайно разнообразно, он используется в производстве красок и лаков, кожи, жевательной резинки, в бумажной промышленности и в производстве взрывчатых веществ. США, Великобритания, Франция и Япония являются основными производителями маннита.

Фикоэритрин

Фикоэритрин является фотосинтетическим пигментом красных водорослей и имеет красноватый цвет. Он используется в промышленности как биоокраситель при окрашивании мясных, рыбных, а также кондитерских изделий. Кроме того, он находит применение в производстве косметики и в изготовлении фармацевтических препаратов. Разработан способ водного экстрагирования красного красителя из *Ahnfeltia tobuchienis* (Суховеева, Подкорытова, 2006). В водорослях Дальнего Востока России содержание пигмента особенно велико (более 2000 мкг на 1 г сыр. м.) у таких водорослей, как *Grateloupia turuturu*, *Neosiphonia japonica* [= *Polysiphonia japonica*], *Ahnfeltia tobuchiensis*, *Pterothamnion yezoense* [= *Platythamnion yezoense*].

3.4. ЛЕЧЕБНЫЕ СВОЙСТВА МОРСКИХ РАСТЕНИЙ

3.4.1. МОРСКИЕ РАСТЕНИЯ В НАРОДНОЙ МЕДИЦИНЕ

Паразитические и инфекционные заболевания

Наиболее распространенным применением водорослей в народной медицине является борьба с паразитами. Так, в Японии в борьбе с аскаридами используют *Digenea simplex*, *Chondria armata* (Rhodophyta), *Sargassum confusum*, *S. thunbergii* (Heterokontophyta) и *Codium fragile* (Chlorophyta). Наиболее эффективной водорослью, обладающей антигельминтными свойствами, является *D. simplex*, ее используют в борьбе с трематодами, цестодами и нематодами.

Установлено, что токсичной для гельминтов является каиновая кислота, которая содержится в *D. simplex*. У *Ch. armata* антигельминтные свойства связывают с наличием домоиковой кислоты. *S. thunbergii* и *S. confusum* используются в Японии и Корее для борьбы с внутрикишечными паразитами. Действующим антигельминтным компонентом у саргассов является саргалин (Arasaki, Arasaki, 1983).

В Индонезии глистогонные препараты получают из *Caloglossa bengalensis* [= *Caloglossa adnata*], *Betaphycus gelatinum* [= *Eucheuma gelatinae*], *Grateloupia filicina* (Rhodophyta), *Codium tenue*, *C. tomentosum* (Chlorophyta), а на Филиппинах – из *Chondria*, *D. simplex*, *Hypnea musciformis* (Rhodophyta), *Sargassum vulgare* (Heterokontophyta) и *Ulva lactuca* (Chlorophyta) (Istini et al., 1998; Trono, 1998). В Европе против круглых червей используют красную водоросль *Alsidium helminthocorton*. В Бретани (Франция) используют красные кораллиновые водоросли: *Corallina officinalis*, *Jania squamata* [= *Corallina squamata*] и *J. rubens* [= *C. rubens*], обладающие антигельминтными свойствами (Balansard et al., 1983).

На Филиппинах, к водорослям, обладающим антибактериальными свойствами, относят *Amansia* spp., *Amphiroa zonata* [= *Amphiroa beauvoisii*], *Corallina* spp., *Gigartina gelatinosa*, *Hypnea valentiae*, *Ceramium* spp., *Polysiphonia* spp., *Wrangelia* spp. (Rhodophyta), *Cystoseira articulata*, *Dictyota* spp., *Sargassum* spp. (Heterokontophyta), *Monostroma nitidum*, *Ulva* spp., *Codium* spp., *Halimeda* spp. (Chlorophyta). К водорослям, обладающим противогрибковым действием, относятся *Caulerpa* spp., *Valonia aegagropila* (Chlorophyta), *Lyngbya* spp. (Cyanobacteria). В народной медицине используют *Asparagopsis taxiformis*, *Gelidium* spp., *Chondria armata*, *Laurencia* spp. (Rhodophyta), *Cladophora* spp., *Dictyosphaeria cavernosa* (Chlorophyta) как ранозаживляющие средства (Trono, 1998).

На Аляске и близлежащих островах используют красные водоросли *Dumontia* spp. и *Prionitis lyallii* для лечения герпеса гениталий, а три вида водорослей под общим названием «дульсия» (*dulse*) используют для подавления опоясывающего лишая и герпеса (Ryan Drum. Sea Vegetables for Food and Medicine, 2010, <http://www.ryandrum.com>).

Внутренние болезни

Водоросли используют для лечения большинства болезней ЖКТ, почек, печени, мочеполовой системы, легких и сердца. В Индонезии *Porphyra atropurpurea* и *Caloglossa leprieurii* (Rhodophyta) применяют для лечения водянки, мочевыводящих путей и мочевого пузыря. Отварами из красных водорослей *Gelidium amansii*, *G. latifolium*, *Gracilariopsis longissima* [= *Gracilaria verrucosa*], *Hydropuntia eucheumatoides* [= *Gracilaria eucheumatoides*] лечат желудочно-кишечные заболевания. С этими же целями используют ульвовые и саргассовые водоросли. Для лечения зоба применяют *Porphyra atropurpurea*, *Caloglossa leprieurii*, *Eucheuma denticulatum* [= *E. muricatum*], *Gracilariopsis longissima* [= *Gracilaria verrucosa*], *H. eucheumatoides* (Rhodophyta), *Ulva compressa* [= *Enteromorpha compressa*], *U. intestinalis* [= *E. intestinalis*] (Chlorophyta), *Sargassum aquifolium*, *S. polycystum*, *S. siliquosum* (Heterokontophyta) (Istini et al., 1998).

На Филиппинах при заболеваниях почек используют зеленую водоросль *Acetabularia major*. Отвары из *Digenea simplex* применяют как слабительное. Грацилярию используют при заболевании дизентерией, расстройстве мочеиспускания, болезни желчного пузыря.

При сердечно-сосудистых заболеваниях хорошо помогают зеленые водоросли *Caulerpa* (понижают кровяное давление), *Ulva pertusa*, *U. compressa* [= *Enteromorpha compressa*] и виды красной водоросли *Porphyra* (снижают количество холестерина в крови) (Trono, 1998).

Hydropuntia edulis [= *Gracilaria lichenoides*] используется при лечении женских болезней: нарушениях менструального цикла, при продолжительных и обильных кровотечениях, для снятия раздражения в мочеполовых путях (Trono, 1998).

Регулярное использование в пищу саргассовых водорослей жителями прибрежных районов Китая регулирует дыхание, улучшая обмен углекислоты на кислород в легочных альвеолах. Бурыми водорослями лечат зоб, а также их применяют как слабительное (Chengkui et al., 1984). Саргассовые водоросли используют в Таиланде при лечении лихорадки (Lewmanomont, 1998).

В Японии бурые водоросли *Eisenia bicyclis*, *Undaria pinnatifida*, *Nemacystis decipiens* эффективно применяют для очистки крови у рожениц. Кровяное давление снижают, используя в пищу ламинарию (Arasaki, Arasaki, 1983).

В России высушенные пластинки ламинарии (способные увеличиваться в объеме в 3–5 раз при увлажнении) используют для неинструментального механического расширения шейки матки при рождении ребенка или лечения гинекологических заболеваний (персональное сообщение доктора Е. Озимковской).

В Европе для лечения запоров, поносов, язвы желудка, мочеполовых путей применяют бурые водоросли *Fucus vesiculosus*, *Laminaria* spp., *Macrocystis* spp. (2009 Natural Standard, www.naturalstandard.com). Простудные заболевания лечат отваром *Chondrus crispus* и *Ascophyllum nodosum*. Последний обладает антибактериальными свойствами и поддерживает иммунную систему. *Laminaria* spp., *Macrocystis* spp., *Nereocystis* spp. используют в народной медицине в виде пудры или таблеток для лечения бронхитов, астмы, эмфиземы легких (Ryan Drum, 2010, <http://www.ryandrum.com>)

Применение водорослей при лечении злокачественных опухолей

На Филиппинах для лечения различного рода опухолей применяют зеленые водоросли из рода *Codium*, бурые – из рода *Dictyopteris* и красные – из родов *Gloiopeltis* и *Hypnea* (Trono, Ganzon-Fortes, 1988). В Японии для рассасывания опухолей и жировиков используют *Ulva* spp., *Porphyra* spp., *Nemacystus decipiens* (Arasaki, Arasaki, 1983).

Народный целитель Ryan Drum, проживающий на острове Валдрон в США, применяет морские водоросли при лечении рака. Он пишет: «Я использую суп из пудры *Sargassum muticum* и непастеризованную ячменную пасту мисо для лечения различных видов рака и рекомендую дважды в день утром и после полудня пить следующую смесь: 15 мл пасты мисо, 5 г пудры из *Sargassum* и 300 мл горячей нехлорированной воды». Ежедневное употребление саргассовых водорослей значительно уменьшает риск заболеть раком (особенно раком молочной железы) (<http://www.ryandrum.com>).

Другие заболевания

Водорослями лечат различные кожные заболевания. В Европе для этого используют отвары из *Laminaria* spp., *Macrocystis* spp. и *Nereocystis* spp. В Азии для лечения золотухи у детей применяют *Hydropuntia edulis* [= *Gracilaria lichenoides*]. В народной медицине Японии используют *Eisenia arborea* как антиаллергическое средство. Ванны с отваром ламинарии японской и макроцистиса помогают от неврозов. Чай, приготовленный из ирландского мха (*Chondrus crispus*), всегда использовался в народной медицине Ирландии как тонизирующее средство, он активен как транквилизатор при снятии стрессов. Слоевищами нереоцистиса (*Nereocystis*) лечат такие болезни нервной системы, как гиперактивность, депрессия, бессонница, агрессия, шизофрения. Коренные народы Шотландии издревле употребляют в пищу такие водоросли, как *Fucus vesiculosus*, *Laminaria digitata*, *Alaria esculenta*, *Chorda filum*, *Sargassum vulgare*, *Chondrus crispus*, *Rhodymenia* spp., *Porphyra laciniata* и *Ulva lactuca*, этими же водорослями лечат нервные заболевания, кипятя их с молоком или смешивая с медом (<http://www.ryandrum.com>).

Таким образом, странами, где морские водоросли широко используются в народной медицине можно считать Японию, Китай, Филиппины, Индонезию, Ирландию, Англию, Канаду и США. В то же время в Австралии, Латинской Америке, и особенно в Африке, использование водорослей в народной медицине незначительно.

Наиболее часто для лечения или профилактики различного рода заболеваний народы южных стран используют водоросли из следующих порядков: Ulvales, Siphonocladales и Caulerpaales (Chlorophyta); Dictyotales и Fucales (Heterokontophyta); Nemaliales, Gelidiales, Gigartinales и Ceramiales (Rhodophyta). Северные народы используют водоросли из порядков Ulvales (Chlorophyta), Fucales, Laminariales (Heterokontophyta) и Rhodymeniales (Rhodophyta).

3.4.2. ЛЕЧЕБНЫЕ СВОЙСТВА ПРЕПАРАТОВ ИЗ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Экстракты из водорослей проявляют следующие типы биологической активности: антивирусную, антимикробную и антигельминтную, а также антиоксидантные свойства, способствующие повышению иммунитета и снижению негативного воздействия стресса.

Антивирусная активность

Водные экстракты многих красных водорослей проявляют антивирусную активность против герпеса (*Herpes*) и возбудителя иммунодефицита. Антивирусная активность была исследована у экстрактов из 13 различных видов водорослей Кореи. Было показано, что экстракты из зеленых водорослей *Codium fragile*, *Ulva linza* [= *Enteromorpha linza*] и бурых *Colpomenia bullosa*, *Scytosiphon lomentaria* и *Undaria pinnatifida* активны против трех типов вируса герпеса. Механизмом действия экстрактов была прямая инактивация вирусов через ингибирование их репликации, а экстракты из *Sargassum sagamianum* защищали клетки от проникновения вирусов (Hudson et al., 1999).

Сульфатированные полисахариды (СПС) красных водорослей проявляют широкий спектр антивирусной активности, ингибируя проникновение вирусов внутрь клеток и их распространение. СПС из 9 видов зеленых водорослей Японии (*Monostroma nitidum*, *Caulerpa brachypus*, *C. okamurai*, *C. scalpelliformis*, *C. crassa*, *C. spiralis*, *Codium adhaerens*, *C. fragile*, *C. latum*) обладали антивирусной активностью (Lee et al., 2004a). Каррагинан локализует инфекцию вируса *Herpes simplex*, ингибируя его активность и препятствуя дальнейшему распространению, а также замедляет его репродукцию (Neushul, 1990). Фукоидан из спорофиллов *U. pinnatifida* также обладает антивирусной активностью против *Herpes simplex* (Lee et al., 2004b).

Лектин гриффитсин, выделенный из красной водоросли рода *Griffithsia*, проявляет антивирусную активность и может быть использован в предотвращении передачи вируса иммунодефицита половым путем. Белок циановирин-N, выделенный из синезеленой водоросли *Nostoc ellipsosporum*, активен против вируса иммунодефицита (Mori, 2007).

Антибактериальная и противогрибковая активность

Спиртовые экстракты из 56 южно-африканских морских водорослей из отделов Chlorophyta, Heterokontophyta и Rhodophyta были проверены на антибактериальную (12 видов бактерий) и противогрибковую (2 вида дрожжей и 2 вида плесени) активность. В целом антибактериальный эффект экстрактов был более сильным, чем противогрибковый. При этом ингибирующий эффект по отношению к грамположительным бактериям был сильнее, чем к грамотрицательным бактериям. Наивысшей антибактериальной активностью обладали экстракты из бурой водоросли *Zonaria subarticulata* (Vlachos et al., 1997). Метаноловые экстракты *Sargassum* spp. из Индии показали антибактериальную активность против грамположительных и грамотрицательных бактерий (Patra et al., 2008). Солевые и водные экстракты из красных водорослей были активны против *Vibrio pelagius* и *V. vulnificus*, но не активны против *V. neresis*. Экстракты из красных водорослей *Eucheuma serra* и *Pterocladia capillacea* [= *Pterocladia capillacea*] ингибировали рост *V. vulnificus* (Liao et al., 2003). Антибиотическая активность экстрактов из 80 видов морских водорослей Индии была испытана против 15 видов бактерий и 7 видов грибов. 55 видов водорослей проявили антибактериальную активность. Наибольшую активность имели экстракты из *Caulerpa cupressoides*, *C. racemosa*, *Ulva fasciata*, *U. lactuca* (Chlorophyta), *Dictyopteris delicatula*, *Padina gymnospora*, *Sargassum tenerimum*, *Turbinaria conoides*, *Zonaria crenata* (Heterokontophyta), *Centroceras clavulatum*, *Champia parvula*, *Gelidiella acerosa*, *Gracilaria corticata* (Rhodophyta). Красные водоросли *Hypnea musciformis*, *H. valentiae*, *Laurencia obtusa* и *Polysiphonia* sp. были наиболее активны против *Staphylococcus aureus*, *Vibrio cholerae* и *V. parahaemolyticus*. Из 22 видов водорослей наибольшую антигрибко-

вую активность показали такие виды, как *D. delicatula*, *Dictyota dichotoma*, *Spatoglossum asperum* (Heterokontophyta), *C. clavulatum*, *G. acerosa*, *G. corticata*, *Halymenia floresii*, *Sarconema furcellatum* (Rhodophyta). Экстракты из морских водорослей ингибировали также рост *Trichophyton mentagrophytes*, *Candida albicans*, *Helminthosporium oryzae* и *Trichoderma viridae* (Padmakumar, Аyyakkannu, 1997). Высокую антибактериальную активность против *S. aureus* показали этанольные экстракты красных водорослей из Японского моря *Neorhodomela larix*, *Chondrus armatus*, *Ahnfeltia tobuchiensis*. Экстракты из *N. larix* также ингибировали активность бактерии *Providencia stuartii*. Экстракты из бурых водорослей *Sargassum pallidum* и *Cystoseira crassipes* действовали на *P. stuartii*. Показана также антибактериальная активность (против *S. aureus*) фукоиданов, выделенных из этих водорослей. Экстракты из *Ch. armatus*, *A. tobuchiensis* ингибировали ангиотензин конвертирующий фермент (ACE) на 51 и 59% соответственно (Aminina et al., 2007).

Болезнь Чагаса, вызываемая протозойным паразитом *Trypanosoma cruzi*, является хроническим заболеванием, поразившим на сегодняшний день около 24 миллионов человек в странах Центральной и Южной Америки. Метаноловые экстракты из мексиканских морских водорослей *Laurencia microcladia*, *Dictyota caribaea*, *Lobophora variegata*, *Turbinaria turbinata* показали наивысшую активность против *T. cruzi*, достаточно высокую активность проявили также экстракты из красных водорослей *Champia salicornioides* и *Heterosiphonia gibbesii* (Leon-Deniz et al., 2007). Гексановые экстракты из красных водорослей Мексики *Bostrychia tenella*, *B. radicans* и *Centroceras clavulatum*, содержащие полифенольные соединения, также были испытаны на антитрипаносомную активность. Полная гибель трипаносом (*in vitro*) наступала при действии экстракта из *B. tenella* (Debonsi Navickiene et al., 2007).

Биоактивные компоненты водорослей, показывающие активность против патогенных организмов, были изучены в экстрактах двух морских водорослей: *Stocheospermum polypodioides* [= *S. marginatum*] (Heterokontophyta) и *Ulva fasciata* (Chlorophyta). Тестировались экстракты водных растворов хлороформа и метанола, а также 6 фракций этих экстрактов, полученных путем хроматографии. В качестве патогенных организмов использовали бактерии *Bacillus subtilis*, *S. aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium* и *Klebsiella pneumoniae*, а также грибковые организмы *C. albicans*, *T. mentagrophytes* и *Aspergillus niger*. Экстракты водорослей проявили антибактериальную активность для всех тестируемых бактерий. Анализ хроматографических фракций экстрактов показал, что действующим началом антибактериальной активности были бутановая и гептановая кислоты. Липидные фракции *U. fasciata* были наиболее активны против *C. albicans*, *T. mentagrophytes* и *A. niger*. Хлороформовые экстракты были наиболее активны против грибковых организмов. Спектральный анализ показал, что антигрибковым соединением мог быть 2,6,8,10-пентаметил ундекановой кислоты (Selvaraj et al., 2007). Была изучена антимикробная активность морской травы *Zostera marina* против *S. aureus*, *S. epidermidis* и *C. albicans*. Для экстракции использовали различные растворители: гексан, хлороформ, этилацетат, бутанол, вода. Все экстракты в большей или меньшей степени показали активность против этих трех патогенных организмов, препятствующих заживлению повреждений на коже человека (Lee et al., 2007).

Два галогенированных компонента – сесквитерпен-элатол и изо-обтузол – из малайзийской *Laurencia majuscula* были проверены на антибактериологическую активность. Элатол ингибировал рост колоний шести видов бактерий, особенно *S. epidermidis*, *K. pneumoniae* и *Salmonella* sp., в то время как изо-обтузол был эффективен только против четырех видов бактерий и особенно против *K. pneumoniae* и *Salmonella* sp. Их антибиотическое действие было эквивалентно коммерческим антибиотикам против *K. pneumoniae* и *Salmonella* sp. (Vairappan, 2003). C-15 галогенированный ацетогенин (Z-dihydroorhodophytin) был выделен из красной водоросли *Laurencia nangii*. Этот компонент показал 100%-ное ингибирование роста колоний *Salmonella enteritidis*, *S. typhii*, *S. aureus* и *E. coli*, относящихся к опасным пищевым патогенным организмам (Vairappan, Tan, 2009).

Летучие вещества (эфирные масла, альдегиды, кетоны, спирты) из *Saccharina japonica* [= *Laminaria japonica*], *S. sculpera* [= *Kjellmaniella crassifolia*], *Gracilaria vermiculophylla* [= *Gracilaria verrucosa*] и *Ulva pertusa* были испытаны на антимикробную активность. Такие вещества, как (3Z)-гексенал, (2E)-гексенал and (2E)-ноненал в летучих маслах показали сильную антимикробную активность против *E. coli* и *Erwimia carotovora* (Kajiwara et al., 2006).

Антиоксидантные свойства

Экстракты из 48 видов морских водорослей Мексики (17 – Chlorophyta, 8 – Heterokontophyta и 23 – Rhodophyta) были исследованы на антиоксидантную активность с DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил), а также через измерение содержания в них полифенольных компонентов. Все виды проявили антиоксидантную активность, у трех из них (*Chondria baileyana*, *Lobophora variegata* и *Avrainvillea longicaulis*) эта активность была наивысшей. В экстрактах было найдено высокое содержание полифенольных соединений (Zubia et al., 2008).

Метанол, этанол, дихлорметан, петролейный эфир применялись для получения экстрактов из четырех видов водорослей Таиланда (*Halimeda incrassata*, *Padina australis*, *Sargassum polycystum* и *Turbinaria conoides*). Все экстракты показали значительный нейтрализующий эффект на свободные радикалы. Антиоксидантная активность коррелировала с содержанием в растворах фенольных соединений (Kaewsritthong, Ohshima, 2007). Высокая антиоксидантная активность водных и этаноловых экстрактов была обнаружена у красных (*Neorhodomela larix*, *Polysiphonia morrowii*) и бурых водорослей (*Stephanocystis crassipes* [= *Cystoseira crassipes*] и *Fucus evanescens*) из Японского моря. Водные экстракты из *Saccharina cichorioides* [= *Laminaria cichorioides*], *S. japonica* [= *L. japonica*], *Sargassum miyabei*, *S. pallidum* и *C. crassipes* показали наибольшую активность по сравнению со всеми другими экстрактами. В то же время только этанольные экстракты показали антибактериальную активность (Aminina et al., 2007).

Свежие и высушенные образцы *Sargassum polycystum*, *Laurencia obtusa* из Индонезии и их метаноловые, этаноловые и гексановые экстракты были проверены на антиоксидантную активность. Экстракты, приготовленные из сухих водорослей, не показали антиоксидантной активности в противоположность таковым из свежего материала. Наиболее активны были гексановый экстракт из *Laurencia obtusa* и метаноловые экстракты из *S. polycystum* (Anggadiredja et al., 1997). Были изучены нейтрализация свободных радикалов (DPPH радикала и гидроксил радикала), а также ингибирование липид пероксидазы и глутатион-S-трансферазы экстрактами из *Sargassum* spp. Анализы показали антиоксидантные свойства препаратов (Patra et al., 2008). Антиоксидантной активностью обладали также метаноловые экстракты из бурой водоросли *Stocheospermum polypodioides* [= *S. marginatum*] (Rashmi, Chatterji, 2007). В экстрактах из бурых водорослей *Padina gymnospora*, *Dictyopteris delicatula* и *Sargassum stenophyllum* было определено содержание фенольных соединений. Метанольный экстракт из *Padina gymnospora* содержал наибольшее количество фенольных соединений. Все экстракты обладали антиоксидантной активностью (Raymundo et al., 2004). 25 видов морских водорослей из Японии были проанализированы на содержание флоротаннинов и антиоксидантную активность. Нейтрализующая активность экстрактов коррелировала с высоким содержанием фенольных компонентов. Экстракт из бурой водоросли *Sargassum ringgoldianum* показал наибольшую антиоксидантную активность (Nakai et al., 2006).

Экстракты (гексан, хлороформ, этил-ацетат, бутанол, вода) из морской травы *Zostera marina* были проверены на антиоксидантную активность. Все экстракты проявили антиоксидантную активность, однако общее содержание фенольных соединений в экстрактах и их DPPH нейтрализующая активность были наибольшими в этил-ацетатной фракции (Lee et al., 2007).

Была изучена антиоксидантная активность флоротаннинов, выделенных из бурых водорослей Японии в липосомной системе, а также в присутствии супероксида аниона и DPPH. Флоротаннины из бурых водорослей *Eisenia bicyclis*, *Ecklonia cava* и *E. kurome* имели наибольшую антиоксидантную активность (Shibata et al., 2007, 2008). Флоротаннины, выделенные из *Sargassum fusiforme* [= *Hizikia fusiformis*], также проявляли антиоксидантную активность (Siriwardhana et al., 2005). Флоротаннины, являющиеся олигомерными полифенолами флороглюцина, содержались в растворимой фракции метанолового экстракта эклонии. Экстракт из этой водоросли имел потенциальный терапевтический эффект в лечении таких болезней, как хронические воспаления, связанные с окислительным стрессом (Kong et al., 2009).

Сульфатированные полисахариды из *Sargassum polycystum* проявляли защитные свойства против парацетомолиндуцированных гепатитов у крыс, что связано с их радикалнейтрализующей активностью (Raghavendran et al., 2006). К-, κ-β- и λ-каррагинаны, выделенные из *Chondrus armatus* и *Tichocarpus crinitus* из Японского моря, обладали защитными свойствами против эндотоксинов грамотрицательных бактерий. Эти вещества увеличивали устойчивость подопытных животных к эндотоксинам, что, вероятно, связано с их иммуномодулирующим действием (Yermak et al., 2007). Сульфатированные полисахариды-антиоксиданты из *Codium fragile* предупреждают и лечат ревматизм и ревматоидные артриты (Nika et al., 2003; Kato et al., 2007). Пять фракций фукоидана из *Saccharina japonica* [= *Laminaria japonica*] с различным содержанием сульфатов и разным молекулярным весом показали антиоксидантную активность с 2',2'-азобис-(2-амидинопропан) дигидрохлоридом (АБАП), индуцирующим окисление низкоплотных липопротеинов человека (НПЛ). Фукоидан с низкой молекулярной массой от 2000 до 8000 Да и содержанием сульфата 24,3% имел наибольший антиоксидантный эффект. Высокосульфатированная фракция фукоидана с молекулярной массой 20000 Да была полностью неэффективна в защите НПЛ от АБАП индуцированного окисления (Li et al., 2006).

Была изучена антиоксидантная активность белков-ферментов, выделенных из бурых водорослей с использованием радикалнейтрализующих агентов, таких как ДФПГ (1,1-дифенилпикрил-гидразил) свободный радикал, супероксид анион-радикал, гидроксил радикал и перекись водорода. Экстракты ферментов водорослей проявляли наибольшую активность с перекисью водорода (примерно 90%), которая была выше, чем у коммерческих антиоксидантов (Heo et al., 2005). Экстракты ферментов из трех видов саргассов (*Sargassum denticulatum*, *S. latifolium*, *S. salicifolium*) были проверены на антиоксидантную активность. Все экстракты показали высокую активность, уровень которой зависел от концентрации белков-ферментов в экстрактах. Экстракты из *S. latifolium* были наиболее активны по сравнению с таковыми из двух других видов. Антиоксидантная активность экстрактов из саргассов была выше, чем у коммерческих антиоксидантов, таких как α-токоферол, гидрокситолуен, гидроксанизол (El-Shora, Youssef, 2007).

Противоопухолевая активность

Порошки из сухих талломов 46 видов морских водорослей Японии (4 – зеленых, 21 – бурых и 21 – красных) были проверены на антиопухолевую активность (карцинома Эрлиха) у мышей. Значительную активность проявили экстракты из *Scytosiphon lomentaria* (69,8%), *Lessonia nigrescens* (60,0%), *Saccharina japonica* (57,6%), *Sargassum ringgoldianum* (46,5%), *Porphyra yezoensis* (53,2%), *Betaphycus gelatinum* [= *Eucheuma gelatinae*] (52,1%) и *Ulva prolifera* [= *Enteromorpha prolifera*] (51,7%). Пять бурых и четыре красных водоросли показали антиопухолевую активность против фибросаркомы (Noda et al., 1990; Matsuda et al., 2005). Было обнаружено (Yamamoto et al. 1981), что экстракты из *Sargassum miyabei* [= *Sargassum kjellmanianum*] и *S. fulvellum* ингибируют рост (на 93,7 и 91,5% соответственно) раковой опухоли саркома-180 у подопытных мышей. Высокую антипролиферирующую и цитотоксическую активность против фибросаркомы L929 у крыс показали метаноловые экстракты из бурой водоросли *Stocheospermum polypodioides* [= *S. marginatum*] (Rashmi, Chatterji, 2007). Метаноловый экстракт из *Undaria pinnatifida* ингибировал развитие эритемы ушной раковины у мышей. Активность экстрактов, приготовленных из разных частей слоевища ундарии, была неодинаковой, кроме того, более активными были экстракты из северной экоформы водоросли, чем из южной (Khan et al., 2008). Экстракты из морских водорослей ингибировали пролиферацию человеческих лимфоцитов *in vitro*. Наибольшую активность показали экстракты из *Sargassum fusiforme* [= *Hizikia fusiformis*] и *Meristotheca papulosa*. Авторы предполагают, что экстракты из этих водорослей могут быть полезны в лечении опухолевых заболеваний (Shan et al., 1999). Экстракты красной водоросли *Palmaria palmata* и трех бурых водорослей *Laminaria setchellii*, *Macrocystis integrifolia* и *Nereocystis leutkeana* оказывали влияние на деление клеток цервикальной аденокарциномы и были различны по степени ингибирования деления раковых клеток. Степень ингиби-

рования убывала в ряду экстрактов из *P. palmata* > *M. integrifolia* > *L. setchellii* > *N. luetkeana*. Содержание фенольных компонентов было наибольшим также у *P. palmata* и наименьшим – у *L. setchellii* (Yuan, Walsh, 2006).

Препараты фукоиданов, выделенные из *U. pinnatifida* и *Sargassum ringgoldianum*, и соответственно каррагинана и порфирана из красных водорослей родов *Eucheuma* и *Porphyra*, ингибировали рост карциномы Эрлиха у мышей. Фукоиданы и каррагинаны имели более высокую антиопухолевую активность по сравнению с альгинатами (Noda et al., 1990). Ежедневные добавки к пище мышам с имплантированными лейкемией, фибросаркомой и меланомой частично очищенных полисахаридов из *Saccharina angustata* [= *Laminaria angustata*] тормозили развитие болезней на 49, 100 и 92% соответственно (Susuki et al., 1980). М. Такахаша (Takahashi, 1983) опубликовал результаты экспериментов (*in vitro*), показывающие, что неочищенный фукоидан из *Eisenia bicyclis* ингибирует скорость роста саркомы у мышей на 86,6%, что происходит благодаря увеличению фагоцитоза, т.е. повышению иммунологической активности. Фукоидан, содержащий примерно 30% сульфатов, выделенный из *Sargassum thunbergii*, показал антиопухолевую активность у мышей, зараженных саркомой Эрлиха (Zhuang et al., 1995). Фукоидан-галактозан-сульфат, изолированный и очищенный из *Saccharina japonica* [= *Laminaria japonica*], стимулировал дифференциацию и пролиферацию лимфоцитов крови человека (*in vitro*), что может способствовать лечению ран и опухолей (Zhang et al., 2002). Три структурно различающиеся формы фукоидана, впервые выделенные из *Saccharina sculpera* [= *Kjellmaniella crassifolia*], тормозили рост трансплантированных опухолей у мышей (Kato et al., 2007). Полисахариды красных водорослей могут быть использованы для профилактики распространения в организме метастаз раковых опухолей по крови и лимфе. Раковые клетки проходят определенные тканевые барьеры путем сцепления с молекулами «транспортных» веществ, таких как, например, ламинин, фибронектин и другие гликопротеины. Введение в кровь и лимфу йота-каррагинана или других богатых галактозой полисахаридов блокирует сцепление раковых клеток с молекулами-переносчиками и препятствует распространению метастаз (Liu et al., 2001).

Существует мнение, что олигосахариды каррагинана стимулируют заболевания раком кишечника и толстой кишки людей, которые постоянно употребляли каррагинан в пищу в виде добавок к кондитерским, молочным и другим продуктам. Вероятно, короткие цепи олигосахаридов каррагинана провоцируют эти заболевания (Tobacman et al., 2001).

Лектины, выделенные из японских видов красных водорослей родов *Solieria*, *Eucheuma* и *Gracilaria*, проявляли высокую антиопухолевую и противовирусную активность, особенно изолектин, выделенный из *Eucheuma serrata*, который ингибировал рост *in vitro* 35 клеточных линий рака человека (Hori, 2007).

Белковая фракция, полученная при обработке талломов *Porphyra yezoensis* ферментом пепсином, показала сильный ингибирующий эффект на ферменты, играющие роль в сосудодообразовании как здоровых, так и опухолевых тканей экспериментальных животных. Пептидные препараты из *P. yezoensis* являются перспективными в борьбе с опухолевыми заболеваниями (Tanaka et al., 2007).

Ненасыщенные жирные кислоты (ЖК) и их эфиры (Nishikawa et al., 1976), азотосодержащие соли ЖК (Tolnai, Morgan, 1966) и полиненасыщенные ЖК (Mertin, Hunt, 1976) морских растений активны против различного рода опухолей. Х. Ито с сотр. (Ito et al., 1982) предположили, что ЖК индуцируют изменения в строении жиров опухолевых клеток. Было показано, что некоторые липидные фракции из бурых водорослей, таких как *Sargassum ringgoldianum* и *Saccharina angustata* [= *Laminaria angustata*], а также из красной водоросли *P. yezoensis* высоко эффективны против фибросаркомы (Noda et al., 1989, 1990). Ненасыщенные карбонильные компоненты летучих соединений из водорослей ингибируют активность тирозиназы и других полифенольных оксидаз, что может быть использовано в предупреждении и лечении такой болезни, как меланома (Kajiwara et al., 2006). Бромфенольные соединения, выделенные из красных водорослей семейства Rhodomelaceae, также имели антиопухолевый эффект (Kurihara, 2007).

Противодиабетические свойства

Окислительный стресс играет главную роль в возникновении диабета первого и второго типов. Одним из источников свободных радикалов, вызывающих диабет, является ксантиноксидаза. Водные экстракты ламинарии японской оказывали профилактический эффект против возникновения окислительного стресса, ингибируя ксантиноксидазу и предупреждая возникновение гипергликемии (Nerio et al., 2007). Экстракты из морских бурых водорослей *Eisenia bicyclis*, *Sargassum fusiforme* [= *Hizikia fusiformis*] и *Undaria pinnatifida*, а также красной *P. yezoensis* снижали уровень глюкозы в крови крыс, больных диабетом второго типа (Ikoma et al., 2007). Неочищенные полисахариды, а также фукоидан-галактозан из ламинарии японской уменьшали содержание глюкозы в крови мышей с аллоксаниндуцированным диабетом на 82,3 и 76,2% соответственно (Li et al., 2006).

Бромфенольные соединения, выделенные из красных водорослей семейства Rhodomelaceae, ингибировали дрожжевую глюкозидазу и снижали уровень глюкозы в крови у сахарозанагруженных крыс *in vivo* (Kurihara, 2007).

Нейротрофический эффект

Экстракты из 300 видов морских водорослей, растущих вдоль побережья Японии, были исследованы на возможное проявление нейротрофического эффекта. Из всех проанализированных видов только экстракты из *Sargassum macrocarpum* и *Jania adhaerens* имели этот эффект, который, вероятно, вызывали липиды с молекулярной массой от 500 до 1000 Да (Kamei, Sagara, 2002). Позже было показано, что нейротрофический эффект вызывает полифенольное соединение (антиоксидант саргахроменол) (Tsang et al., 2005). Саргагуиновая кислота и саргахроменол, выделенные из *S. macrocarpum*, способствовали дифференциации нейронов и поддерживали их жизнеспособность, и, вероятно, могут быть использованы как протекторы нейронов при нейродегенеративных процессах (например, болезнь Альцгеймера) (Tsang et al., 2007).

Агглютинирующая активность

Были изучены экстракты 28 видов водорослей из зал. Петра Великого (Японское море). Только некоторые экстракты из бурых и красных водорослей вызывали агглютинацию человеческих эритроцитов. Гемагглютиционная активность экстрактов из трех видов бурых водорослей была вызвана лектинами, для большинства же экстрактов – веществами нелектиновой природы (Chernikov et al., 2007). Белковые экстракты из 22 видов морских макроводорослей Флориды и Северной Каролины сравнили по их способности к агглютинации эритроцитов овцы и кролика. Протеиновый экстракт из 21 вида водорослей агглютинировал эритроциты кролика, а из 19 видов – эритроциты овцы. Агглютиционная активность экстрактов из бурых водорослей была видоспецифичной (Bird et al., 2005).

Агглютинин из экстрактов *Fucus vesiculosus* был очищен и охарактеризован как мукополисахарид. Молекулярный вес этого соединения составлял около 2×10^6 Да, а содержание серы в веществе относительно других элементов составляло 1,2%, кальция – 0,2% и фосфора – 0,1% (Wagner, Wagner, 1978).

Антикоагулянтная активность

Полисахариды-антикоагулянты из водорослей способны ингибировать образование тромбов в кровеносных сосудах. Фукоиданы бурых водорослей и галактаны из морской зеленой водоросли *Codium cylindricum* имели наиболее сильный антикоагулянтный эффект (Matsubara, 2007). Одна

из фракций экстракта из синезеленой водоросли *Scytonema julianum* ингибировала тромбоцитарно-агрегационный фактор, индуцирующий тромбоцитную агрегацию. Изучение этой фракции показало наличие глико-, фосфоаналогов многоатомного спирта N-ацилсфингозина (Antonopoulou et al., 2005). Антикоагулянтным действием обладают также каррагинаны (Yermak, Khotimchenko, 2003).

Антиаллергическое действие

Eisenia arborea – съедобная бурая водоросль, иногда используется в народной медицине восточных стран как антиаллергическое средство. Из этой водоросли были выделены флоротаннины, имеющие высокую антиоксидантную активность (Sugiura et al., 2007). Фукоидан, выделенный из спорофиллов *Undaria pinnatifida*, предупреждает и способствует лечению многих аллергических заболеваний (Maruyama et al., 2007).

Таким образом, к настоящему времени накопилось достаточное количество данных о лекарственных свойствах морских растений, экстрактов и препаратов из них. Показано, что химические компоненты водорослей и морских трав предупреждают и лечат такие серьезные заболевания, как раковые опухоли, болезни крови, сердечно-сосудистой системы, ЖКТ, мозга, кожи, а также ревматизм, диабет и др. В мировой практике в медицинских целях используют главным образом массовые, широко распространенные виды морских растений, собираемых из естественных зарослей, реже используются водоросли, выращенные в экстенсивной или интенсивной культуре (Титлянов, Титлянова, 2010). В народной и современной официальной медицине используют морские растения одних и тех же родов: *Acetabularia*, *Avrainvillea*, *Caulerpa*, *Cladophora*, *Codium*, *Dictyosphaeria*, *Halimeda*, *Monostroma*, *Ulva*, *Valonia* (Chlorophyta); *Alaria*, *Ascophyllum*, *Chorda*, *Colpomenia*, *Cystoseira*, *Dictyota*, *Dictyopteris*, *Ecklonia*, *Eisenia*, *Fucus*, *Hydroclathrus*, *Kjellmaniella*, *Laminaria*, *Lessonia*, *Lobophora*, *Macrocystis*, *Nemacystis*, *Nereocystis*, *Padina*, *Saccharina*, *Sargassum*, *Scytosiphon*, *Spathoglossum*, *Stocheospermum*, *Turbinaria*, *Undaria*, *Zonaria* (Heterokontophyta); *Ahnfeltia*, *Alsidium*, *Amansia*, *Amphiroa*, *Asparagopsis*, *Bostrychia*, *Caloglossa*, *Centroceras*, *Ceramium*, *Champia*, *Chondria*, *Chondrophycus*, *Chondrus*, *Corallina*, *Dermonema*, *Digenea*, *Dumontia*, *Euclima*, *Galaxaura*, *Gelidiella*, *Gelidium*, *Gigartina*, *Gloiopeltis*, *Gracilaria*, *Grateloupia*, *Griffithsia*, *Halymenia*, *Heterosiphonia*, *Hydropuntia*, *Hypnea*, *Jania*, *Laurencia*, *Meristotheca*, *Neorhodomela*, *Palmaria*, *Polysiphonia*, *Porphyra*, *Prionitis*, *Pterocladia*, *Pterocladia*, *Rhodymenia*, *Sarconema*, *Solieria*, *Tichocarpus*, *Tricleocarpa*, *Wrangelia* (Rhodophyta).

Как следует из обзора последних публикаций, разработка лекарственных препаратов из морских растений находится на начальном этапе, и требуется время, чтобы морские растения, экстракты из них, а также выделенные вещества, такие как сульфатированные полисахариды, белки-ферменты, лектины, фенольные и полифенольные соединения, полиненасыщенные ЖК, стерины, летучие соединения и др., вошли в официальную медицинскую практику. В настоящее время все еще остается перспективным скрининг морских растений для выявления содержания в них полезных веществ, а также поиск в них новых ценных лекарственных веществ. Особенно ценным является изучение морских лекарственных растений в субтропической и тропической зонах Мирового океана, так как именно там сосредоточено основное видовое разнообразие водорослей, представители которых успешно применяются в медицине.

3.5. МОРСКИЕ РАСТЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Народы, живущие у моря, всегда использовали и используют водоросли и морские травы в сельском хозяйстве (с/х) главным образом в двух направлениях: на корм животным и как удобрения при выращивании садово-огородных культур. В последнее время использование водорослей в сельском хозяйстве значительно возросло по сравнению с серединой прошлого века, и сейчас во-

доросли и продукты из них используют не только страны, имеющие выход к морю. Широкое применение водорослей в сельском хозяйстве в последние два десятилетия стало возможным по следующим причинам: 1) расширяется производство экологически чистой с/х продукции без применения минеральных удобрений; 2) используются новые технологии переработки водорослей в пищевые добавки для животных и в различного рода подкормки для растений. Европейские страны, такие как Англия, Шотландия, Ирландия, Исландия, а также Австралия, Новая Зеландия, США и Китай, занимают ведущее положение по переработке водорослей на пищевые добавки и удобрения.

3.5.1. ПРОИЗВОДСТВО УДОБРЕНИЙ И ЖИДКИХ ПОДКОРМОК

Морские водоросли являются очень ценным органическим удобрением при выращивании овощей, фруктов, цветов и других культур. Водоросли, собранные из береговых выбросов, могут быть прямо внесены в почву и перемешаны с землей (мульчирование) или предварительно добавлены в компост, где они активируют процессы «созревания» компоста. Водоросли, внесенные в почву в свежем виде или в виде компоста, не увеличивают количества почвы, но благодаря гелеобразной и клейкой альгиновой кислоте связывают мелкие кусочки почвы в более крупные и тем самым улучшают ее структуру. Комочки, связанные альгиновой кислотой, не рассыпаются при увлажнении и сохраняют влагу в сухой период. Вместе с водорослями в почву вносятся органические соединения азота, фосфора и калия, так как водоросли содержат в среднем 0,3% азота, 0,1% фосфора и 1,0% калия на сух. м., а также весь набор макро- и микроэлементов. Высокое содержание калия в водорослях и низкое – фосфора делают эти удобрения в большей степени калийными, повышающими плодородие почв, бедных этим макроэлементом. Внесение в почву микроэлементов в виде органических соединений водорослей обогащает ее доступными для растений формами этих элементов: Fe, Mg, Mn, Zn, Cu, Se и др.

Другими главными компонентами удобрений из водорослей являются гормоны, такие как ауксины, гиббереллины, цитокинины, бетаины. В водорослях гормоны являются регуляторами роста и развития, они могут стимулировать или задерживать рост талломов, регулировать частоту, продолжительность и уровень спороношения. В высших наземных растениях эти гормоны также регулируют ростовые и репродуктивные процессы, способствуют или задерживают раскрытие почек, рост листьев, цветение, созревание плодов и т.д.

В качестве удобрения можно использовать водоросли в виде муки. Этот продукт выпускают и экспортируют многие страны. Водорослевая мука вносится прямо в почву в количестве 60–100 г на 1 м². Для ускорения роста и увеличения урожая используют также концентрированные жидкие подкормки из водорослей (как листовые, так и корневые). Жидкие водорослевые подкормки также производят и экспортируют многие страны. Коммерческие жидкие подкормки легко смешиваются между собой, а также с минеральными подкормками и подкормками, сделанными из животного материала. Жидкие подкормки – препараты быстрого действия, эффект может быть достигнут уже на следующий день. При листовых подкормках питательные вещества из водорослей поступают непосредственно в листья и там используются. Кроме того, листовые подкормки стимулируют поглощение питательных веществ корнями. Жидкие подкормки из водорослей обычно обогащены гормонами. Попав в клетки листьев с/х растений, цитокинины усиливают рост не только листьев, но и всего растения, мобилизуя питательные вещества в листьях, они усиливают морозоустойчивость листьев (примерно до –3°C). Бетаины регулируют водообмен листьев, увеличивая поглощение и удерживание воды растением, особенно в экстремальных условиях во время засухи. Показано также, что водорослевые удобрения и подкормки снижают риск заболевания растений бактериальными и грибковыми болезнями, а также гельминтозом. Удобрения и подкормки из водорослей ускоряют прорастание семян, стимулируя их дыхание, активизируют использование растением органических и неорганических удобрений, защищают корневые волоски (действие альгинатов) от повреждения при пересаживании рассады, улучшают качество урожая (Crouch, Van Staden, 1999).

При удобрении почвы свежими водорослями существуют две опасности: 1) внесение в почву вредных для человека тяжелых металлов и радиоактивных элементов, которые водоросли накапливают в своих тканях из загрязненной промышленными отходами воды и 2) засоление почвы морскими солями, находящимися на поверхности водорослей. Засоление почвы отрицательно сказывается на жизнедеятельности дождевых червей, являющихся гарантами плодородия почвы. Первую опасность можно устранить, собирая водоросли в гарантированно чистых районах, вдали от крупных городов и эстуариев рек. Вторая опасность также преодолима: береговые выбросы водорослей надо собирать сразу после сильных дождей или промывать их пресной водой перед внесением в почву.

3.5.2. ДОБАВКИ К КОРМУ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ

Дикие и домашние животные, живущие вблизи побережья с доступом к береговой полосе, всегда (или время от времени) питаются морскими растениями из береговых выбросов. Недавно путем анализа стабильных изотопов углерода и кислорода органического вещества зубов первобытной овцы из северного острова Рональдсей (Оркнейские острова, Шотландия) было показано, что эти, уже домашние животные пятого и четвертого тысячелетий до Новой эры, питались или только морскими растениями, или частично морскими и частично наземными (Balasse et al., 2005). В странах Европы, имеющих значительную протяженность побережий, морские растения всегда использовали как добавку к корму домашним животным. Эта традиция сохранилась и до настоящего времени в таких странах, как Англия, Ирландия, Исландия и Франция. В четвертом тысячелетии до Новой эры и до настоящего времени, народы, живущие в Шотландии, употребляют водоросли в пищу и кормят ими скот в зимнее время. Используются не только свежие водоросли, но также приготовленные впрок в виде сена или запаренные с овсяной мукой. Традиционно водоросли скармливают свиньям в последние дни их откормливания (перед забоем) для получения высококачественного сала. Фермеры многих стран глубоко убеждены, что поедание водорослей животными улучшает их здоровье, хотя исследования, проведенные в Исландии, показали, что поедание водорослей овцами (1% от всей пищи) не влияет на качество мяса и шерсти или на количество жира. В то же время если корм самок овец во второй половине беременности состоит главным образом из водорослей (10 кг в день на одно животное в течение нескольких недель), то родившиеся ягнята страдают нервным расстройством и впоследствии гибнут. Предупредить эти расстройства помогают добавки в пищу соединений меди или водорослей, богатых медью. С другой стороны, добавки в корм крупному рогатому скоту, овцам и лошадям сухих или вареных водорослей, таких как *Rhodomenia palmata*, *Alaria* spp., *Laminaria* spp., *Ascophyllum nodosum*, не вызывают каких-либо расстройств, а, наоборот, способствуют получению высококачественного молока и жирного мяса (Orpin et al., 2008).

В настоящее время интенсивное сельское хозяйство (включая животноводство) придерживается трех основных принципов: «high input» (большой вклад), «high yield» (большой выход), «high profit» (большая выгода). Однако эти три принципа имеют явно негативный эффект для человека. Так, в современном животноводстве тысячи животных обречены на существование в очень ограниченном пространстве животноводческих фабрик и полностью лишены природных условий. Это вызывает у животных заболевания, часто эпидемии, вызванные скуденностью или отсутствием натуральной пищи. Болезни животных лечат антибиотиками и другими вредными веществами. Эти вещества, попадая в молоко, мясо, яйца делают их малопригодными для употребления человеком. Фирмы-покупатели и государства устанавливают жесткий контроль над качеством животноводческой продукции. Отсутствие возможности сбыть продукты по высоким ценам разоряет производителя. Выход из этой тяжелой ситуации для большинства развитых стран фермеры видят в использовании в пищу животным природных биологически активных добавок, повышающих иммунитет и улучшающих здоровье животных. Вот почему, начиная с 50-х гг. прошлого столетия, европейские страны, США, Австралия и Новая Зеландия начали разработку методов получе-

ния биологически активных добавок в корм животным из морских растений, и особенно из бурых водорослей, богатых микроэлементами, витаминами, антиоксидантами, антибактериальными и противовирусными компонентами, содержащими практически полный набор незаменимых аминокислот, а также растительные волокна и др.

В азиатских странах, таких как Китай, Индия, Вьетнам (в поселениях, расположенных на побережье), крупный и мелкий рогатый скот, а также птица издревле кормились растительными выбросами из моря. С 1980 г. в Китае разрабатываются методы приготовления корма из морепродуктов, в том числе и из водорослей (<http://www.leilnature.com>).

Каковы же достоинства кормовых добавок из водорослей? Кормовая ценность добавок состоит прежде всего в увеличении в рационе животных растительного белка, богатого незаменимыми аминокислотами, что способствует быстрому росту молодняка, накоплению мяса (мышц), построению прочного скелета, увеличению надоев молока и яйценоскости птицы.

Сульфатсодержащие полисахариды водорослей, представляющие собой пищевые волокна, не перевариваются полностью в ЖКТ млекопитающих, однако способствуют пищеварению и очистке ЖКТ от вредных радикалов и очистке крови от тяжелых металлов и радиоактивных элементов. Полный набор микроэлементов (высокое содержание таких микроэлементов, как селен и йод), способствует работе ферментных систем организма, тем самым обеспечивая нормальный обмен веществ, высокий иммунитет и способность к размножению.

Антибактериальные и противовирусные свойства добавок из водорослей уменьшают риск инфекционных эпидемий, а в некоторых случаях БАДы могут заменить антибиотики.

Антиоксиданты, содержащиеся в водорослях, нейтрализуют токсины и свободные радикалы, накапливающиеся в организме животных при болезнях, при употреблении недоброкачественного корма, при беременности и родах.

Йод из водорослей легко переходит к животному, накапливаясь в мясе, молоке, яйцах, давая возможность человеку восполнить его дефицит из этих животных продуктов. Недавно немецкие ученые показали, что введение в рацион курочек-несушек добавок из морских водорослей уже через две недели значительно увеличивает содержание йода в яйцах. Поедание людьми таких яиц уменьшает у них йодный дефицит (Kaufmann et al., 1998).

В последнее время добавки из морских водорослей находят широкое применение в птицеводстве. Так, добавка к пище птиц «муки», сделанной из *Ascophyllum nodosum* норвежской фирмы «Trøytang», показала очень высокий эффект на качество яиц на птицеводческих фермах США. Только 1,25% пищевых добавок из водорослей к общему весу пищи значительно уменьшали тонкостенность скорлупы, полностью восстанавливали яйценоскость кур, улучшали здоровье цыплят, ускоряли их рост, увеличивали содержание жира в мясе (Høie, Sandvik, 1955).

3.6. ВОДОРΟΣЛИ В ПИТАНИИ КУЛЬТИВИРУЕМОГО МОЛЛЮСКА МОРСКОЕ УШКО

В последние три десятилетия прошлого века интенсивно развивалась мариккультура моллюска морское ушко (абалоне), креветок, омаров, и ценных пород рыб. При производстве абалоне макроводоросли являются основной пищей моллюска, при выращивании ракообразных и рыб водоросли и продукты из них добавляются в корм (Francis, 2007).

Морское ушко выращивают во многих странах. По данным на 2007 г. основными производителями этого моллюска были Китай (30000 т), Корея (4000 т), южная Африка (1000 т), Чили (1000 т), Австралия (600 т), Новая Зеландия (600 т). Ежегодно Япония выращивает 40 млн экземпляров, США 110 т (<http://www.fishtech.com/farming.html>, 2008). А также морское ушко выращивают в Ирландии, Ирландии, Испании, Канаде, Мексике, на Филиппинах, в Таиланде и Намибии.

Моллюски используют в пищу целиком в свежем виде или замораживают для длительного хранения. Основным производителем, как и потребителем абалоне, является Китай.

Выращивают моллюсков на фермах, чаще расположенных на побережье. Личинки и молодь (до длины раковины 10–15 мм) выращиваются в аквариумах на суше. Выращивание моллюска до товарного размера проводят в море (главным образом в садках) или на суше в бассейнах.

В природе морское ушко растет значительно медленнее, чем на фермах, питается исключительно водорослями, причем его меню очень разнообразно и зависит от состава водорослей в месте обитания животного, его вида и возраста (Mercer et al., 1993; Stuart, Brown, 1994; Fleming, 1995; Naidoo et al., 2006). Личинки абалоне оседают в основном на кораллиновые водоросли, молодые моллюски питаются диатомовыми водорослями, а также бактериальной пленкой, покрывающей твердый субстрат дна. Взрослые моллюски питаются красными, бурыми и зелеными макроводорослями, предпочитая некоторые из них. Процесс поедания и усвоения пищи моллюсками длительный, они питаются практически круглосуточно в течение всей жизни. Скорость роста абалоне в большей степени зависит от содержания в пище белка и азотистых соединений и в меньшей степени – от углеводов. Предпочтение той или другой водоросли зависит от ее химического состава. Показано, что абалоне обычно предпочитают водоросли, богатые белками и жирами, и не едят или едят плохо водоросли, содержащие слишком большое количество фенольных соединений (Fleming, 1995).

При культивировании моллюсков их кормят или водорослями, или искусственным кормом, приготовленным на фабриках. Выбор корма для моллюска прежде всего зависит от его свойств. Корм должен обеспечивать высокую скорость роста моллюска и как следствие сокращение времени роста его до товарного размера. Вторым важным условием выбора корма является его цена. Многочисленными исследованиями и опытом фермеров показано, что быстрый рост моллюска обеспечивает пища, богатая белками, жирами и витаминами, которая должна иметь высокий уровень потребления и высокую эффективность усвоения (Fleming, 1995). Недостаток естественного корма в местах расположения ферм стимулирует культивирование морских водорослей специально для корма абалоне, увеличивает рыночную конкуренцию и стоимость водорослей и принуждает фермеров покупать дорогие искусственные корма. Какие водоросли используют для кормления абалоне? Это прежде всего зависит от возраста моллюсков.

3.6.1. КОРМЛЕНИЕ МОЛОДЫХ АБАЛОНЕ

Если в природе личинки абалоне хорошо осаждаются на кораллиновые водоросли, то для осадения личинок на фермах с успехом используют выращенную здесь же зеленую водоросль *Ulva lens* (Daume, 2006).

Развившиеся из личинок молодые моллюски (с длиной раковины менее 3 мм) хорошо поедают эту водоросль. Культура диатомовых водорослей и биопленки, образующиеся на посадочных (для личинок) пластинах, также являются пищей для молодых абалоне. Однако этой пищи обычно недостаточно для обеспечения быстрого роста молодых моллюсков (Daume, 2006).

Дополнительным кормом для молодежи могут быть, например, проростки зеленой водоросли *Ulva* spp., которые хорошо себя зарекомендовали при выращивании молодых (с длиной раковины 5–10 мм) зеленогубых абалоне *Haliotis laevigata*, скорость роста раковины которых при кормлении проростками ульвы достигала 100 мкм в день. При сравнении скорости роста молодых зеленогубых абалоне (с длиной раковины 6–7 мм), питающихся зеленой водорослью *Ulva lens* и проростками *Ulva* spp., было показано, что кормление проростками ульвы обеспечивало наибольшую скорость роста раковин моллюска – 105 мкм в день (Daume et al, 2007).

Три вида красных водорослей – *Hypnea spinella*, *H. musciformis* и *Hydropuntia cornea* [= *Gracilaria cornea*], выращенных в прудах (загрязненных отходами при культивировании рыб на Канарских островах) для очистки воды и содержащих большое количество белка, были использованы для

кормления молодых абалоне (*Haliotis tuberculata*). Наибольшее содержание белка и углеводов было в *H. musciformis* и наименьшее – в *H. cornea*. Наибольшую скорость роста наблюдали у моллюсков, питающихся *H. spinella*, а наименьшую – у питающихся *H. cornea*. Скорости роста молодых моллюсков, питающихся красными водорослями и стандартными кормами (диатомеи), мало различались.

Как было показано выше, хорошим кормом для молодых абалоне являются диатомовые водоросли. Однако при кормлении диатомеями не найдено корреляции между содержанием белка в водорослях и скоростью роста моллюсков, но в тоже время найдена положительная корреляция ($r=0,95$) между жизнеспособностью моллюсков и содержанием жиров в водорослях (Uriarte et al., 2006).

Исходя из последних публикаций можно утверждать, что наилучшим кормом для молодых абалоне являются все же проростки зеленых и красных водорослей, таких как *Ulvela*, *Ulva*, *Laurencia*, *Gracilaria* (Strain et al., 2006). Однако чтобы получать такой корм в необходимых количествах, требуется внедрить в практику методы быстрого, всесезонного и дешевого массового производства проростков. Такие методы были разработаны в последнее время (Titlyanov et al., 2006a, b; Strain et al., 2006). Они основаны на выращивании проростков красных водорослей из краевой и апикальной меристем.

3.6.2. КОРМЛЕНИЕ ВЗРОСЛЫХ АБАЛОНЕ

В настоящее время на большинстве ферм морское ушко кормят макроводорослями, которые собирают или выращивают недалеко от фермерских хозяйств.

В Австралии для кормления *Haliotis rubra* используют такие виды водорослей, как *Pollexfenia lobata* [= *Jeannerettia lobata*], *Ulva rigida* [= *Ulva australis*], *Macrocystis pyrifera* [= *M. angustifolia*], *Phyllospora comosa*, *Ecklonia radiata*. Взрослые особи абалоне предпочитают красную водоросль *P. lobata* и менее всего поедают *E. radiata*, богатую фенольными соединениями. Наилучший рост абалоне также отмечен при питании *P. lobata* [= *J. lobata*] (Fleming 1995).

В Южной Африке моллюска *Haliotis midae* кормят такими водорослями, как *Plocamium corallorhiza*, *Ecklonia maxima* часто с эпифитом *Carpoblepharis flaccida* (Naidoo et al., 2006). С 1990 г. началось выращивание *Ulva lactuca* и *Gracilaria* spp. специально на корм абалоне (Britz, 1966; Bolton et al., 2008).

Моллюски, поедающие *E. maxima*, растут медленно и достигают товарного размера только через 4–5 лет. Было предложено включить в меню взрослых абалоне бактерии группы кишечных палочек, которые увеличивают перевариваемость *E. maxima* и повышают скорость роста моллюска.

Так, в рацион морскому ушку *H. midae* дополнительно к основному корму (бурой водоросли *E. maxima*) были добавлены бактерии *Pseudoalteromonas* sp., перерабатывающие альгинаты. В результате была получена значительная прибавка в скорости роста абалоне по сравнению с ростом при кормлении только *E. maxima* (Doeschate, Coyne, 2008).

На Филиппинах морское ушко *Haliotis asinina* кормят красными водорослями *Gracilariopsis heteroclada* и *Carraphycus alvarezii*, а также другими видами, взятыми как из природных зарослей, так и из культуры (Nash, 1992; Mercer et al., 1993; Capinpin, Corre, 1996). При сравнении скорости роста моллюсков, питающихся *G. heteroclada* и *K. alvarezii*, было показано, что животные росли быстрее при кормлении *G. heteroclada*, содержащей белков больше, чем *K. alvarezii* (Capinpin, Corre, 1996; Capinpin et al., 1999).

В Чили культура абалоне основана на использовании в пищу в летнее время бурых водорослей, таких как *Macrocystis pyrifera*, *Lessonia trabeculata* и *L. nigrescens*. В зимнее время абалоне кормят культивируемыми водорослями, главным образом *Gracilaria chilensis*, при кормлении которой абалоне растут хуже, чем при кормлении бурыми водорослями. Естественные заросли водорослей в Чили в последнее время значительно сократились в связи с быстрым развитием культивирования таких видов абалоне, как *Haliotis discus hanna* и *H. rufescens*. Это подталкивает чилийских фермеров применять искусственные промышленные смеси в кормлении моллюсков, а также стимулирует

культивирование водорослей для использования на корм моллюску, в частности, таких видов, как *M. pyrifera* и *L. trabeculata* (Gutierrez et al., 2006; Westermeier et al., 2006; Flores-Agular et al., 2007).

На Канарских островах при культивировании моллюска *Haliotis tuberculata coccinea* используют в качестве корма такие красные водоросли, как *Hypnea spinella*, *H. musciformis*, *Hydropuntia cornea* [= *Gracilaria cornea*], и другие виды (Viera et al., 2005).

В Китае и Корее абалоне кормят в основном культивируемой на плантациях *Saccharina japonica*. Здесь лучше, чем в других странах, развита поликультура этой водоросли и морского ушка.

Большое значение в кормлении абалоне имеет искусственная пища, состоящая из смеси рыбной муки и различного рода травяной муки, часто с добавкой водорослевой муки, агара или альгината. Последние не столько увеличивают питательную ценность искусственного корма, сколько придают ему определенную структуру и защищают от размывания водой. Наиболее успешными производителями искусственного корма для абалоне являются фирмы Японии и Китая (Fleming et al., 1995).

3.7. ВОДОРОСЛИ В КОРМЕ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ РЫБ И РАКООБРАЗНЫХ

Водорослевая мука и продукты из водорослей входят в состав пищи практически всех животных, культивируемых в море. Основным компонентом этой искусственной пищи является рыбная мука с различного рода добавками. Водорослевая мука, агар и альгинат добавляются в пищу наравне с казеином, желатином, коллагеном, пшеничной мукой и другими составляющими, которые склеивают корм в кусочки, придавая ему форму, и препятствуют быстрому размыванию кусочков в воде, что, с одной стороны, экономит корм и, с другой – уменьшает загрязнение среды органическими и минеральными компонентами пищи (Cuzon et al., 1994; Tormena, 2007).

Мука из водорослей, добавляемая в корм рыбам и ракообразным, является также ценной пищевой добавкой, так как содержит от 10 до 30% легкоусвояемого белка и необходимый набор незаменимых аминокислот, которых недостаточно содержится в рыбной муке.

Мука из таких водорослей, как *Carparhycus alvarezii*, *Gracilaria heteroclada*, в количестве от 5 до 10% добавляется в корм молоди креветки *Penaeus monodon*, выращиваемой в прудах на Филиппинах. Такая водорослевая добавка не влияет на выживаемость и рост молоди, но значительно снижает расход корма и загрязнение воды (Penaflorida, Nelson, 1996).

Gracilaria cervicornis используются в виде порошка, смешанного с искусственной пищей (1: 1) для кормления креветок *Litopenaeus vannamei* в культивационных прудах в Бразилии. Скорость роста креветок при кормлении смесью была такой же, как и при кормлении только искусственным кормом, однако при кормлении смесью снижался расход пищи и резко уменьшалось загрязнение среды (Marinho-Soriano et al., 2007).

Порошки из водорослей *Ulva lactuca*, *U. compressa* [= *Enteromorpha compressa*] (Chlorophyta), *Padina pavonica* (Heterokontophyta), *Laurencia obtusa* (Rhodophyta) из залива Акаба (Красное море), добавляемые в корм рыбам (tilapia), содержат белка от 13,6% (*U. compressa*) до 24,5% (*L. obtusa*) и жира от 4,6% (*U. compressa*) до 6,2% (*L. obtusa*). Содержание белка и жира в водорослях является одним из критериев в использовании их для корма морским беспозвоночным и рыбам.

3.8. ПРИМЕНЕНИЕ В ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ ПРОИЗВОДСТВА

3.8.1. ВОДОРОСЛИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Сегодня практически все развитые страны используют морские растения и экстракты из них в производстве косметических средств. Водоросли широко используются для получения кремов, масок по уходу за кожей лица, шампуней, гелей для тела, натуральных добавок для ванн и других средств, используемых для оздоровления и поддержания эластичности кожи. Пудру из морских

водорослей добавляют в воду при приеме ванн, иногда с добавлением растительных масел и минеральных веществ. Ее добавляют также в лечебные грязи. Из водорослевой пудры готовится паста для очистки кожи, ею лечат ревматизм и целлюлит. Водорослевые смеси используют в виде массажного крема, для восстановления эластичности кожи. При приготовлении водорослевых паст слоевища водорослей промывают и замораживают в виде пластинок. Перед употреблением пластинки измельчают, иногда с добавлением жидкого азота, что делает слоевища более хрупкими и легко поддающимися измельчению.

Компании, выпускающие косметические средства с добавлением водорослей, чаще всего используют или водорослевые экстракты, или такие продукты из водорослей, как альгинаты, каррагинаны или фукоиданы. Эти вещества уменьшают ломкость волос и увеличивают мягкость и влажность кожи.

Японские компании производят косметические средства из таких водорослей, как *Cladosiphon okamuranus* и *Saccharina japonica*. Южно-африканские компании используют *Fucus vesiculosus*, *Chondrus crispus*, *Laminaria digitata* для создания антицеллюлитового препарата, который в больших количествах экспортируется в другие страны. Большим спросом в мире пользуется косметика из Чили, где выпускаются кремы и шампуни, содержащие водоросли или их продукты, которые останавливают выпадение волос и препятствуют образованию целлюлита. В последние годы производство косметических средств выросло в несколько раз, чему способствовало изучение полезных свойств таких веществ, содержащихся в водорослях, как полифенольные соединения, фукоиданы, полиненасыщенные ЖК и др. (<http://www//alga-net.com>).

3.8.2. ВОДООСЛИ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ

Начиная с 1992 г. в Италии некоторое количество высокосортной бумаги производят с использованием водорослей, главным образом *Ulva* spp. и *Gracilaria* spp., которые собирают в мелководных лагунах близ Венеции. Водоросли используют в свежем виде. Они не являются источником целлюлозы, а используются как наполнитель – источник минеральных элементов и крахмала.

После сбора водорослей (80% *Ulva*, 20% *Gracilaria*) их немедленно высушивают, размалывают до пудры и добавляют в бумажную смесь в количестве от 3 до 24%. Бумага, произведенная с использованием водорослей, имеет палево-зеленый цвет или цвет слоновой кости с мелкокрапчатой структурой и хорошие физико-технические характеристики. Ежегодно на производство бумаги используется около 400 м³ водорослей (Сесере, 1998).

3.8.3. ТКАНИ ИЗ ВОДОРΟΣЛЕЙ

В 1997 г. впервые Оливером Лапидусом была произведена ткань из водорослевых волокон, которая была достаточно прочной, хорошо стиралась и гладилась. На жакет, сшитый из этой ткани, потребовалось 25 кг морских водорослей. Какие водоросли использовал мастер, осталось секретом. В 2001 г. в Германии было произведено волокно с использованием водорослей. Ткань представляла собой композицию целлюлозных нитей и активных субстанций (вероятно, полисахаридов) из водоросли *Ascophyllum nodosum* с включением серебра. Эта ткань легко пропускала воздух, была мягкая на ощупь и комфортная при носке. Она содержала 5% водорослевых волокон и в основном использовалась для производства нижнего белья, а в последнее время – постельного белья (<http://www.algae.net.com/didyo-unknown/marine.textil.htm>, 2008).

3.8.4. МОРСКИЕ ВОДОРΟΣЛИ В ИСКУССТВЕ

Зеленые, бурые и красные водоросли используются художниками, декораторами, дизайнерами. Художественными произведениями из водорослей являются книжные закладки, календари, картины на стекле, бумаге, картоне, ткани, где используются более сотни различных водорослей,

собранных в море художниками США, Германии, России, Франции, Англии, Японии и других стран. Каждый художник сам собирает, обрабатывает, прессует и сушит водоросли, используя традиционные методы морских ботаников, но имеет в то же время свои секреты и хитрости в обработке водорослей. Каждая такая работа оригинальна, дизайн очень варьирует, даже если используются одни и те же виды водорослей. Цвет, форма и размер водорослей зависят от сезона, в течение которого они были взяты из моря, а также от места сбора. Морские водоросли, выдержанные под прессом, хорошо высушенные и закрепленные на тонком картоне, могут ламинироваться и сохраняться многие годы (<http://www.algae-net.com>, 2008).

3.8.5. ВОЗМОЖНО ЛИ ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ИЗ МОРСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ?

Морские макроводоросли в недалеком будущем, вероятно, могут стать перспективным сырьем для получения энергоносителей. Основанием такого предположения может быть следующее: 1) водоросли являются фотосинтезирующими организмами, строящими свои ткани из углекислого газа, воды и минеральных питательных веществ с использованием энергии солнечного света; 2) водоросли обогащают атмосферу кислородом и очищают воду от загрязнений; 3) водоросли обитают в поверхностном слое воды Мирового Океана и могут расти по всей его акватории – от северного полюса до южного в течение круглого года; 4) процесс превращения энергии химических связей органических веществ водорослей в энергию тепла не требует больших расходов других энергоносителей.

В конце прошлого века были разработаны подходы и методы получения энергии из морских макрофитов, кроме того, были достигнуты значительные успехи (в Китае, Чили, на Филиппинах и в Индонезии) по выращиванию водорослей в культуре и по их переработке в США и Японии в газообразное и жидкое топливо (Yokoama et al., 2007). Была предложена общая схема процесса, по которой водоросли должны были выращиваться на просторах Мирового океана, перевозиться из мест культивирования на сушу и здесь перерабатываться в легко используемый энергоноситель.

Для снабжения плантаций морских водорослей необходимым количеством питательных веществ были предложены разные методы: от удобрения плантаций минеральными солями до прокачивания через плантации вод апвеллинга. Предлагалось также, прежде чем использовать водоросли для получения биогаза, извлекать из них полезные вещества, такие, как полисахариды и ценные металлы.

С конца прошлого века проводятся работы по поиску объектов культивирования с целью получения из них энергии, которые должны иметь высокую скорость роста, накапливать большую биомассу и легко перерабатываться на твердый, жидкий или газообразный энергоноситель (Flowers, Bird, 1984). Было показано, что скорость роста водорослей из рода *Gracilaria* в культуре может достигать 20% в день, а их биомасса легко перерабатываться в газообразный энергоноситель – газ метан с высоким выходом продукта – от 0,28 до 0,40 м³ кг⁻¹ сух. м. водорослей, что соответствует 58–95% теоретически возможного выхода метана из этих водорослей. Выход метана коррелирует с содержанием в водорослях кислоторастворимых полисахаридов. Саргассовые водоросли, которые ежегодно продуцируют большое количество биомассы на мелководье, имеют значительно меньший, по сравнению с грацилярией, выход метана – от 0,12 до 0,19 м³ кг⁻¹ сух. м., что соответствует 27–46% теоретически возможного выхода метана (Hanisak, 1981; Hanisak, Ryther, 1984; Bird et al., 2005).

Параллельно отработывались методы непрерывного выращивания водорослей в открытых и закрытых водоемах с целью получения высоких урожаев в течение всего года. Делались успешные попытки выращивания водорослей в непрерывной культуре в вегетативной стадии их развития. Такая культура, как грацилярия, при всех благоприятных условиях давала до 35 г сух. м. на

1 м² водной поверхности в день, или 51 т сух. м. в год (при этом содержание золы в водорослях составляло около 50%) (Hanisak, Ryther, 1984).

В это же время в Калифорнии (США) проектировались и испытывались три фермы по выращиванию бурых водорослей (*Macrocystis pyrifera*) в открытом море. Водоросли выращивали на пропиленовых канатах, закрепленных на плотках, занимающих около 7 акров поверхности воды. Опыты показали возможность выращивания водорослей в открытом море, однако технические возможности даже высокоразвитых стран пока что не позволяют надеяться на высокую эффективность и рентабельность таких плантаций (Ryther, 1980; <http://www.oceansateas.org> 2008).

В Японии лучшим объектом для производства энергии из водорослей признана *Saccharina japonica*, она имеет высокую скорость роста, содержит более 13% сухих веществ, из которых только 13–14% приходится на золу. Недавно предложен проект организации ферм по выращиванию этой водоросли в открытом море на канатах, прикрепленных к плоткам, закрепленным якорями. Предполагалось занять под плантации водорослей свыше 40 км² водной поверхности на расстоянии нескольких километров от берега. Было предложено двухлетнее и однолетнее культивирование *S. japonica*. Предполагаемый урожай должен был составить 10⁶ т сыр. м. водорослей в год и содержать 0,112×10⁶ т сух. м. и 0,0180×10⁶ т золы. Собранные водоросли в сыром виде должны были перевозиться на берег, на фабрики по производству метана ферментативным путем (Yokoyma et al., 2007).

В заключение необходимо отметить, что на сегодняшний день водоросли не перерабатываются на топливо в каких-либо промышленных масштабах, хотя предпосылки для этого имеются: выбраны быстрорастущие виды водорослей, которые могут перерабатываться на топливо с высокой эффективностью (*Gracilaria* spp., *Ulva* spp.), и отработаны методы выращивания этих водорослей. Однако переработка на топливо (спирт) наземных культивируемых растений, таких как сахарный тростник, кукуруза и др., значительно рентабельней, чем морских растений, но будем надеяться, что это только пока.

ГЛАВА 4

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МОРСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ: СПОСОБЫ И ПРОБЛЕМЫ

В последние три десятилетия прошлого века аквакультура стала одной из ведущих отраслей производства таких пищевых продуктов, как рыба, моллюски, ракообразные и морские водоросли-макрофиты. В 2002 г. культивировалось около 40×10^6 т сыр. м. животных и свыше 8×10^6 т сыр. м. водорослей, причем 6×10^6 т приходилось на бурые, около $2,1 \times 10^6$ т – на красные и около $0,1 \times 10^6$ т – на зеленые водоросли (Lüning, Pang, 2003).

Водоросли-макрофиты культивируют в странах Азии (Бангладеш, Вьетнам, Индия, Индонезия, Китай, Корея, Малайзия, Мьянма, Россия, Филиппины, Япония), в Австралии и на прилегающих островах, в Новой Зеландии и на тихоокеанских островах (Фиджи, Тонго и Кирибати), в Север-



Рис. 41. Выращенные в Китае водоросли (*Undaria pinnatifida*, *Gracilaria* spp., *Saccharina japonica*) на прилавках супермаркета. Октябрь 2008 г., г. Далянь

ной Америке (США и Канада); в Южной Америке (Аргентина, Бразилия, Чили), в странах бассейна Карибского моря, в Африке (Южная Африка, Намибия, Марокко, Танзания) и в Европе (Германия, Португалия, Франция, Норвегия, Швеция). Наибольшего развития марикультура достигла в странах Азии. Здесь добывают и культивируют свыше 80% биомассы всех водорослей. Крупнейшим производителем (а также и потребителем) водорослей является Китай (рис. 41). На его долю приходится 60% их мировой добычи (Oliveira et al., 2000; Lüning, Pang, 2003; Feng et al., 2004; Cordover, 2007).

Всего в мире культивируют водоросли примерно из 30 родов. В промышленных масштабах выращивают водоросли из 17 родов (см. табл. 3). К ним относятся *Agardhiella*, *Eucheuma*, *Gelidium*, *Gigartina*, *Gracilaria*, *Hydropuntia*, *Hypnea*, *Kappaphycus*, *Meristotheca*, *Porphyra* (Rhodophyta); *Saccharina*, *Laminaria*, *Undaria*, *Cladosiphon* (Heterokontophyta); *Monostroma*, *Ulva*, *Caulerpa* (Chlorophyta). Водоросли из родов *Agardhiella*, *Gelidium*, *Gigartina*, *Porphyra*, *Saccharina*, *Laminaria*, *Undaria*, *Monostroma* и *Ulva* культивируют в водах умеренных широт, из родов *Eucheuma*, *Gracilaria*, *Hydropuntia*, *Hypnea*, *Kappaphycus*, *Cladosiphon*, *Caulerpa* – главным образом в тропических и субтропических широтах.

В этой главе анализируется современное состояние промышленного и экспериментального культивирования морских макроводорослей в мире. Описаны методические подходы при экстенсивном и интенсивном культивировании, а также в интегрированной марикультуре (поликультуре). Выделены основные проблемы как массовой монокультуры водорослей, так и поликультуры водорослей; даны рекомендации по преодолению этих проблем. Обсуждается будущее марикультуры водорослей, в которой должен снижаться уровень промышленной экстенсивной монокультуры при развитии интегрированной марикультуры.

4.1. СПОСОБЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Способы культивирования водорослей разнообразны. Выбор видов водорослей для культивирования зависит от места расположения ферм или плантаций (в море, на суше, в холодных водах умеренных широт или в теплых водах тропиков), от продукционных и адаптационных возможностей культивируемых видов (долгорастущие, быстрорастущие, тенелюбивые, светолюбивые, способные расти в олиготрофных водах или требующие высокого уровня питания), от характера водных экосистем (величина и глубина водоемов), 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 (использование в пищу, производство полисахаридов, корм для морских животных, производство медицинских препаратов и др.) и с его экономической целесообразностью. Способы культивирования можно объединить в две группы: экстенсивная марикультура и интенсивная марикультура.

4.1.1. 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, в свою очередь, также 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.

Экстенсивная марикультура применяется главным образом для получения большой биомассы водорослей, обладающих определенными свойствами: высоким содержанием полисахаридов (для получения альгинатов, агара, каррагинанов и др.) или хорошими вкусовыми качествами (мягкость, вкус, запах). Иногда водоросли культивируют для использования в альготерапии, для производства лекарств или биологически активных добавок. В этих случаях водоросли выращивают в наиболее чистых водоемах и в небольшом количестве.

Использование естественных водорослевых полей в экстенсивной марикультуре

В настоящее время водоросли в большом количестве добываются из естественных зарослей (полей, скоплений). Часто естественные водорослевые поля представляют собой монодоминантные сообщества неприкрепленных водорослей, среди которых *Ahnfeltia tobuchiensis* на Дальнем Востоке России (Титлянов и др., 1993) и *Chondrus crispus* в Канаде (Chopin et al., 1999), или прикрепленных к грунту водорослей: *Hypnea musciformis* в Индии (Ganesan et al., 2006), *Gracilaria chilensis* в Чили (Buschmann et al., 2001a), *Gigartina atropurpurea* в Новой Зеландии (McNeill et al., 2003), *Gelidium* spp. в Португалии (Melo, 1998), *Sargassum* spp. во Вьетнаме (Huynh, Nguyen, 1998) и др. Естественные заросли водорослей часто занимают сотни квадратных километров площади дна, а общая биомасса макрофитов на естественных полях составляет десятки тысяч тонн. Именно такие скопления полезных для человека водорослей нещадно эксплуатируются, и именно на таких полях используются недозволенные орудия сбора водорослей – драги и невода (Титлянов и др. 1993). Если водоросли не прикреплены к грунту, то при интенсивной эксплуатации и деструктивном методе добычи водорослевое поле может быть разорвано и при сильных штормах частично или полностью выброшено на берег. Неумеренная эксплуатация зарослей прикрепленных водорослей создает условия для внедрения в сообщество и для доминирования в нём менее полезных для человека видов.

Монодоминантные или бидоминантные естественные сообщества полезных водорослей после проведения так называемых агротехнических работ могут эксплуатироваться не с убылью, а с ежегодной прибавкой продукции. Благодаря проводимым мероприятиям естественные поля водорослей постепенно превращают в обширные и высокопродуктивные плантации. Примерами такого ухода могут быть работы на естественных полях неприкрепленных водорослей *A. tobuchiensis* на юге Дальнего Востока России (Титлянов и др. 1993), *C. crispus* в Канаде (Chopin et al., 1999), *Macrocystis pyrifera* и *M. integrifolia* на Аляске (Stekoll, 1998; Stekoll et al., 2006), *Gelidium corneum* [= *Gelidium sesquipedale*] в Португалии (Sousa-Pinto, 1998), *Macrocystis* spp. и *Ecklonia* spp. в Японии (Ohno, Largo, 1998), *Macrocystis* spp. в Калифорнии (Harger, Neushul, 1983), *Sargassum* spp. во Вьетнаме (Титлянов, Титлянова, 2010).

Экстенсивное культивирование неприкрепленной агароносной водоросли *A. tobuchiensis*. В 90-х гг. прошлого столетия был разработан и опробован метод экстенсивного 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 (Титлянов и др., 1993). *A. tobuchiensis* (далее 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.

Анфельция – медленно растущая водоросль, возраст отдельных талломов достигает 10 лет. Она обитает при освещенности от 80 до 0,1% фотосинтетически активной радиации, падающей на воду (ФАР_п) и устойчива не только к экстремальному затенению, но и к полной темноте. Чтобы эксплуатировать поле анфельции с полной отдачей и ежегодно получать высокий урожай, необходимо проводить следующие мероприятия.

Ежегодное измерение основных характерных параметров поля. Изъятию анфельции должны предшествовать подробная съемка поля: определение конфигурации пласта, а также площади продукционных и промысловых участков; расчет годовой нетто-продукции поля и квоты изъятия водоросли со всего поля и из каждого промыслового участка. После съемки должны быть установлены сигнальные буи, ограничивающие промысловые участки.

Выделение продукционных и промысловых участков. Продукционная зона выделяется как обширная (до 70–95% от всей площади поля) часть поля с толщиной пласта от 5 до 25 см. Снос водорослей с других участков поля в продукционную зону невелик, однако из этой зоны течениями, возникающими во время штормов, водоросли периодически выносятся на берег или в другие части акватории. Анфельция в продукционной зоне обычно лежит на крупных песках и алевритах, пласт водорослей слабо заилен. Вести промысел анфельции в продукционной зоне поля недопустимо, так как уменьшение его площади негативно скажется на общей годовой продукции.

Промысловыми зонами на полях анфельции являются места сноса водорослей антициклоническими течениями и компенсационными струями, возникающими во время штормов, а также силой волновых движений воды. Зоны промысла отличаются большой толщиной пласта (30–60 см и более), поэтому их продукционный баланс отрицательный. Участки поля, оторвавшиеся от основного пласта и образующие так называемые «микрополя», рекомендуется выбирать полностью, так как со временем эти скопления, находящиеся на периферии поля, в местах с неблагоприятными для роста водорослей условиями будут заилены и погибнут.

Квоты изъятия водоросли. Квоты изъятия анфельции рекомендуется рассчитывать ежегодно на основании данных по ее распределению, биомассе и первичной продукции. Необходимо также учитывать данные предыдущих лет по распределению и биомассе анфельции. Если на протяжении ряда лет на поле не наблюдалось снижения запасов водорослей, то можно ежегодно изымать около 10% от общей биомассы поля.

Для изъятия ежегодной квоты анфельции с промыслового поля необходимо установить очередность эксплуатации промысловых участков. Первыми рекомендуется эксплуатировать береговые выбросы анфельции и участки с полным ее изъятием в местах безвозвратного сноса водоросли. Затем остаток квоты поделить между зонами возможных штормовых выбросов и скопления анфельции в антициклонических круговоротах, где толщина пласта превышает 20 см.

Береговые и притопленные выбросы. Отрыв части пласта анфельции от основного поля и выброс водоросли на берег на зрелом высокопродуктивном поле является естественным процессом. Благодаря умеренным выбросам анфельции поле обновляется, толщина пласта уменьшается и увеличивается его продуктивность.

Береговые выбросы анфельции необходимо собирать и обрабатывать не позднее 2–3 суток после выброса. Притопленные выбросы могут храниться в воде в течение 1–2 месяцев, однако их рекомендуется собирать не позднее недели после образования скоплений, так как, постепенно отмирая, они оказывают отрицательное воздействие на экосистему водоема. Обследование береговых выбросов необходимо производить сразу после шторма. Притопленные и береговые выбросы можно собирать без ограничений в течение всего года.

Способы добычи. Изъятие анфельции не должно нарушать структуру поля и уменьшать его размер. Нельзя допускать длинных разрывов поля, параллельных направлению преобладающих волн, что приводит к скатыванию пласта в «валки». Длинные разрывы поля, перпендикулярные сильным фоновым и компенсационным течениям, способствуют отрыву больших участков от

основного пласта и выносу их на берег или в открытое море. На промысловых участках рекомендуется грейферный способ добычи, а также добыча насосами или специальным комбайном.

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.

В первом случае 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 (Лонгинов, 1973).

Во втором случае 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. Конструкции по выращиванию анфельции могут устанавливаться в местах с большей скоростью течений, чем на естественных полях, а также на меньшей глубине, чем расположено основное поле. Прибрежные барьерные ограждения помогают сконцентрировать значительную биомассу анфельции в местах ее возможного выброса на берег (Титлянов и др., 1993).

Возможности экстенсивного культивирования саргассовых водорослей во Вьетнаме. Во Вьетнаме найдено более 60 видов саргассов, из которых наибольшие запасы имеют *S. aquifolium* [= *S. binderi*, *S. crassifolium*], *S. carpophyllum*, *S. ilicifolium* [= *S. cristaefolium*, *S. duplicatum*], *S. glaucescens*, *S. graminifolium*, *S. henslowianum*, *S. mcClurei*, *S. oligocystum*, *S. polycystum*, *S. vachellianum*. Эти водоросли растут на каменистой литорали. Наибольшие запасы саргассовых водорослей сконцентрированы на севере страны в Тонкинском заливе, в центральной части и на южном побережье Вьетнама в Таиландском заливе. Вегетативный сезон для большинства видов саргассов длится с ноября по июнь. Лучшим временем сбора саргассов является период с мая по июнь. Глубоководные виды саргассов растут в течение всего года. В конце прошлого века годовая продукция саргассов во Вьетнаме составляла более 5 тыс. т сух. м., использовали только часть этой продукции – 300–500 т сыр. м. в год. Сейчас, в связи с резким повышением спроса на саргассовые водоросли (экспорт в Китай) и повышением их продажной цены (в несколько раз), изымается вся биомасса саргассов, причем отрываются от дна или срезаются все без исключения слоевища (всех возрастов) в течение всего вегетационного периода. Такое нерациональное использование природных ресурсов уже привело к резкому снижению общей годовой продукции саргассовых полей в несколько раз, а через 2–3 года саргассы Вьетнама будут полностью уничтожены (если не принять срочных мер – полностью на несколько лет запретить добычу саргассов). Уничтожение саргассовых полей приведет к катастрофическим последствиям по всему открытому побережью Вьетнама: разрушению кораллового рифа, уничтожению исторически сложившихся экосистем, сокращению или полному отсутствию прибрежных пород рыб, питающихся бентосом, а также таких полезных животных, как морские ежи, некоторые гастроподы и ракообразные.

Как было сказано выше, в мире существует практика «окультуривания» природных зарослей (полей) водорослей и проведения на основе естественных популяций экстенсивного культивирования доминирующего вида в природном водорослевом сообществе. Во Вьетнаме наиболее перспективными для экстенсивного культивирования природными водорослевыми сообществами являются обширные вдольбереговые заросли саргассов. Фитоценологические исследования сообществ саргассовых водорослей, проведенные советскими и вьетнамскими исследователями на о-ве Тху, а также в провинции Фукхань в 80-х гг. прошлого столетия, показали, что на основе естественных зарослей *S. aquifolium* [= *S. binderi*, *S. crassifolium*], *S. feldmannii*, *S. ilicifolium* [= *S. cristaefolium*, *S. duplicatum*], *S. polycystum* возможно наладить их экстенсивное культивирование с продуктивностью, превосходящей природные ассоциации этих водорослей (Титлянов и др., 1983; Калугина-Гутник, Титлянов, неопубликованные данные экспедиции на НИС «Академик Александр Несмеянов», 1981).

Саргассовое поле на западном побережье о-ва Тху в 1980 г. занимало площадь 3,5 км², на котором было найдено 5 видов саргассов: *S. carpophyllum*, *S. aquifolium* [= *S. crassifolium*], *S. feldmannii*, *S. ilicifolium*, *S. polycystum*. Все они, кроме *S. carpophyllum*, образовывали самостоятельные ассоциации. В пограничной зоне доминирующие виды соседних ассоциаций часто входили в состав сообщества почти в равном количестве. Такие пограничные олигодоминантные фитоценозы занимали незначительные по площади участки. В целом на саргассовом поле располагалось четыре ассоциации, выделенные по доминирующим видам.

Ассоциация *S. ilicifolium*. Фитоценозы одноярусные, сомкнутые, монодоминантные, с высоко-развитым растительным покровом. Общее проективное покрытие дна составляло 100%, высота растений колебалась от 50 до 230 см. Главную роль в создании ассоциации играли слоевища *S. ilicifolium*. Средняя численность и высота растений в ассоциации вида достигала 467±81 экз.·м⁻² и 21838±1694 г·м⁻². Запасы этого вида на исследованном поле, рассчитанные с учетом средней величины проективного покрытия, составляли 600 т сыр. м..

Ассоциация *S. feldmannii*. Фитоценозы двухярусные, сомкнутые, олигодоминантные, с хорошо развитым растительным покровом. Проективное покрытие колебалось от 40 до 100%, высота растений – от 25 до 42 см. *S. feldmannii* встречался по всему исследованному полю, входя в состав других фитоценозов. Монодоминантные заросли этого вида были встречены в центральной и западной частях поля на глубине 1,5–2 м. Биомасса водорослей в ассоциации на различных участках колебалась в пределах от 5764±1110 до 7500±1462 г м⁻². Средняя биомасса *S. feldmannii* составляла 2973 г·м⁻², а его запасы – 237,6 т сыр. м.

Ассоциация *S. polycystum*. Фитоценозы одноярусные, моно- и олигодоминантные, сомкнутые, с хорошо развитым растительным покровом. Проективное покрытие дна саргассами было от 20 до 80%, высота растений – от 17 до 51 см. Данный фитоценоз окаймлял центральную часть поля с южной и северной стороны. На южном участке заросли располагались на глубине 1,0–1,3 м, а на северном – 0,6–0,7 м. Численность и биомасса этого вида достигала 312–424 экз.·м⁻² и 5296–5591 г·м⁻² соответственно. Максимальная высота растений (до 70 см) отмечена на глубине 1,3 м. Средняя биомасса *S. polycystum* составляла 2929 г·м⁻². Общие запасы саргассов достигали 242,8 т сыр. м.

Ассоциация *Sargassum aquifolium* [= *S. crassifolium*]. Данная ассоциация была обнаружена на глубине 2,5 м и характеризовалась монодоминантным составом, очень изреженным растительным покровом с высотой растений 20 см и проективным покрытием 10%. Этот вид произрастал отдельными пятнами среди поселений кораллов до глубин 3,5–4 м. Средняя биомасса растений (при пересчете на проективное покрытие дна) составляла 170 г·м⁻². Запасы этого вида были незначительны – около 6,6 т сыр. м.

Таким образом, на исследованном участке поля общей площадью 26 га запасы саргассовых водорослей в мае 1980 г. достигали 1101,2 т сыр. м., что в среднем составляет 42,3 т с 1 га. Из них 55% запасов приходилось на долю *S. ilicifolium*, средняя биомасса которого составляла 111,6 т сыр. м. с 1 га. Запасы *S. feldmannii* и *S. polycystum* были примерно одинаковы и в сумме составляли 43,6% от общего запаса саргассовых водорослей на исследованном поле.

Анализ продукционных характеристик *S. polycystum*, *S. swartzii* и *S. kjellmanianum* [= *S. miyabei*] из провинции Фукхань показал, что в марте и первой половине апреля эти виды активно фотосинтезируют, имеют высокий уровень отношения фотосинтеза к темновому дыханию и значительную нетто-продукцию, т.е. находятся в стадии активного роста. Наибольшие показатели скоростей фотосинтеза и дыхания, а также наивысшую нетто-продукцию имел *S. ilicifolium*, образующий в апреле густые заросли. Оптимальная фотосинтетически активная радиация (ФАР), необходимая для роста и развития *S. ilicifolium*, *S. polycystum*, *S. swartzii*, находится в пределах от 20 × 10⁵ до 70 × 10⁵ Дж × м⁻² × сут⁻¹, или от 40 до 200 Вт × м⁻². Наиболее продуктивными из всех изученных видов саргассумов побережья Вьетнама являются *S. ilicifolium*, *S. polycystum*, *S. swartzii*, которые можно рекомендовать для экстенсивного культивирования (Титлянов и др., 1983).

Таким образом, проведенные исследования дают основание считать, что природные заросли саргассовых водорослей центрального и южного Вьетнама могут быть преобразованы в окультуренные плантации с доминированием в сообществе наиболее продуктивного вида *S. ilicifolium*.

Основными хозяйственными мероприятиями на естественных полях саргассовых водорослей по превращению их в окультуренные сообщества (плантации) могут быть: 1) увеличение поверхности твердого субстрата в районе произрастания саргассов; 2) заселение свободного субстрата наиболее продуктивным видом; 3) регулирование плотности посадки растений; 4) постепенная замена менее продуктивных видов более продуктивными; 5) сбор урожая в сроки, когда содержание полезных веществ в талломах наибольшее, и отработка наиболее рационального метода снятия урожая; 6) получение путем скрещивания и селекции высокопродуктивных форм, с повышенным содержанием полезных веществ (альгинатов, фукоидана и др.); 7) все эти агротехнические мероприятия в настоящее время (при значительно подорванных ресурсах) возможны только в случае полного запрета на изъятие саргассов с выделенных участков.

Массовая промышленная марикультура

Эти способы культивирования подразумевают выращивание местных, а также интродуцированных видов водорослей на грунте или в толще воды на естественных или искусственных субстратах с максимальным использованием природных ресурсов (света, тепла и питательных веществ) с целью получения наибольшей биомассы водорослей с максимальным содержанием в них необходимых полезных веществ.

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 Китае в 2001 г. общая продукция культивируемых объектов составляла 11315 тыс. т сыр. м. в год (под аквакультуру было занято 1286 тыс. га площади водной поверхности), и примерно половину этой продукции давали бурые водоросли (Feng et al., 2004).

На Филиппинах выращивают около 100 тыс. т сыр. м. в год каррагинансодержащей водоросли *Kappaphycus alvarezii* (Hurtado et al., 2001).

В Чили культивируют агароносную водоросль *Gracilaria chilensis*, урожай которой составляет около 100 тыс. т сыр. м. (Santelices, 1986; Oliveira et al., 2000; Buschmann et al., 2001a).

В промышленной аквакультуре водоросли выращивают на грунте (*Gracilaria* spp.), на веревках (*S. japonica*, *U. pinnatifida*, *Kappaphycus* 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 (Santelices, Ugarte, 1990).

Грацилярию выращивают в мелководных лагунах и бухтах, закрытых от ветра, на песчаном или илисто-песчаном грунте. Урожай собирают через несколько месяцев после посадки (до образования у прикрепленных водорослей органов размножения) полностью или частично, в последнем случае оставляя часть урожая (от 10 до 40%) в качестве посадочного материала для дальнейшего культивирования. Для такого метода выращивания наиболее удобны виды (формы) неприкрепленных водорослей, вегетирующие в течение года и не имеющие репродуктивной фазы развития. Посадочный материал закрепляют на дне, втыкая в мягкий грунт, на коралловых окатышах или пластиковых мешках и трубках, набитых песком (Alveal, 1997, 1998; Pizarro, 1986; Critchley, 1993; Buschmann et al., 1995; Pickering, 2006).

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 (Santelices, Fonck, 1979; Glenn, Doty, 1990).

Водоросли умеренных широт наиболее активно растут в весенние и летние месяцы (Buschmann et al., 2001a, в; Oliveira et al., 2000; Choi et al., 2006).

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 (Trono, 1993). Урожай зависит от плотности посадки, качества посевного материала, частоты и способа сбора водорослей (вручную или граблями с лодок). Продукция *G. chilensis* в Чили при таком способе выращивания может составлять в сублиторали от 100 до 150 т сыр. м. с 1 га в год, а на литорали до 70 т (Buschmann et al., 1995). *Kappaphycus alvarezii*, растущий на мягких грунтах в мелководных бухтах Гавайских островов, составлял до 21 т сух. м. с 1 га в год (Gleen, Doty, 1990).

Культивирование водорослей на веревках и канатах. Основой способа является закрепление посадочного материала водорослей на веревках, которые размещают в толще или у поверхности воды. Для этого используются полипропиленовые канаты и веревки, прикрепленные к буйам или плотам, установленным на якорях (рис. 42).

В случае, если культивирование проводится у поверхности воды, к веревкам крепятся дополнительные поплавки (Титлянов и др., 1995). 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.



Рис. 42. Культивирование *Saccharina japonica* в Китае. Желтое море, г. Вэйхэй, октябрь 1998 г.

Характер посадочного материала зависит от видовой принадлежности культивируемого объекта. Так, посадочным материалом *S. japonica* и *U. pinnatifida* являются молодые спорофиты длиной 3–5 мм и 2–3 см соответственно, выращенные в специальных культивационных бассейнах и закрепленные ризоидами к шнурам (рис. 43). Отрезки таких шнуров с молодыми растениями крепятся к веревкам или канатам (Kawashima, 1993).

В Чили на веревочных конструкциях выращивают бурые водоросли *Macrocystis pyrifera* и *Lessonia trabeculata*. Веревки оспаривают в специальных бассейнах или вплетают в веревки молодые спорофиты, полученные в культуре. Красные водоросли размножают фрагментами талломов, также вплетая их в веревки.

Для посадки грацилярии вместо канатов и веревок иногда используют сетки (Critchley, 1993) или бамбуковые рамки с натянутыми между бамбуковыми палками веревками, к которым прикрепляют фрагменты водорослей. Если грацилярию культивируют в местах произрастания местной популяции водоросли, то в этом случае посадочным материалом могут быть споры, которые после закрепления прорастают на специальных веревочных конструкциях; затем проростки переносят на культивационные веревки (Critchley, 1993).

Количество посадочного материала на одной веревке рассчитывают таким образом, чтобы к моменту сбора урожая водоросли занимали большую часть пространства между веревками. Обычно перед посадкой несущие веревки находятся на плаву, что дает возможность производить посадку вручную с борта небольших плоскодонных ботов. По мере роста водорослей веревки заглубляются под тяжестью слоевищ (Critchley, 1993).

Продолжительность периода от посадки до сбора урожая зависит прежде всего от скорости роста водорослей и от времени их созревания (приобретения слоевищами необходимого качества: высокого содержания полисахаридов или определенных вкусовых качеств). Так, *S. japonica* в Китае в зависимости от способа выращивания собирают через 10 или 20 месяцев после посадки (Feng et al., 2004), а *U. pinnatifida* в Японии – через 3 мес. При этом урожай ундарины составляет до 150 т сыр. м. с 1 га за один сезон (Ohno, Matsuoka, 1993). Ламинарию и ундарию собирают вручную с ботов, отсекая слоевища от несущих канатов. В России *S. japonica* культивируют на юге Дальнего Востока с 1972 г. (Бабенко, 1981; Ширяев, 1981; Суховеева, Подкорытова, 2006). Выращивают ла-

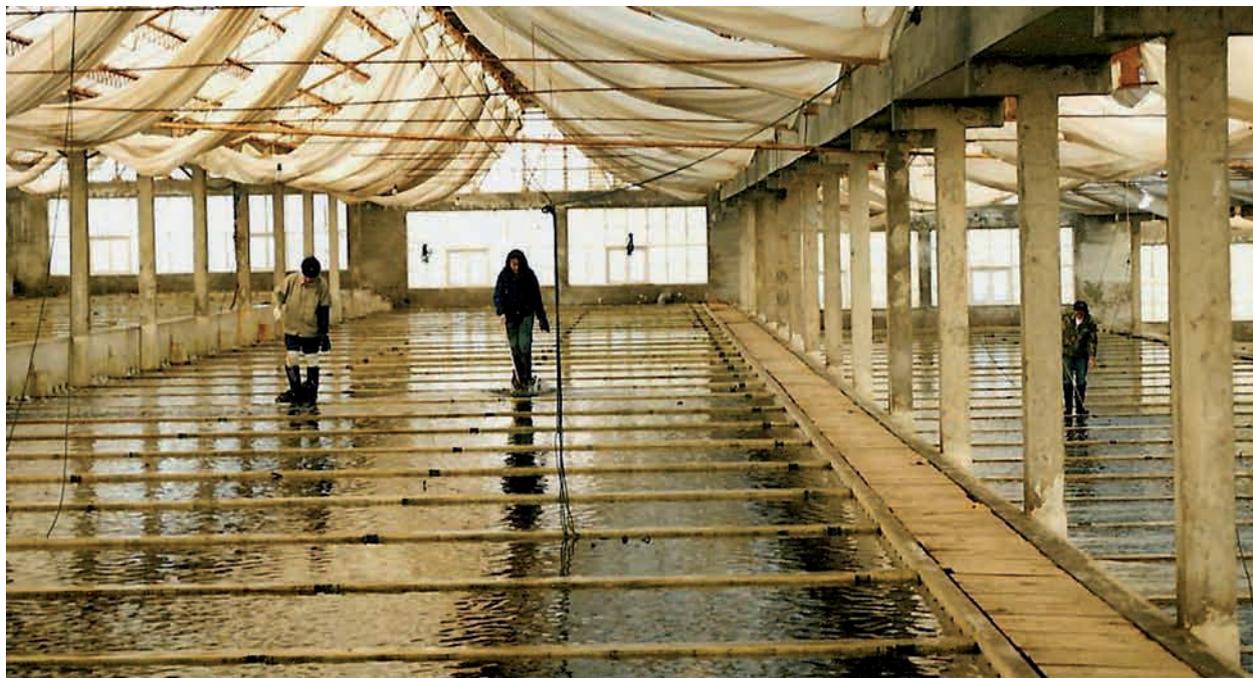


Рис. 43. Выращивание проростков бурых водорослей (совместно с камбалой) в бетонных бассейнах, г. Вэйхэй (Китай), октябрь 1998 г.

минарию в течение двух лет. Первый (выборочный) сбор водоросли проводят через 16–17 мес, а массовый – через 18–19 мес после посадки. Урожай составляет 80–90 т сыр. м. с 1 га (Подкорытова, Буянкина, 1986). Урожай бурых водорослей *M. pyrifera* и *L. trabeculata* собирают один раз в год, он составляет у *M. pyrifera* 80 кг сыр. м. на один метр веревки, или около 800 т сыр. м. с 1 га; а у *L. trabeculata* – около 2,5 т сыр. м. с 1 га (Westermeier et al., 2006). Урожай красной водоросли *K. alvarezii* на Филиппинах собирают через 2–3 мес после посадки (Hurtado et al., 2001). Время роста грацилярии на веревках в тропических и субтропических районах составляет около двух месяцев, урожай достигает 35 т сыр. м. с 1 га в год (на Цейлоне) (Santelices, Doty, 1989). Урожай грацилярии (*Gracilaria chilensis*), культивируемой на веревках в слегка солоноватых эстуариях рек на юге Чили, составлял около 100 т сыр. м. с 1 га за сезон (Westermeier et al., 1993); урожай собирают вручную, срезая водоросли ножом и оставляя часть талломов для дальнейшего роста.

Во Вьетнаме *K. alvarezii* культивируют в полузакрытых мелководных лагунах и бухтах с песчаным и илистым дном на закрепленных над дном веревках (рис. 44). Средняя скорость роста каппафика в течение холодного периода (с октября по март) составляет 8–9% в день, в жаркий период (с апреля по сентябрь) – 4–6% в день. В лагунах с высокой концентрацией питательных веществ в воде скорость роста водоросли может достигать 10–12% в день. Сбор урожая проводят каждые 2–3 мес в жаркий сезон года и каждые 1,5–2 мес в холодный период. Годовая продукция при этом способе культивирования составляет свыше 10 т сух. м. с 1 га.

Количество продуцируемой биомассы водорослей зависит от многих причин, и прежде всего от гидрологических и гидрохимических условий в месте выращивания. С одной стороны, опти-



Рис. 44. Культивирование *K. alvarezii* во Вьетнаме в бух. Камрань (март 2006 г.). Вставка: зал. Шон Хай, март 2002 г.

мальный температурный режим, высокое содержание питательных веществ, сбалансированное содержание азота и фосфора в воде, достаточная освещенность, умеренные течение и волновое воздействие увеличивают урожай. С другой стороны, большие суточные или сезонные перепады температуры и солености, низкая концентрация питательных веществ, недостаток света, слабое движение воды или сильные штормы значительно снижают урожай водорослей.

Большое значение в получении высоких урожаев имеет также генетически обусловленная урожайность, или продуктивность, растений, поэтому для массового культивирования создаются (путем скрещивания и селекции) высокопродуктивные сорта, которые постоянно обновляются (Lüning, Pang, 2003). Важнейшим критерием урожая является его качество, т.е. высокое содержание в водорослях полезных продуктов, а для съедобных водорослей – их вкус и запах (Титлянов и др., 1995; Lüning, Pang, 2003).

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 (Critchley, 1993). 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 (см. рис. 51). При выращивании порфиры и моностромы сетки, натянутые на рамы (или без рам), располагают в литоральной зоне таким образом, чтобы во время отлива они некоторое время обсыхали (борьба с эпифитами). При выращивании ульвы и кладосифона, а часто и порфиры сетки постоянно находятся в воде. При культивировании *Caulerpa lentillifera* на Окинаве (Япония) из сетки изготавливают специальные садки цилиндрической формы (60 см в диаметре и 100 см длиной) с металлическим каркасом, разделенным на 4 секции; садки прикрепляют к канатам, а канаты – к буям. 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 (Trono, Toma, 1993).

Посадочным материалом для ульвы и моностромы, выращиваемых на сетках, являются споры (Ohno, 1993). Оспоривание сеток может быть как естественным, так и искусственным. При естественном оспоривании сетки помещают в воду над зарослями водорослей во время их активного спороношения. Искусственное оспоривание сеток проводят в специальных бассейнах спорами, полученными из спорофитов, выращенных в культуре (Critchley, 1993). *C. lentillifera* и другие виды каулерпы высаживают вегетативными фрагментами слоевищ, прикрепляя их к сетке мягким шнуром. Для культивирования *Cladosiphon okamuranus* используют молодые спорофитные растения (длиной 2–5 см), пророщенные на сетках в культивационных танках и затем подрощенные в море или в бассейнах (Toma, 1993).

Посадочным материалом для культивирования порфиры являются микроталломы конхоцелиса – спорофитной стадии порфиры (*Conchoceleis*), которые выращиваются из карпоспор в толще стенок устричных раковин в специальных бассейнах. Для освобождения конхоцелиса из раковин их переносят в другие бассейны и прикрепляют к сеткам. Конхоцелис выходит из стенок раковин и закрепляется на сетках, которые затем переносят в море. Через несколько дней конхоцелис продуцирует конхоспоры, которые закрепляются на сетках и прорастают в молодые растения (Oohusa, 1993). Закрепленные на сетках водоросли выращивают в море в течение нескольких месяцев.

Монострому обычно собирают три-четыре раза в год (на Окинаве, Япония) (Ohno, 1993); урожай составляет 1–1,2 кг сух. м. на 1 м² сетки в год. Ульву собирают 2 раза в год: зимой и весной; общий урожай составляет примерно от 0,5 до 1 кг сух. м. на 1 м² сетки за сезон (Ohno, 1993). Урожай *C. lentillifera* достигает 10 т сыр. м. с 1 га за культивационный период (Trono, Toma, 1993). Ульву, монострому и каулерпу собирают вручную, *C. okamuranus* – при помощи насосов. Урожай этой водоросли составляет около 180 т сыр. м. на 1 га площади сеток, или 100–120 т на 1 га дна (Toma, 1993).

4.1.2. 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 (рис. 45);

– 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 (рис. 46).

К способам интенсивного культивирования относят также поликультуру, или объединенную культуру водорослей и животных (Troell et al., 2003; Neori et al., 2004; Schneider et al., 2004). 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 (рис. 47).

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 (рис. 48). 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 (рис. 47). Прудовая интенсивная культура грацилярии



Рис. 45. Культивирование *Palmaria palmata* в баках на ферме профессора Клауса Люнинга, о-в Зулд, Германия, декабрь 2007 г.



Рис. 46. Культивирование *Caulerpa lentillifera* в прудах, Вьетнам, окрестности г. Нячанга, апрель 2008 г. (Фото О.С. Белоус)



Рис. 47. Совместная марикультура макроводорослей (нижний снимок) и устриц (верхний снимок) на о-ве Зульд в Германии, декабрь 2007 г. (на переднем плане профессор Клаус Люнинг). Вода циркулирует между бассейнами, где культивируют устрицы и выращивают водоросли



Рис. 48. *Gracilaria bailinia*, культивируемая в прудах в пос. Суанг Кань (Вьетнам), март 2009 г.

распространена в Китае и Вьетнаме. Так, в Китае под прудовую культуру грацилярии занято около 1500 га, где производится до 2 тыс. т сух. м. грацилярии в год, т.е. урожайность ежегодно составляет в среднем 1,3 т сух. м., или примерно 40 т сыр. м. с 1 га за 150 дней выращивания (Santelices, Doty, 1989).

Gracilaria heteroclada культивируют в центральных и южных провинциях Вьетнама (Huynh et al., 2007). Этот вид грацилярии выращивают не только полуинтенсивным и интенсивным способами, но также в поликультуре с креветкой. Посадочным материалом являются фрагменты талломов водорослей, которые разбрасываются на песчаном или илистом грунте. Водоросли растут наиболее быстро при солености 25–30‰ и при температуре 26–32°C со скоростью 5–7% в сутки. Соленость ниже 20‰ и температура воды выше 34°C ингибируют рост водоросли (Pham, 1998). Если соленость воды в лагунах не опускается ниже 20‰, то *G. heteroclada* можно культивировать в течение всего года. Водоросль выращивают также в прудах, предназначенных для культивирования креветок (*black tiger shrimp*), при этом увеличивается урожай как водорослей, так и ракообразных. В настоящее время *G. heteroclada* культивируют примерно на 100 гектарах.

Урожай составляет 1,5–2,0 т сух. м. с 1 га. При культивировании грацилярии глубина прудов обычно составляет 20–30 см, но может достигать 60 см. Воду в прудах заменяют каждые 2–3 дня или через 6–15 дней, если вода богата питательными веществами. Пруды «засевают» фрагментами талломов грацилярии (около 5–6 т сыр. м. водоросли на 1 га акватории прудов), разбрасывая их по илистому или илисто-песчаному дну. Урожай собирают через 30–45 дней при помощи невода или граблей, оставляя примерно половину талломов в прудах для дальнейшего роста. При культивировании грацилярии серьезной проблемой является борьба с быстрорастущими водорослями-эпифитами и сорняками. В борьбе с эпифитами может помочь совместное культивирование грацилярии с травоядными рыбами или крабами.

Для культивирования *Caulerpa lentillifera* необходимы чистые морская и речная вода, а также умеренное движение воды. Вода должна сменяться чаще, чем при выращивании грацилярии. В воду добавляют только минеральные удобрения и гашеную известь для стабилизации pH ~7. Посадочным материалом являются фрагменты слоевищ каулерпы, которые на 1/3 погружают в

грунт. Растения высаживают на расстоянии 1 м друг от друга. Иногда фрагменты просто разбрасывают по дну. Глубина водоема во время посадки водорослей обычно составляет около 50–80 см, в дальнейшем она может варьировать. Через 2–3 мес, когда каулерпа покрывает дно сплошным ковром, ее собирают, оставляя 20–25% урожая для дальнейшего роста водоросли. Второй сбор урожая проводят через 2 недели (см. рис. 46).

Культивирование каппафикуса в прудах (Вьетнам) осуществляется тремя способами: 1) с закреплением посадочного материала (фрагментов талломов) на веревках, натянутых над дном с илистым или илисто-песчаным грунтом; 2) путем разбрасывания фрагментов талломов по чистому песчаному грунту или дну, устланному ракушечником; 3) разбрасыванием посадочного материала на сетки, закрепленные над дном с илистым или илисто-песчаным грунтом. Глубина водоемов в местах культивирования каппафикуса должна быть не меньше 0,5 м во время отлива, соленость воды – от 25 до 34‰. Морская вода поступает в пруды через шлюзы нерегулярно, а только во время максимальных приливов. В период, когда морская вода не поступает в водоемы, водоросли необходимо подкармливать нитратами и фосфатами. Скорость роста каппафикуса в сухой и жаркий сезон при температуре воды 30–34°C и освещенности 50000 люкс составляет 3–4% в день, а в холодный сезон – 5–6% в день.

Культивирование *K. alvarezii* в прудах возможно в течение всего года. Часто в одних и тех же прудах культивируют водоросль и креветку. В этом случае каппафикус выращивают с октября по март, а креветку – с апреля по сентябрь (Huynh et al., 2007; Pham, 2007).

Интенсивное культивирование имеет как преимущества, так и недостатки перед экстенсивным культивированием. Несомненным преимуществом является снижение риска потери урожая при сильных штормах или при сильном подъеме (или снижении) уровня воды, а также возможность контролировать или изменять состав водной среды, повышая, таким образом, урожай. Отсутствие травоядных животных также сохраняет урожай водорослей в прудах. Отрицательной стороной прудовых хозяйств является использование под их строительство участков побережья, особенно богатых разнообразием растительного и животного мира: мелководных лагун, мангровых зарослей, маршей, эстуариев рек и т.д.

Культивирование водорослей в бассейнах, баках (чанах)

Интенсивное экспериментальное культивирование водорослей в баках было начато в 70-е гг. прошлого столетия в Канаде и США (Ryther, 1975), а позже в Чили (Ugarte, Santelices, 1992). В настоящее время этот способ культивирования нашел применение в США, Канаде, Чили, Израиле, Мексике, Германии, Китае, Японии. 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 (Huang, Rorrer, 2003) и наиболее ценных продуктов из них, таких как агароза, простагландины и другие вещества, применяемые в медицине и в научно-исследовательской работе (Yamamoto et al., 1991; Friedlander, Levy, 1995; Pang et al., 2007; Msuya, Neori, 2008), а также для выращивания водорослей (например, *Palmaria mollis*) на корм морскому ушку (Demetropoulos, Langdon, 2004). 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 (см. рис. 45).

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.

Для введения высокопродуктивной культуры водорослей перед началом производства тщательно отрабатываются методы культивирования планируемого вида. Подбирается оптимальный режим освещения, температуры и минерального питания. При подборе режима освещения регулируются количество и качество светового потока (используются фильтры, шторы, дополнительное искусственное освещение), глубина танков, плотность культивируемых водорослей, скорость циклического движения водорослей от поверхности воды ко дну танка и обратно. Циклическое движение водорослей в танках обеспечивается движением воды, вызванным направленным потоком воздуха. Температурный режим создается прохождением воды через охлаждающие или нагревательные системы, а также температурой воздуха в помещении или тем и другим. Минеральное питание подается в баки постепенно или периодически. Часто воду обогащают CO₂ или бикарбонатом. Соленость регулируется добавлением в среду пресной или дистиллированной воды, а также морской соли, содержащей все необходимые элементы. Для борьбы с микрофлорой в воду добавляют ингибиторы роста бактерий. Чтобы постоянно поддерживать высокий уровень продукции водорослей, часть накопившейся биомассы периодически изымается.

Продукция водорослей зависит от метода и объекта культивирования. Так, при культивировании *Gracilaria tikvahiae* в небольших баках (55 л) с частой сменой воды, подкормкой минеральными солями, периодическим перемешиванием воздухом и с частым отбором биомассы продукция с 1 м² поверхности бака составляла от 12 до 40 г сыр. м. в день, что эквивалентно 127 т сыр. м. с 1 га в год (Hanisak, 1981). Почти такая же продукция грацилярии была получена в бассейнах, содержащих 24 тыс. л воды (Hanisak, Ryther, 1984). Проростки *Porphyra* sp., выращиваемые в баках, давали до 120 т сыр. м. с 1 га водной поверхности за 4 мес (Israel et al., 2006).

Разновидностью интенсивного культивирования является выращивание водорослей в контейнерах при увлажнении их слоевищ мельчайшими каплями воды, обогащенной минеральными солями. Такая культура дешевле, чем культура в толще воды, а основное ее достоинство – меньшее количество эпифитов и отсутствие сорных водорослей. Урожай *Gracilaria chilensis*, выращенной из фрагментов талломов в водно-капельной культуре, составлял от 1,8 до 16,0 т сух. м. с 1 га в год (Pickering et al., 1995), урожай *Ascophyllum nodosum* – 143 т сух. м. с 1 га в год, или 22 т сух. м. с 1 га в год (Rheault, Ryther, 1983). *Gracilaria secundata* росла со скоростью 1,3% в день (Pickering et al., 1995), а *G. chilensis* – 2% в день (Ugarte, Santelices, 1992). Скорость роста *A. nodosum* составляла, по данным разных авторов, 1,2% (Rheault, Ryther, 1983), 2,4% (Lignell, Pedersen, 1986) и 0,9% в день (Haglund, Pedersen, 1988).

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 (см. рис. 47).

Методы интегрированной марикультуры разрабатываются с 70-х гг. прошлого столетия, когда началось массовое культивирование морского ушка на фермах, расположенных на суше (Haines, 1975; Ryther et al., 1975; Langton et al., 1977; Harlin et al., 1978). В 90-х гг. прошлого столетия в связи с развитием интенсивной марикультуры (монокультуры) рыб, креветок и других животных, а также из-за катастрофического загрязнения прибрежных вод жидкими отходами, поступающими с расположенных на берегу и в море культивационных систем, исследования по изучению возможности использования водорослей для очистки воды возобновились (Vandermeulen, Gordin, 1990; Cohen, Neori, 1991; Neori et al., 1991; Haglund, Pedersén, 1993; Hirata, Kohirata, 1993; Largo, Ohno 1993; Buschmann et al., 1994a, b, 1996a, b, 2001a, b; Neori 1996; Jimenez del Rio, Ramazanov, 1996; Troell et al., 1997; Chopin et al., 1999; Gacia et al., 1999). Было показано, что загрязненные при интенсивной и полунинтенсивной 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. Одновременно с экспериментальными исследованиями создаются теоретические модели и разрабатываются методы выращивания водорослей в интегрированной макультуре (Cohen, Neori, 1991; Coffaro, Sfriso, 1997; Troell et al., 2003; Runcie et al., 2004; Schneider et al., 2004). В последние 5 лет (2003–2008 гг.) появились работы, в которых описываются методы поликультуры и результаты пока еще экспериментального полупромышленного культивирования водорослей в интегрированных системах (Buschmann et al., 2001a, b; Neori et al., 2003, 2004; Hernandez et al., 2005a, b; Lombardi et al., 2006; Matos et al., 2006; Schuenhoff et al., 2006; Paul et al., 2008).

Анализ способов 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.

Основной задачей при использовании данных методов интегрированной марикультуры в настоящее время можно считать экономически эффективное массовое выращивание животных с высоким выходом и качеством продукции, без загрязнения окружающей среды и обеднения или изменения естественных биоценозов.

Моделирование интегрированных марикультурных систем. При моделировании интегрированных систем марикультуры весь процесс производства делят на несколько блоков. Модели описывают пищевые и энергетические взаимодействия между блоками и предлагают мероприятия по повышению эффективности работы системы. Одной из таких работ является создание модели по интенсивному выращиванию животных (рыбы) в бассейнах или баках с полным набором компонентов процесса (Schneider et al., 2004). Эта наиболее общая модель, анализирующая питательные потоки на основе баланса содержания азота и фосфора у всех участников процесса и представляющая собой гипотетическую схему интегрированной марикультуры, состоит из 5 блоков:

1. Блок (модуль) по превращению пищи в биомассу культивируемого животного (the fish-biomass-converter). В этом модуле культивируемые животные, поедая и усваивая корм, превращают его в вещества своего тела (в биомассу) и выделяют отходы метаболизма в воду в виде растворимых и нерастворимых экскретов.

2. Блок продукции и разделения отходов (the fish-waste-processor). В этом блоке образуются жидкие и твердые отходы (потери) корма и выделения (экскреты) животных, которые сепарируются на растворенные и нерастворенные в воде вещества.

3. Блок фототрофных превращений (phototrophic-converter). В этом модуле жидкие отходы, растворенные в воде, усваиваются фототрофными организмами (микроводорослями, макроводорослями и морскими травами) в процессе фотосинтеза, превращаясь в биомассу (вещества) автотрофных организмов.

4. Блок по превращению биомассы автотрофных организмов в биомассу растительноядных животных (phototrophic-herbivore-converter). В этом блоке такие растительноядные животные, как рыбы, моллюски (в основном морское ушко), некоторые ракообразные, поедая (выращенные на жидких отходах производства) растения и микроорганизмы, превращают их в вещества своего тела.

5. Блок по превращению твердых отходов (разделенных во втором блоке на взвесь и осадок) в биомассу животных фильтраторов (двустворчатые моллюски) и детритофагов (рыбы, голотурии) (detritivorous-converter). Здесь растворимые и нерастворимые в воде вещества перерабатываются бактериями как в неиспользуемые в системе неорганические вещества, так и в используемую в питании животных биомассу бактерий.

Чтобы достигнуть главной цели интегрированной марикультуры и получить наибольшую биомассу культивируемых видов, не загрязняя окружающую среду, в каждом из модулей необ-

ходимо проводить соответствующие задачам мероприятия. Эти мероприятия (при выращивании рыбы в танках), согласно Шнайдеру с соавторами (Schneider et al., 2004), могут быть следующие.

В блоке № 1 необходимо повышать уровень превращения пищи в биомассу тела рыбы (nutrient retention), который при современных методах выращивания варьирует в следующих пределах: по усвоению азота – от 20 до 50% и фосфора – от 15 до 65%. Проводимые мероприятия – это увеличение усвояемости корма рыбами и уменьшение его потерь.

В блоке № 2 должно быть предельно снижено разрушение и растворение корма в воде. Для применяемого в настоящее время корма для рыб потери при кормлении составляют от 30 до 65% по азоту и от 30 до 65% по фосфору.

Основным мероприятием в блоке № 3 должен быть выбор автотрофного объекта культивирования, имеющего высокие возможности в переработке жидких отходов производства в органические вещества клеток (особенно в белок и другие азотистые соединения), поедаемые травоядными животными, а также подбор условий для интенсивного культивирования отобранных автотрофных организмов.

В блоке № 4 необходимыми мероприятиями, увеличивающими эффективность работы этого конвертера, является отбор травоядных животных, с наибольшей эффективностью поедающих и усваивающих биомассу растений и бактерий.

В блоке № 5, производящем переработку твердых отходов, проводятся мероприятия по отбору для интегрированной культуры животных-фильтраторов и животных, поедающих донные осадки, а также созданию условий для эффективной утилизации отходов. Кроме того, проводится поиск и внедрение в систему бактерий, перерабатывающих отходы с меньшими потерями и с большей пользой для системы, т.е. с большим получением бактериального белка, поедаемого животными интегрированной системы.

Последние достижения по выращиванию морских водорослей в поликультуре. Виды водорослей, нашедшие применение в открытой и закрытой системах интегрированной марикультуры, приведены в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. Водоросли и животные, культивируемые в интегрированной марикультуре, способы культивирования, продукция водорослей и интенсивность биофильтрации

Водоросли	Животные	Способ культивирования	Продукция водорослей или скорость их роста	Интенсивность биофильтрации	Источник
<i>Ulva rotundata</i> (1), <i>Gracilariopsis longissima</i> (2)	Морской лещ (<i>Sparus aurata</i>)	Бассейн	–	(1) – 54% DIN, 8,9% DIP. (2) – 17% и 3,2% соответственно	Hernandez et al., 2005a, b
<i>Ulva lactuca</i>	Морское ушко (<i>Haliotis discus</i>), морской еж (<i>Paracentrotus lividus</i>) и морской лещ (<i>Sparus aurata</i>)	Бассейн	94–117 г сыр. м. на 1 м ² в день	30% DIN + DIP	Schuenkoff et al., 2006
<i>Ulva lactuca</i>	Рыба и морское ушко	Бассейн	189 г сыр. м. на 1 м ² в день	85–90% аммония	Neori et al., 2003
<i>Ulva rotundata</i> , <i>Ulva intestinalis</i> , <i>Gracilaria gracilis</i>	Морской окунь	Бассейн	–	60,7% DIP	Martinez Aragon et al., 2002
<i>Ulva lactuca</i> , <i>Gracilaria</i> spp.	Морской лещ (Seabream), морское ушко	Бассейн	–	–	Neori et al., 1998, 2000
<i>Chondrus crispus</i> (1), <i>Gracilaria bursa</i> (2), <i>Palmaria palmata</i> (3)	Палтус (<i>Scophthalmus maximus</i>), морской окунь (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Двухкаскадная система чанов	(1) – 37, (2) – 29,1 и (3) – 40 г сух. м. на 1 м ² в день	DIN, %: (1) – 41,3%, (2) – 46,8%, (3) – 41%	Matos et al., 2006

Водоросли	Животные	Способ культивирования	Продукция водорослей или скорость их роста	Интенсивность биофильтрации	Источник
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Креветка (<i>Liopenaeus vannamei</i>)	Открытая садковая культура	17,5 кг сух. м. на 1 м ² в день	–	Lombardi et al., 2006
<i>Asparagopsis armata</i> (tetrasporophyte)	Рыба	Бассейн	100 г сух. м. на 1 м ² в день	–	Schuenkoff et al., 2006
<i>Gracilaria chilensis</i>	Рыба, устрицы, морской еж	Бассейн	–	–	Chow et al., 2001
<i>Gracilaria parvispora</i>	Креветка	Плавающие садки	–	–	Nelson et al., 2001
<i>Gracilariopsis longissima</i>	Рыба	Бассейн	–	–	Buschmann et al., 1996a, b;
<i>Porphyra</i> spp.	Рыба	Садки	–	–	Carmona et al., 2001
<i>Palmaria mollis</i>	Морское ушко (<i>Haliotis rufescens</i>)	Бассейн	–	–	Evans, Langdon, 2000
<i>Porphyra</i> spp.	Рыба (лососевые)	Система садков	–	–	Chopin et al., 1999
<i>Gracilariopsis bailinae</i>	Рыба ханос (<i>Chanos chanos</i>)	Садки	–	–	Alcantara et al., 1999
<i>Gracilaria chilensis</i>	Рыба (лососевые)	Морские садки	–	–	Troell et al., 1997
<i>G. chilensis</i>	Рыба (лососевые) (<i>Oncorhynchus kisutch</i> , <i>O. mykiss</i>)	Бассейн	48,9 кг сыр. м. на 1 м ² в год	50–95% аммония	Buschmann et al., 1994a, b, 1996a, b
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Двустворчатый моллюск (<i>Pinctada martensi</i>)	Садки	6,5% в день	от 67,2 до 73,9% от общего азота	Qian et al., 1996
<i>Hypnea musciformis</i>	Двустворчатый моллюск (<i>Tapes japonica</i>)	–	–	–	Haines, 1975; Langdon et al., 1977
<i>Laminaria</i> spp.	Рыба (лососевые)	Садки	–	–	Subandar et al., 1993

Примечание. DIN – растворимый неорганический азот; DIP – растворимый неорганический фосфор.

Начиная с 70-х гг. прошлого столетия и до настоящего времени в поликультуре морских организмов были опробованы в качестве фильтраторов жидких отходов более 20 видов водорослей, таких как *Kappaphycus alvarezii*, *Gracilaria textorii*, *G. bursa-pastoris*, *G. gracilis*, *G. chilensis*, *G. parvispora*, *Gracilariopsis heteroclada*, *G. longissima*, *G. lemaneiformis*, *Chondrus crispus*, *Palmaria palmata*, *P. mollis*, *Asparagopsis armata*, *Porphyra* spp., *Hypnea musciformis* (красные); *Laminaria* spp., *Fucus vesiculosus* (бурые); *Ulva lactuca*, *U. rotundata*, *U. intestinalis*, *U. rigida* (зеленые). В основном эти же виды водорослей используются в экстенсивной монокультуре.

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 (Schneider et al., 2004). Они могут извлечь из воды до 80–90% жидких отходов, из них – до 60% соединений фосфора, примерно столько же азота и до 95% аммония (табл. 4) (Buschmann et al., 1996a, b; Martinez-Aragon et al., 2002; Neori et al., 2003; Hernandez et al., 2005). Интегрированное экстенсивное или полунтенсивное культивирование водорослей в одном водоеме с травоядными животными повышает продукцию последних и улучшает качество продукта (вкус, текстуру и жирность мяса) (Nelson et al.,

2001; Lombardi et al., 2006; Zhou et al., 2006). Использование водорослей, культивируемых в прудах и танках (в закрытой интегрированной системе), на корм морскому ушку увеличивает экономическую эффективность марикультуры и повышает доходы фермеров (Buschmann et al., 2001a).

4.2. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МОРСКИХ РАСТЕНИЙ

Культивирование водорослей в промышленных масштабах имеет множество проблем в развитии и расширении этого производства, а применение некоторых способов культивирования в будущем является проблематичным. Основными проблемами экономически эффективного выращивания водорослей являются борьба с сорными водорослями и эпифитами (Pizarro, 1986; Gonzales et al., 1993; Buschmann et al., 1995; Lüning, Pang, 2003), защита водорослевых плантаций от травоядных животных и недостаток посадочного материала. Кроме того, промышленное культивирование водорослей наносит непоправимый ущерб естественным водным и наземным экосистемам, а занятие больших участков акваторий под хозяйства марикультуры мешает судоходству и рыболовству в этих районах, в связи с чем возникают социальные проблемы.

4.2.1. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МАКРОВОДОРΟΣЛЕЙ

Эпифитизм и борьба с сорняками

Засорение плантаций так называемыми «сорными» водорослями из родов *Hypnea*, *Dictyota*, *Hydroclathrus*, *Ulva* и водорослями-эпифитами, конкурирующими с культивируемыми водорослями за свет, субстрат и минеральные ресурсы (Buschmann, Gomez, 1993), отрицательно влияет на скорость фотосинтеза и роста культивируемых видов, снижает урожай и его качество (рис. 49).

«Пропалывание» плантаций (сбор сорных водорослей и эпифитов) значительно увеличивает затраты на производство (Kuschel, Buschmann, 1991; Buschmann, Gomez, 1993; Buschmann et al., 1994a).

Предлагаются разные способы сдерживания роста и развития быстрорастущих водорослей на плантациях. Это повышение плотности сообществ культивируемых видов; уменьшение светового потока путем заглубления плантаций; временное опреснение водоемов и осушение плантаций; культивирование в водоемах травоядных рыб и моллюсков, поедающих только нежные нитчатые водоросли (эпифиты); пропалывание плантаций; изменение pH среды и режима питания, а также времени (сезона) посадки водорослей и сбора урожая; селекционный отбор форм водорослей, не подверженных или мало подверженных заражению эпифитами (Buschmann et al., 1997a; Fletcher, 1995).

При интенсивном способе культивирования основным методом борьбы с эпифитами является поддержание определенного светового режима, который способствует росту культуры и губителен для сорняков и эпифитов. Было показано, что если культура *Chondrus crispus* (Bidwell et al., 1985) имеет плотность около 10 кг сыр. м. на 1 м² водной поверхности бака при его глубине 60–90 см, а время циркуляции слоевищ в воде составляет 1–1,5 мин, то пребывание водорослей на ярком свете у поверхности воды, как и у дна (при почти полном отсутствии света), составляет 10 с. Подобный режим освещения поддерживает продуктивность *C. crispus* на высоком уровне и не подходит для роста сорняков и эпифитов.

Избавиться от эпифитов помогает также изменение сезонной ритмики роста у многолетних бурых водорослей. Так, при культивировании *Laminaria digitata* в баках при естественном освеще-



Рис. 49. Сорные зеленые водоросли на плантациях грацилярии (*Gracilaria tenuistipitata*). Вьетнам, лагуна О Лан, март 2009 г.

нии с искусственно сокращенным периодом освещения в летнее время до 8 ч в сутки слоевища ламинарии быстро росли, в то время как эпифиты и эфемеры, нуждающиеся в большей продолжительности светового периода, в этих условиях не развивались (Gomez, Lüning, 2001).

Растительноядные животные и болезни водорослей

Практика показала, что культивирование одного или двух видов на одном и том же месте в течение нескольких лет приводит к размножению на плантациях растительноядных рыб, гастропод и полихет, которые, поедая водоросли, уменьшают урожай (Pizarro, 1986; Buschmann et al., 1995, 1997b). Количество некоторых животных, например полихет (Polychaete), можно контролировать, применяя пестициды (Buschman et al., 2001b). Однако пестициды убивают не только полихет, но и хищников, сдерживающих распространение травоядных животных.

В некоторых районах культивирования на водорослях поселяются двустворчатые моллюски (например, мидии). Водоросли под тяжестью животных-обрастателей отрываются от веревок, падают на дно, загнивают и, в конечном итоге, загрязняют водоем (Retamales, Buschmann, 1996). На юге Дальнего Востока России грацилярия, выращиваемая в лагунах (в затишных местах), обрастает мшанками (Титлянов и др., 1995). На атлантическом побережье Канады в 80-е гг. прошлого столетия после массовой гибели морского ежа в большом количестве появились мезогастропода *Lacuna vincta*, морское блюдечко *Notoacmaea testudinalis* и хитон *Tonicella rubra*, поедающие слоевища бурой водоросли *Laminaria longicuris* (Johnson, Mann, 1986). Водоросли также поедаются амфиподами, живущими в их зарослях (Титлянов и др. 1995; Duffy, 1990).

Наиболее распространенным заболеванием на плантациях *Eucheuma* и *Gracilaria* является болезнь «Ice-ice» или «болезнь погибшего урожая». Симптомы болезни проявляются в условиях плохой освещенности, слабого движения воды или низкого содержания в воде микроэлементов:

талломы обесцвечиваются, фрагментируются и опадают на дно. Чтобы спасти растения от гибели, их необходимо быстро пересадить в другое место с лучшей освещенностью и с более интенсивным движением воды или внести подкормку (Critchley, 1993).

Талломы грацилярии могут быть заражены эндофитными амебами (Correa, Flores, 1995). Болезнь начинается с появления белых пятен, которые быстро покрывают весь таллом. Амебы перфорируют клеточные стенки водорослей и выедают протопласты. Лучшие способы борьбы с травоядными животными и болезнями – это смена места выращивания водорослей или чередование выращиваемых видов (Buschmann et al., 1997c, 2001a, b).

Получение посадочного материала

При промышленном культивировании красных водорослей (за исключением *Porphyra*) используются фрагменты талломов уже выращиваемых водорослей или водорослей из дикой популяции. При таком способе размножения теряется значительная часть урожая как культивируемых, так и природных сообществ. Кроме того, водоросли, выращиваемые из года в год в одном и том же месте из фрагментов слоевищ, теряют такие положительные свойства, как приспособленность к свету и температуре, устойчивость к действию ультрафиолетового света, обсыханию, изменению солености и к болезням. Это, в свою очередь, приводит к снижению их продуктивности и, в конечном итоге, к потере урожая. Данные изменения связаны с не свойственными для культивируемого вида условиями существования, с генетическими перестройками под действием неблагоприятных факторов среды, с отсутствием обновления генетического материала при неполном онтогенетическом цикле.

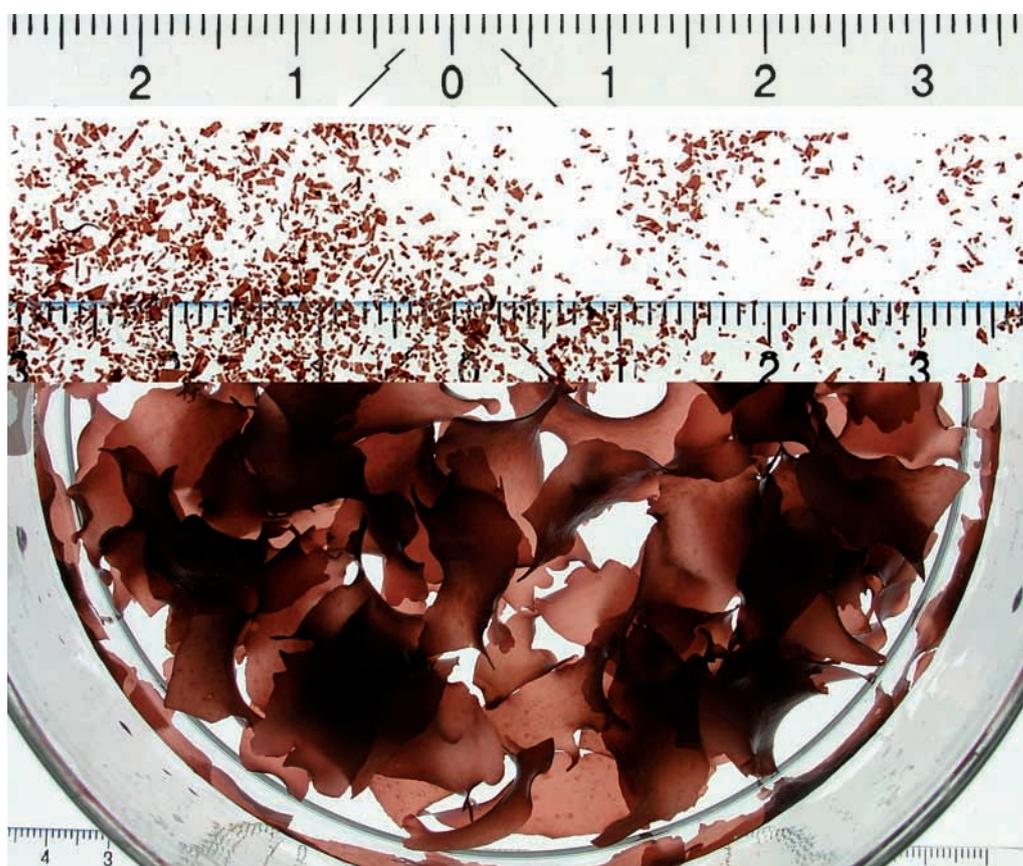


Рис. 50. Получение проростков *Palmaria palmata* из краевой меристемы

Проблему нехватки посадочного материала решают по-разному: получают посадочный материал путем клонового размножения, заменяя культивируемую форму (штамм, тип, клон) дикими или культивируемыми в других районах формами (Caro et al., 1999; Smit, Bolton, 1999; Strain et al., 2007); используют в качестве посадочного материала проростки диких форм водорослей, выросших на конструкциях плантаций, находящихся недалеко от диких зарослей водорослей; отбирают новые формы водорослей путем селекции (Ask, Azanza, 2002); культивируют посадочный материал из тетраспор и зигот (Alveal et al., 1997; Gall et al., 2004, Hwang et al., 2006); получают проростки из тканевой культуры и культуры протопластов (Dipakkore et al., 2005; Reddy et al., 2008).

Однако все перечисленные методы получения посадочного материала не соответствуют главному требованию массовой, промышленной марикультуры водорослей: наличие посадочного материала в достаточном количестве в любое время года.

В 2004–2006 гг. совместными усилиями российских и немецких ученых был разработан метод массового получения проростков *Palmaria palmata* и *Gelidium* spp. из краевой и апикальной меристем соответственно (Titlyanov et al., 2006a, b). Этот метод позволяет получить проростки водорослей в любом количестве и в любое время года в течение 5–7 недель (рис. 50).

Метод состоит из следующих операций: 1) выращивание в интенсивной культуре спорофитных или гаметофитных растений; 2) отделение от слоевищ меристематических тканей; 3) культивирование фрагментов меристемы и 4) получение проростков из тканевой культуры меристемы.

Этим методом из одного слоевища *P. palmata* (длиной 5 см, шириной 2 см и массой 300 мг) получают до 5000 проростков (длиной 2–3 см, шириной 1–1,5 см и массой 150 мг) или 2 кг сыр. м. проростков. Из 100 мг фрагментов меристемы *Gelidium* spp. получают 30 г проростков с ризоидами. Получение проростков гелидиума с ризоидами имеет большое значение в развитии экстенсивной культуры этой водоросли. При тканевой культуре из субмеристематических микрофрагментов талломов *P. palmata* можно получить тетраспоры. Так, после 6 нед. культивирования субмеристематических фрагментов размером 1–2 мм² их масса увеличилась примерно в 200 раз, все фрагменты продуцировали тетраспоры в большом количестве (Titlyanov et al., 2006a).

Негативное влияние марикультуры на донные экосистемы

В мировой литературе превалирует мнение, что марикультура водорослей имеет только положительный эффект, очищая воды Мирового океана от органических и неорганических отходов антропогенного происхождения, значительно уменьшая эвтрофикацию (Morand, Merceron, 2005). Действительно, экспериментально доказано, что водоросли могут извлекать из загрязненной воды до 90% неорганических веществ, содержащих азот и фосфор, поступающих в Мировой океан с сельскохозяйственных полей, с отходами из больших городов и с марикультурных ферм (Buschmann et al., 2001a; Hurtado et al., 2001, 2006; Lüning, Pang, 2003). В то же время массовая промышленная монокультура водорослей приносит несомненный вред местным бентосным экосистемам в районах культивирования водорослей. Особенно страдают мелководные лагуны, бухты и эстуарии рек, где развито придонное выращивание водорослей (на грунте или на веревках) из родов *Gracilaria*, *Carparhycus*, *Eucheuma*. При этом способе культивирования нередко дно полностью освобождается от обитающих там растений – водорослей и морских трав (Critchley, 1993; Trono, 1993). Выращивание водорослей на веревках или сетках, поднятых над дном, также не спасает естественные бентосные сообщества от частичной или полной деградации. В данном случае на естественные сообщества негативно влияет изменение

некоторых факторов среды, связанное с массовым культивированием водорослей. Это снижение освещенности, ослабление движения воды, повышение седиментации, снижение концентрации питательных веществ, а также частые стрессы, вызванные деятельностью человека или работающей техникой.

Исследования, проведенные на о-ве Занзибар (Танзания), показали, что при культивировании морских водорослей над естественными зарослями морских трав (*Enhalus acoroides* и *Thalassia hemprichii*) в течение 11 нед продукция этих трав снизилась на 40% по сравнению с контролем (близлежащие районы без хозяйств марикультуры) (Ekloef et al., 2006). По нашим наблюдениям, проведенным в лагунах на юге Дальнего Востока России, выращивание грацилярии над зарослями морской травы *Zostera japonica* в течение 4 мес, тормозило рост морской травы и уменьшало численность амфипод в ее зарослях (Титлянов и др., 1995; Skriptsova et al., 2001).

Негативное влияние на природные сообщества оказывает также культивирование над грунтом бурых водорослей *Laminaria* и *Undaria*: при длительном культивировании в умеренных водах слоевица водорослей и конструкции, на которых их выращивают, обрастают двустворчатыми моллюсками (мидиями) и другими животными (Retamales, Buschmann, 1996). Под тяжестью этих обрастаний слоевица обрывается и оседает на дно, а свободноживущие животные легко смываются волнами с плантаций во время сильных штормов, попадают на грунт и разлагаются, загрязняя среду. Таким образом, при длительном выращивании водорослей в массовом количестве в одном районе данные сообщества, как правило, полностью уничтожаются, а дно превращается в «пустыню».

Существуют ли способы решения этой проблемы? На наш взгляд, такие способы существуют, и они достаточно просты: выращивание водорослей на одном и том же месте не чаще чем 1 раз в течение двух лет; использование «шахматного» метода культивирования (Титлянов и др., 1995; Skriptsova et al., 2001), когда производственные участки чередуются с рекреационными (рис. 51); выращивание водорослей только в те сезоны, когда влияние марикультуры на естественные бентосные сообщества минимально; культивирование водорослей в открытом море; выращивание водорослей в экстенсивной марикультуре, построенной на эффективной эксплуатации естественных зарослей.

В марикультуре используются не только местные виды водорослей, но и виды, интродуцированные из других морей, а также гибридные формы. При определенных условиях интродуцированные виды водорослей, их эпифиты, а также животные и бактерии, перенесенные вместе с



Рис. 51. Культивирование грацилярии на сетках в лагуне Хасанского района (Приморье, Россия)



Рис. 52. Побережье Желтого моря (г. Далянь, Китай), загрязненное выбросами *S. japonica* с близлежащих плантаций, октябрь 2008 г.

водорослями, могут внедряться в естественные сообщества, изменяя их в большей или меньшей степени. Примерами такой интродукции могут служить внедрение зеленой водоросли *Caulerpa taxifolia* в донные сообщества Средиземного моря или зарастание скального грунта открытых мест Желтого моря в Китае *Saccharina japonica*, попавшей сюда с марикультурных плантаций (рис. 52).

4.2.2. ВОПРОСЫ И ПРОБЛЕМЫ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ МАРИКУЛЬТУРЕ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ

К настоящему времени не создано метода высокоэффективной интегрированной марикультуры, полностью решающего такую проблему, как загрязнение окружающей среды. Все опробованные методы в той или иной степени снижают уровень загрязнения, однако не повышают эффективности и рентабельности производства (Troell et al., 2008). Одной из причин медленного внедрения в производство интегрированной марикультуры являются трудноразрешимые проблемы биологической фильтрации, и здесь пока еще много нерешенных вопросов (Troell et al., 2003). Какими должны быть биологические, физиологические и биохимические особенности водорослей при культивировании в различных системах: открытых, закрытых, с травоядными животными и без них? Каковы основные принципы и детали работы биологического фильтра, созда-

ющего на основе использования водорослей-макрофитов? Какое влияние оказывают местные факторы среды (климат, грунт, течения, штормы, естественные биоценозы и др.) на интегрированное культивирование водорослей с целью биофильтрации и производства биомассы? Как влияют промышленные системы интегрированной марикультуры на местные водные и наземные биоценозы? Каковы технические возможности, цена, экологическая безопасность и социальное значение создаваемых систем промышленной биофильтрации отходов, получаемых при массовом культивировании рыб, моллюсков и ракообразных?

В последние годы наблюдается определенный прогресс в решении некоторых из поставленных вопросов. Экспериментально показано, что при интегрированной макультуре, построенной даже на двух объектах культивирования (животных, загрязняющих среду твердыми и жидкими отходами, и растений, использующих эти отходы в пищу), уменьшается загрязнение среды и увеличивается эффективность производства (Troell et al., 2003). При введении в культуру третьего объекта (травоядных животных) значительно повышается экономическая эффективность производства за счет поедания водорослей этими животными. Показано, что наилучшими биофильтраторами, извлекающими из воды растворенные отходы, содержащие соединения азота и фосфора, являются макроводоросли, а среди них – виды родов *Gracilaria* и *Ulva* (Troell et al., 2003).

Хотелось бы надеяться, что интегрированная марикультура с включением в процесс макроводорослей в скором будущем станет основным способом выращивания как морских животных, так и растений.



А.А. Калугина-Гутник и Ле Нгуен Хиеу с докладом о саргассах Вьетнама на борту НИС "Академик Несмеянов", 1986 г.