

УДК 582.272:639.294+543.2(265.54)

Н.М. Аминина*

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Приведены сравнительные данные по запасам промысловых и перспективных для промысла бурых водорослей и распределению их вдоль побережья Дальнего Востока. Общая биомасса бурых водорослей в традиционных районах промысла составляет не менее 3,5 млн т. Значительная доля приходится на *Saccharina japonica*, *Saccharina gurjanovae*, *Cystoseira crassipes*. В настоящее время эти виды водорослей, а также *Saccharina bongardiana*, *Arthrothamnus bifidus*, *Eualaria fistulosa* по запасам и химическому составу относятся к наиболее ценным для промысла и переработки. Для большинства видов показано, что содержание белка и минеральных веществ выше у водорослей из прибрежных вод юго-западной части Сахалина. Маннито и альгиновой кислоты больше накапливается у водорослей из прибрежных вод п-ова Камчатка и Приморья. Дана характеристика районов добычи водорослей по содержанию в них токсичных элементов. Оценка показателей безопасности бурых водорослей позволяет считать основные районы промысла на Дальнем Востоке пригодными для их добычи и переработки. Незначительное превышение допустимого уровня свинца (более 0,5 мг/кг) обнаружено у бурых водорослей, произрастающих в прибрежных водах Приморского края, а также в единичных случаях в акваториях городов и поселков зал. Анива (о. Сахалин).

Ключевые слова: дальневосточное побережье, бурые водоросли, запасы, химический состав, токсичные элементы.

Aminina N.M. Comparative description of brown algae from the coastal zone of Far East // Izv. TINRO. — 2015. — Vol. 182. — P. 258–268.

Data on stock and distribution of commercial and prospective for harvesting brown algae at the coast of Russian Far East are presented and compared. Their total biomass in the traditional harvesting grounds prevails 3.5 million tons. *Saccharina japonica*, *Saccharina gurjanovae*, *Cystoseira crassipes* have the highest biomass. However, taking into account both the stock and chemical composition of the tissues, *Saccharina bongardiana*, *Arthrothamnus bifidus*, and *Eualaria fistulosa* are the most profitable for harvesting and processing. The algae from the coastal waters of south-western Sakhalin have generally higher content of valuable proteins and minerals, but the content of mannitol and alginic acid is higher in the algae from the coastal waters of Kamchatka and Primorye. Contamination of the algae by toxic elements is considered, as well: in general, the safety indicators allow to regard all basic harvesting grounds of brown algae in the Far Eastern waters as suitable for commercial exploitation, though insignificant excess of the permissible level of lead (0.5 mg/kg) is detected for the brown algae from the coastal waters of Primorye and several sites in the Aniva Bay (southern Sakhalin).

Key words: Far Eastern coast, brown alga, stock, chemical composition, toxic element.

* Аминина Наталья Михайловна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, e-mail: aminina@tinro.ru.

Aminina Natalia M., Ph.D., head of laboratory, e-mail: aminina@tinro.ru.

Введение

Во многих прибрежных странах морские водоросли, особенно бурые, являются важной экономической составляющей. В Японии, например, производство продукции из бурых водорослей («Вакаме» и «Комбу») варьирует в пределах 1200 дол./год. По данным ФАО, в 2012 г. мировая добыча водорослей из естественных популяций достигла 1,1 млн т. За счет продукции аквакультуры общее количество используемых водорослей составляет более 20 млн т в год. Сфера их применения обширна: от непосредственного употребления в пищу до применения в качестве источника веществ для пищевой промышленности, фармакологии, медицины, сельского хозяйства. Наиболее важной областью использования водорослей является получение из них полисахаридов (фиикоколлоидов) для различных областей промышленности. Например, мировое производство альгината из бурых водорослей в 2009 г. составило 26,5 тыс. т (318 млн дол.). Основное количество альгинатов получают в Китае, Норвегии, США, Франции, Англии. В этой области Россия, обладающая огромными водорослевыми ресурсами, значительно отстает от ведущих производителей.

В морях Дальнего Востока произрастает более 150 видов бурых водорослей, заросли которых образуют водорослевые пояса вдоль всего дальневосточного побережья. С экономической точки зрения наибольшую ценность представляют макрофиты, относящиеся к двум порядкам — *Laminariales* Kylin (ламинариевые) и *Fucales* Kylin (фукусовые). Их основные запасы сосредоточены вдоль побережья Дальнего Востока и оцениваются в 25–28 млн т (Суховеева, Подкорытова, 2006). В России квотируются или рекомендуются к добыче (вылову) 19 видов водорослей, но добываются в настоящее время единичные виды (Вилкова, 2010). В результате общие запасы промысловых ламинариевых водорослей в морях Дальнего Востока в 2011 г. были оценены приблизительно в 1 млн т*. Ресурсными исследованиями охвачено около 40 % промысловых и потенциально промысловых районов, причем исследования ежегодно проводятся в одних и тех же местах (Вилкова, 2010), поэтому представление об общем современном запасе морских макрофитов на Дальнем Востоке приблизительно и ресурсный потенциал достоверно неизвестен.

В работе предпринята попытка оценить современное состояние ресурсов промысловых и перспективных для промысла бурых водорослей дальневосточных морей с учетом исследований последних лет. Перспективность их добычи определяется не только на основании данных по запасам, но и путем сравнительного анализа химического состава водорослей из различных районов дальневосточного побережья. При этом особое внимание уделяется экологической составляющей этих исследований, позволяющей оценить перспективность для добычи водорослей основных промысловых районов.

Материалы и методы

В работе использованы литературные данные и результаты собственных исследований. Образцы водорослей были собраны в июле-августе 2008-2012 гг. в Авачинском заливе (п-ов Камчатка), зал. Анива (о. Сахалин) и в прибрежных водах Приморского края. Образцы высушивали при комнатной температуре, измельчали на кусочки размерами около 1–5 мм и проводили исследования химического состава.

Содержание влаги, минеральных веществ, маннита, альгиновых кислот, йода определяли стандартными методами согласно ГОСТу 26185 (1984). Содержание макро- и микроэлементов в водорослях определяли на пламенно-эмиссионном спектрофотометре «Nippon Jarrell Ash», модель AA-855; As и Cd — в графитовой кювете на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-6800. Подготовку проб для анализа проводили согласно Методическим рекомендациям ... (1987).

* Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2013 г. (краткая версия). Владивосток: ТИНРО-центр, 2013.

Статистическую обработку результатов полученных данных осуществляли на основе подсчета средних значений показателей и стандартной средней ошибки.

Результаты и их обсуждение

Данные по запасам промысловых и перспективных для промысла водорослей в отдельных районах дальневосточного побережья приведены в табл. 1.

Таблица 1
Общие запасы промысловых и перспективных для промысла бурых водорослей дальневосточного побережья, тыс. т

Table 1

Stocks of brown algae at the coast of Russian Far East, 10³ t

Район	Запасы	Источник данных
Восточное побережье Камчатки	300–350	Шунтов, 2001
Юго-восточное побережье Камчатки	180	Блинова, Гусарова, 1971
Северные Курильские острова	257,9	Огородников, 2007
Южные Курильские острова, В т.ч. Малая Курильская гряда	1065 759,4	Евсеева, 2009 «
Шантарские острова	370–420	Потехина, 1973
Юго-восточная часть о. Сахалин	694	Блинова и др., 1999

Наиболее продуктивные заросли бурых водорослей расположены в районе южных Курильских островов, где общая биомасса промысловых видов оценивается в 641,3 тыс. т*. По последним данным (Евсеева, Репникова, 2010) только в районе Малой Курильской гряды запас промысловых и перспективных для промысла водорослей составляет 924,3 тыс. т.

Оценка запасов промысловых водорослей часто основана на результатах исследований, проведенных в конце XX столетия. В Охотском море крупные запасы промысловых водорослей были обнаружены около Шантарских островов (Потехина, 1973). В настоящее время альгологические исследования проводятся лишь в отдельных участках материкового побережья Охотского моря. Так, суммарный запас промысловой ламинарии в пределах всей Северо-Охотоморской подзоны определен в 76,2 тыс. т, в юго-восточной части побережья Сахалина — в 40,0 тыс. т*.

Прибрежье западной Камчатки остается наименее изученным среди других районов северной части Охотского моря. Основные альгологические съемки проводились со стороны восточной Камчатки. Здесь наиболее водорослевым является корфо-карагинский район Берингова моря (Шунтов, 2001).

Регулярные исследования запасов промысловых водорослей проводятся в Японском море в прибрежье Приморья. Общая биомасса промысловых и перспективных для промысла макрофитов здесь оценена в 130–150 тыс. т (Кулепанов и др., 2005).

В остальных районах дальневосточного побережья запасы водорослей рассредоточены на гораздо большем пространстве и данные по их биомассе отсутствуют. Но даже на основании проведенных исследований общий запас бурых водорослей в промысловых районах можно оценить в объеме не менее 3 млн т, что вполне достаточно для организации устойчивого промысла и переработки водорослей на побережье Дальнего Востока. Например, лишь треть этого количества (880 тыс. т) нужно для получения пищевого загустителя (альгината) в объемах мирового производства. Однако выпуск альгината в России практически отсутствует, потребности нашей страны покрываются за счет его импорта, в основном из Китая.

Запасы промысловых водорослей можно оценить по биомассе отдельных видов макрофитов (табл. 2). Названия водорослей приводятся так, как они представлены в большинстве источников, в скобках даны таксономические синонимы в соответствии с генетическими исследованиями последних лет (www.algaebase.org). Данные по запасам бурых водорослей различаются не только по районам, но и по годам (табл. 2).

* Состояние промысловых ресурсов, 2013.

Оценка их в последнее десятилетие стала намного скромнее, хотя промысел в 2000-е гг. значительно сократился.

Таблица 2
Запасы отдельных видов ламинариевых водорослей дальневосточного побережья, тыс. т
Table 2
Stocks of *Laminariales* species at the coast of Russian Far East 10³ t

Вид	Район	Запасы	Источник данных
<i>Laminaria japonica</i> (<i>Saccharina japonica</i>)	Южные Курилы	426,1	Евсеева, Репникова, 2010
	Юго-восточный Сахалин	171	Блинова и др., 1999
	Зал. Анива	47,8	Евсеева, Репникова, 2010
	Юго-западный Сахалин	203	Блинова и др., 1999
	Приморье	15,8	Евсеева, Репникова, 2010
		65	Кулепанов и др., 2005
		170	Киреева, 1962
		100–300	Суховеева, 1969
<i>Laminaria gurjanovae</i> (<i>Saccharina gurjanovae</i>)	Шантарские острова	300–350	Потехина, 1973
	Материковая часть Охотского моря	50–70	Гусарова и др., 1993
		76	Состояние ..., 2013*
<i>Laminaria bongardiana</i> (<i>Saccharina bongardiana</i>)	Северные Курилы	62,4	Огородников, 2003
<i>Laminaria angustata</i> (<i>Saccharina angustata</i>)	Южные Курилы	281,4	Евсеева, Репникова, 2010
		50–200	Гусарова и др., 1993
<i>Laminaria yezoensis</i>	«	76,1	Евсеева, Репникова, 2010
<i>Cymathaere japonica</i> (<i>Saccharina kurilensis</i>)	«	83,8	Евсеева, Репникова, 2010
<i>Arthrothamnus bifidus</i>	Северные Курилы	89,1	Евсеева, 2005
	Северные и средние Курилы	200–250	Гусарова и др., 1993
	Южные Курилы	40,9	Евсеева, Репникова, 2010
	«	100–150	Гусарова и др., 1993
<i>Alaria fistulosa</i> (<i>Eualaria fistulosa</i>)	Северные Курилы	47,7	Огородников, 2003
	Северные и средние Курилы	2500–3000	Гусарова и др., 1993
	Южные Курилы	68,3	Евсеева, Репникова, 2010
<i>Alaria marginata</i>	«	68,3	Евсеева, 2009
<i>Arthrothamnus kurilensis</i>	О. Итуруп	104,2	Евсеева, 2009
	Северные и средние Курилы	150–200	Гусарова и др., 1993
<i>Kjellmaniella crassifolia</i> (<i>Saccharina sculperpa</i>)	Юго-западный Сахалин	30,4	Клочкова, 1996
<i>Costaria costata</i>	Южные Курилы	35,1	Евсеева, Репникова, 2010
	Приморье	14,8	Кулепанов и др., 2005
		5–10	Гусарова и др., 1993
<i>Agarum cribrosum</i> = <i>Agarum clathratum</i>	Южные Курилы	5–10	Гусарова и др., 1993
		62	Евсеева, Репникова, 2010
<i>Cystoseira crassipes</i>	О. Зеленый	40	Евсеева, 1997
	Приморье	1,0	Кулепанов и др., 2005
	Магаданская область и Хабаровский край	800	Суховеева, 1976
<i>Fucus evanescens</i>	Северо-западное побережье Охотского моря	75	Тюрнин, 1969

* Состояние промысловых ресурсов, 2013.

В Беринговом море наиболее продуктивными считаются ламинариевые водоросли. В самом северном районе — в Анадырском заливе — запасы *Saccharina* = *Laminaria gurjanovae* оценивались в 200 тыс. т (Толстикова, 1982). Значительные заросли *S. gurjanovae* сосредоточены в Охотском море у Шантарских островов (Потехина, 1973; Гусарова и др., 1993). Среди остальных доминирующих представителей здесь преобладают *Alaria marginata*, *Cystoseira crassipes*.

В районе побережья Камчатки основным промысловым видом является *Saccharina* = *Laminaria bongardiana*, однако информация по ее запасам в настоящее время отсутствует. По экспертной оценке общие запасы этой водоросли в российских водах Дальнего Востока составляют 500–700 тыс. т (Суховеева, Подкорытова, 2006). Известно, что в прибрежных водах Командорских островов ее биомасса достигает 7 кг/м² (Клочкова, Березовская, 1997), а у северных Курильских островов — 128 кг/м² (Огородников, 2003). Из других видов бурых водорослей в районе северных Курильских островов наиболее значимые запасы имеют *Arthrothamnus bifidus* и *Eualaria* = *Alaria fistulosa*. По экспертной оценке И.С. Гусаровой с соавторами (1993) запасы *E. fistulosa* в прибрежных водах северных и средних Курильских островов составляют 2,5–3,0 млн т.

Считается, что в прибрежных зонах Магаданской области и Хабаровского края находятся огромные запасы *C. crassipes* — около 800 тыс. т (Суховеева, 1976). Более поздняя оценка дает ее массу на уровне 7,5 млн т (Гусарова и др., 1993). Данные по запасам этой водоросли в последние десятилетия отсутствуют. В этом районе также отмечены значительные скопления *Fucus evanescens* (Тюрнин, 1969). Этот вид фукусовых водорослей распространен во всех дальневосточных морях, и запасы его по экспертной оценке составляют 500–700 тыс. т (Суховеева, Подкорытова, 2006).

От южных Курильских островов и до юга Приморского края основным промысловым видом является *Saccharina* = *Laminaria japonica*. По последним данным общий запас *S. japonica* в прибрежной зоне южных Курильских островов составил 426,1 тыс. т (Евсеева, Репникова, 2010). С 1988 по 1992 г. в районе островов Малой Курильской гряды промысел водорослей проходил с помощью нетрадиционного орудия лова (фиктена), что вызвало сокращение запасов на 88,7 % (Евсеева, 2005). Позже отсутствие здесь промысла с 1993 г. привело к медленному восстановлению зарослей ламинариевых водорослей до уровня 1988 г. Из других промысловых водорослей преобладают *Saccharina* = *Laminaria angustata*, *Saccharina kurilensis* (*Cymathaere japonica*). Из перспективных для промысла макрофитов значительную биомассу имеют *Arthrothamnus kurilensis*, *E. fistulosa*, *A. marginata*.

В прибрежных водах о. Сахалин *S. japonica* составляет основу зарослей, ее крупные запасы были определены около юго-западной и юго-восточной оконечностей острова (Блинова и др., 1999). Из потенциально промысловых водорослей можно выделить *Saccharina sculerpa* (*Kjellmaniella crassifolia*), ориентировочный запас которой в районе Татарского пролива (пос. Перепутье — мыс Крильон) составлял 30,4 тыс. т (Клочкова, 1996).

В Японском море основным промысловым видом также является *S. japonica*. В северной части Татарского пролива у материкового берега на 500-километровом участке от мыса Золотого до мыса Южного запасы трех видов (*S. japonica*, *S. sculerpa*, *Alaria ochotensis*) определены в 65,5 тыс. т (Дуленин, 2008). Массовыми видами побережья Приморья являются *S. japonica* (65,0 тыс. т), *Costaria costata* (14,8 тыс. т), *C. crassipes* (1,0 тыс. т) (Кулепанов и др., 2005).

Таким образом, с точки зрения современных данных наибольшую биомассу и распространенность среди промысловых видов имеет *S. japonica*. Значительные запасы в районе Курильских островов определены для *S. angustata*, *A. bifidus*, *A. kurilensis*, *E. fistulosa*. Более ранние исследования указывают на значительные запасы *S. gurjanovae* и фукусовых водорослей. По экспертной оценке М.В. Суховеевой (Суховеева, Подкорытова, 2006) в дальневосточных морях максимальную биомассу среди бурых водорослей имеет *C. crassipes*, на втором месте стоит *E. fistulosa*. Практически такую же биомассу, как и *S. japonica*, имеют *S. bongardiana* и *S. gurjanovae*.

Химический состав бурых водорослей различных районов Дальнего Востока достаточно подробно изучен, что позволяет определить перспективность их видового состава для промысла и переработки. Наиболее ценными с этой точки зрения можно считать *S. japonica*, *S. bongardiana*, *C. crassipes*, *F. evanescens*, а также *S. gurjanovae*, *L. yezoensis*, *Saccharina dentigera* (*Laminaria dentigera*) (Аминина, 2010). Из потенциально промысловых по химическому составу можно выделить *A. bifidus*, *S. sculerpa*.

Следовательно, и по запасам, и по химическому составу *S. japonica*, *S. bongardiana*, *C. crassipes*, *S. gurjanovae* являются наиболее ценными для промысла и переработки.

С хозяйственной точки зрения важным показателем продуктивности водорослей является количество органических веществ в них на момент добычи водорослей (или сбора урожая). Для растений существуют определенные фенологические циклы развития, в соответствии с которыми меняются основные биологические и биохимические характеристики организма. На примере культивируемой *S. japonica* было установлено, что в Японском море на юге Приморья весной в водорослях происходит постепенное накопление белка, которое достигает максимума к моменту сбора урожая (июнь) (Аминина, Подкорытова, 1992). При этом максимальное количество углеводов, главным образом альгината, образуется к концу лета.

Физиологическое состояние и химический состав водорослей зависят от климатических и физических условий произрастания, изменяются под влиянием неблагоприятных абиотических и биотических факторов. Многолетние исследования химического состава водорослей-макрофитов дальневосточного побережья свидетельствуют о значительных вариациях в содержании основных минеральных и органических веществ. Эти изменения можно рассматривать как адаптационные для каждого конкретного района обитания. В то же время сравнительные исследования водорослей из разных районов дальневосточного побережья позволили выявить определенные географические закономерности в накоплении органических веществ. В среднем их максимальное количество могут синтезировать ламинариевые, произрастающие в прибрежных водах Камчатки и Приморского края (табл. 3).

Таблица 3
Химический состав ламинариевых водорослей, произрастающих в различных районах дальневосточного побережья, % на сухое вещество

Table 3
Chemical composition of *Laminariales* from certain areas at the coast of Russian Far East, % DW

Район сбора	Органические вещества, в том числе	маннит	белок (Nx6,25)	альгиновая кислота	Минеральные вещества
Юго-западная часть Камчатки	71,1–81,0	8,2–13,2	5,1–18,0	23,5–33,7	19,0–28,9
Юго-западная часть Сахалина	69,6–73,3	6,7–13,6	9,6–19,2	22,3–30,0	26,7–30,4
Приморский край	71,9–82,7	10,8–16,9	6,1–13,5	24,1–31,4	16,3–28,1

Максимальное количество белка обнаружено в водорослях, произрастающих около побережья Сахалина, маннита — в водорослях прибрежных вод Приморского края. Содержание альгиновой кислоты, которая является основным структурным компонентом тканей бурых водорослей, в среднем мало различается между видами водорослей, произрастающих в разных районах дальневосточного побережья.

Видовой состав водорослей дальневосточных морей различается, но некоторые виды, например *Agarum clathratum*, встречаются повсеместно. В табл. 4 приведены результаты исследований химического состава макрофитов, собранных в летние месяцы в различных районах дальневосточного побережья.

Установлено более высокое содержание минеральных веществ в водорослях юго-западной части Сахалина по сравнению с водорослями юго-западной части побережья Камчатки и побережья Приморского края. Для большинства видов показано, что содержание маннита у водорослей из Японского моря выше, чем у водорослей, произрастающих около юго-западных частей Сахалина и Камчатки. Количество же белка обычно выше у водорослей из прибрежных вод юго-западной части Сахалина.

Давно известно, что содержание йода в морских водорослях зависит не только от условий произрастания, но и от их таксономического положения: больше всего его накапливают бурые водоросли, меньше всего — зеленые (Виноградов, 1965). Различия по содержанию йода были обнаружены у бурых водорослей, относящихся к разным

Таблица 4

Сравнительная характеристика химического состава отдельных видов бурых водорослей дальневосточного побережья, % на сухое вещество

Table 4

Comparative description of chemical composition for certain brown alga species from the coast of Russian Far East, % DW

Название вида	Район обитания	Альгиновая кислота	Маннит	Белок (Nx6,25)	Минеральные вещества	Йод
<i>Saccharina gurjanovae</i>	Юго-западная часть Камчатки	25,0 ± 4,3	10,2 ± 2,5	4,1 ± 2,3	20,2 ± 4,6	0,20 ± 0,03
	Юго-западная часть Сахалина	25,7 ± 4,4	10,0 ± 2,4	8,6 ± 3,5	26,7 ± 5,4	0,40 ± 0,20
<i>Agarum clathratum</i>	Юго-западная часть Камчатки	23,5 ± 4,9	8,2 ± 3,1	16,0 ± 3,1	25,3 ± 3,6	0,04 ± 0,02
	Юго-западная часть Сахалина	22,3 ± 2,2	8,4 ± 2,4	18,2 ± 1,8	29,5 ± 3,5	0,03 ± 0,01
	Приморский край	27,8 ± 2,8	12,4 ± 1,8	13,5 ± 1,9	16,3 ± 4,4	0,05 ± 0,01
<i>Alaria marginata</i>	Юго-западная часть Камчатки	30,0 ± 3,5	10,5 ± 2,9	10,0 ± 2,2	25,9 ± 3,1	0,07 ± 0,03
	Юго-западная часть Сахалина	23,4 ± 3,6	9,8 ± 1,8	12,9 ± 1,1	30,3 ± 4,2	0,08 ± 0,03
<i>Saccharina japonica</i>	Юго-западная часть Сахалина	28,2 ± 3,6	9,2 ± 2,2	9,8 ± 2,4	24,2 ± 3,2	0,25 ± 0,04
	Приморский край	31,1 ± 3,2	13,3 ± 3,3	8,5 ± 1,0	20,6 ± 4,6	0,27 ± 0,05
<i>Saccharina sculerpa</i>	Юго-западная часть Сахалина	28,5 ± 2,2	11,7 ± 2,1	12,1 ± 1,9	30,5 ± 3,2	0,12 ± 0,02
	Приморский край	29,1 ± 3,9	12,3 ± 3,2	10,4 ± 2,1	26,6 ± 3,4	0,11 ± 0,05

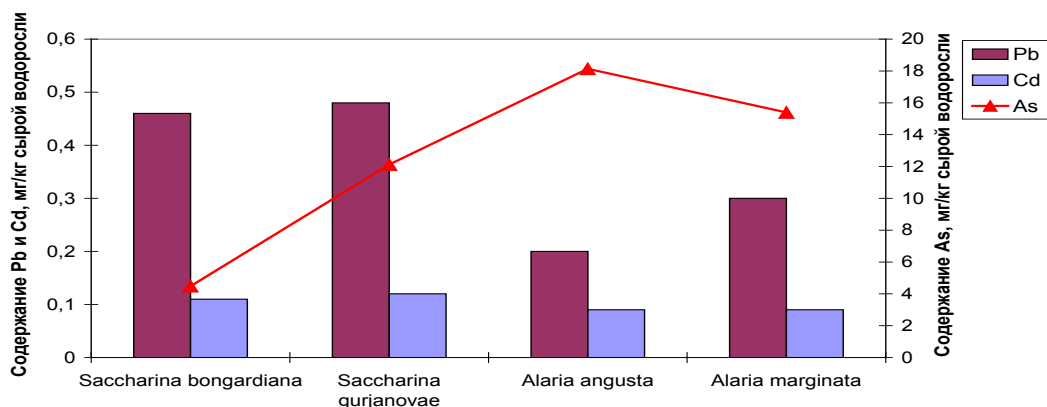
порядкам. Водоросли из порядка Fucales накапливают йода в 10–125 раз меньше по сравнению с основными промысловыми водорослями из рода *Laminaria* (*Saccharina*) (Аминина и др., 2007). Обнаружены и межродовые различия по содержанию йода внутри порядков. Независимо от места произрастания водоросли из рода *Laminaria* (*Saccharina*) содержат йода больше, чем водоросли других родов. *S. sculerpa*, *A. marginata* накапливают йода меньше, чем *S. gurjanovae*, *Laminaria longipes*, *S. japonica*. Концентрация йода в водорослях из рода *Agarum* и *Costaria* находится в пределах сотых процента (0,01–0,05), что на порядок ниже, чем у водорослей из рода *Laminaria* или *Saccharina*.

Важной характеристикой морских водорослей как пищевого сырья является содержание в них токсичных элементов, таких как свинец, кадмий, ртуть, мышьяк. Вопросам содержания тяжелых металлов в водорослях посвящено довольно много работ, в большей части которых макрофиты рассматриваются как объекты мониторинга окружающей среды (Христофорова, 1989). Однако взаимосвязь между содержанием металлов в водорослях и их концентрацией в местах обитания не всегда удается установить (Sharp et al., 1988). Значимая связь обнаруживается только в акваториях, где наблюдается значительный и постоянно повышенный уровень растворенных металлов вследствие замедленного водообмена и/или масштабного поступления, как, например, в Японском море в бухте Рудной на севере Приморского края (Коженкова и др., 2000; Шулькин, 2004).

Нами были определены концентрации токсичных элементов в промысловых водорослях, произрастающих в основных промысловых районах Дальнего Востока: Авачинский залив (п-ов Камчатка), зал. Анива (о. Сахалин), прибрежные воды Приморского края. Чаще всего в этих районах обнаруживается и самый высокий уровень антропогенного загрязнения.

В результате установлено, что в водорослях из всех исследованных районов содержание кадмия и ртути на порядок ниже допустимого уровня (ПДУ), установленного ТР ТС 021/2011 (соответственно менее 1,0 и 0,1 мг/кг). Проблематичнее обстоит дело с накоплением в водорослях свинца и мышьяка. Современные методы исследований

используют высокочувствительные приборы (атомно-адсорбционные спектрофотометры, хроматографы, масс-спектрометры), показывающие реальную картину накопления различных элементов, в том числе токсичных, в водорослях. В заливах Авачинский и Анива концентрация свинца в промысловых водорослях находится в пределах ПДУ, за исключением единичных случаев, но содержание мышьяка часто значительно превышает норму (0,5 мг/кг). Концентрации токсичных элементов могут различаться у близкородственных видов водорослей, произрастающих в одном месте. Так, в прибрежных водах Камчатки около мыса Маячного свинца и кадмия накапливается больше в ламинариевых водорослях, мышьяка — в алариевых (см. рисунок).



Содержание токсичных элементов в промысловых водорослях Авачинского залива, собранных в августе 2011 г.

Content of toxic elements in tissues of commercial brown algae from the Avachinsky Bay, mg/kg WW (collected in August, 2011)

Мониторинг уровня токсичных элементов в водорослях дальневосточного побережья в течение 2008–2012 гг. показал, что в зал. Анива (о. Сахалин) больше всего свинца присутствует в *S. japonica* в прибрежных водах г. Корсаков и окружающих его поселков. В остальных местах залива его количество в водорослях не превышает норму. В большинстве образцов *S. japonica*, добытых в различных районах Приморья, концентрация свинца приближается к ПДУ или превышает эту норму, что, скорее всего, свидетельствует о достаточно высокой антропогенной нагрузке в этой части Японского моря. Содержание мышьяка во многих образцах водорослей, произрастающих вдоль побережья Приморского края, как и в водорослях из заливов Анива и Авачинского, может значительно превышать допустимый уровень (табл. 5).

Каких-то закономерностей по накоплению мышьяка в водорослях в зависимости от степени загрязнения места обитания растений выявить не удалось. В связи с тем что в некоторых исследованных районах дальневосточного побережья антропогенная нагрузка практически отсутствует, можно предположить, что высокие концентрации мышьяка в бурых водорослях физиологически обоснованы и являются их специфической характеристикой. Исследованиями последних лет показано, что в водорослях основная часть мышьяка входит в состав органических веществ (углеводов, липидов) и является нетоксичной для живых организмов, и в первую очередь для человека (Kaise, Fukui, 1992; Shiomi, 1994). Поэтому существующий в настоящее время предельно допустимый уровень общего мышьяка (5 мг/кг) в водорослях и других морских гидробионтах должен быть пересмотрен в соответствии с современными требованиями. На основании своих исследований и данных других авторов установлено, что содержание токсичного мышьяка (в виде его неорганической формы) в промысловых и потенциально промысловых водорослях России не превышает 30 % от общего содержания мышьяков, но обычно находится в пределах нескольких процентов. Повышение ПДУ общего мышьяка до значения 15 мг/кг гарантирует безопасность добываемого сырья и снимет напряженность с промысла российских водорослей. Вторым путем решения

Таблица 5

Содержание мышьяка в бурых водорослях дальневосточного побережья, мг/кг

Table 5

Arsenic content in tissues of brown algae from the coast of Russian Far East, mg/kg WW

Название вида	Район отбора проб	Содержание As (ПДУ — 5,0 мг/кг, не более)
П-ов Камчатка		
<i>S. bongardiana</i>	Бухта Безымянная	16,4
	Бухта Виллючинская	22,2
	Бухта Шлюпочная	19,9
	Бухта Спасения	25,2
	Мыс Маячный	4,5
<i>S. gurjanovae</i>	«	12,1
<i>S. angustata</i>	«	18,1
<i>A. marginata</i>	«	15,4
О. Сахалин		
<i>S. japonica</i>	Р-он 1, 2, 3 Падей	17,7
	Мыс Анастасии	12,8
	Пос. Пригородное	8,3
	Пос. Озерский	20,1
	Мыс Скальный	9,4
<i>S. gurjanovae</i>	Р-он 1, 2, 3 Падей	11,9
	Мыс Анастасии	5,5
	Мыс Мраморный	18,1
<i>A. marginata</i>	«	12,0
Приморский край		
<i>S. japonica</i>	Мыс Сосунова	20,0
	Зал. Ольги	13,0
	Бухта Киевка	18,0
	Бухта Валентина	22,0
	Бухта Анна	18,6
	Мыс Поворотный	4,13
	Мыс Зеленый	19,8
	Бухта Краковка	7,71

этой проблемы является введение новых методов определения не общего мышьяка, а неорганического, тогда его ПДУ 5 мг/кг остается без изменений. Проблемой снятия ограничений с добычи морских организмов (особенно ракообразных), в которых накапливается больше 5 мг/кг общего мышьяка, научно-исследовательские институты рыбного хозяйства занимаются уже несколько лет, и в настоящее время имеются все предпосылки для ее решения.

Заключение

В прибрежных водах п-ова Камчатка, Шантарских и Курильских островов и о. Сахалин сосредоточены самые значительные запасы бурых водорослей, главным образом представителей порядка ламинариевых. По последним данным общая биомасса бурых водорослей в традиционных районах промысла составляет не менее 3,5 млн т. Значительная их доля приходится на *S. japonica*, *S. gurjanovae*, *C. crassipes*. В настоящее время эти виды водорослей, а также *S. bongardiana*, *A. bifidus*, *E. fistulosa* по запасам и химическому составу относятся к наиболее ценным для промысла и переработки.

Сравнительные исследования отдельных видов водорослей из разных районов дальневосточного побережья позволили выявить определенные географические закономерности в накоплении органических веществ. В среднем их максимальное количество могут синтезировать ламинариевые, произрастающие в прибрежных водах

Камчатки и Приморского края. Для большинства видов показано, что содержание белка и минеральных веществ выше у водорослей из прибрежных вод юго-западной части Сахалина. Маннита и альгиновой кислоты больше накапливается у водорослей из прибрежных вод п-ова Камчатка и Приморья.

Оценка показателей безопасности бурых водорослей позволяет считать основные районы промысла на Дальнем Востоке пригодными для их добычи и переработки. Незначительное превышение допустимого уровня свинца (более 0,5 мг/кг) обнаружено у бурых водорослей, произрастающих в прибрежных водах Приморского края, а также в единичных случаях в акваториях городов и поселков зал. Анива (о. Сахалин).

Список литературы

- Аминина Н.М.** Биологическая ценность морских водорослей дальневосточного побережья // Рыбпром. — 2010. — № 3. — С. 32–35.
- Аминина Н.М., Вишневская Т.И., Гурулева О.Н., Ковековдова Л.Т.** Состав и возможности использования бурых водорослей дальневосточных морей // Вестн. ДВО РАН. — 2007. — № 6. — С. 123–130.
- Аминина Н.М., Подкорытова А.В.** Сезонная динамика химического состава *Laminaria japonica*, культивируемой у берегов Приморья // Растит. ресурсы. — 1992. — Т. 28, вып. 3. — С. 137–140.
- Блинова Е.И., Гусарова И.С.** Водоросли сублиторали юго-восточного побережья Камчатки // Изв. ТИНРО. — 1971. — Т. 76. — С. 139–155.
- Блинова Е.И., Сабурин М.Ю., Штрик В.А.** Макрофитобентос прибрежных вод юго-западного Сахалина и острова Монерон // Прибрежные гидробиологические исследования : сб. тр. ВНИРО. — М., 1999. — С. 60–70.
- Вилкова О.Ю.** Место России в мировой добыче морских водорослей // Рыбпром. — 2010. — № 3. — С. 4–8.
- Виноградов А.П.** Микроэлементы и задачи науки // Агрохимия. — 1965. — № 8. — С. 20–31.
- Гусарова И.С., Суховеева М.В., Жмакин А.Ф.** Водоросли-макрофиты // Гидрометеорология и гидрохимия морей. — Т. 9 : Охотское море, вып. 2 : Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — СПб. : Гидрометеоиздат, 1993. — С. 145–154.
- Дуленин А.А.** Распределение макрофитобентоса в условиях сублиторали северо-западной части Татарского пролива : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2008. — 24 с.
- Евсеева Н.В.** Влияние интенсивного промысла на состояние ресурсов промысловых бурых и красных водорослей южных Курильских островов // Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки : мат-лы 2-й междунар. науч.-практ. конф. — М. : ВНИРО, 2005. — С. 39–41.
- Евсеева Н.В.** Макрофитобентос прибрежной зоны южных Курильских островов: состав, распределение и ресурсы : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 2009. — 24 с.
- Евсеева Н.В.** Состояние зарослей и ресурсы промысловых водорослей в прибрежье островов Малой Курильской гряды // Растит. ресурсы. — 1997. — Т. 33, вып. 4. — С. 98–105.
- Евсеева Н.В., Репникова А.Р.** Ресурсы промысловых водорослей Сахалино-Курильского региона // Рыбпром. — 2010. — № 3. — С. 14–21.
- Киреева М.С.** Состояние запасов морских водорослей и высшей растительности и их размещение в морях Советского Союза // Тр. Всесоюз. совещ. работников водорослевой промышленности СССР. — Архангельск : Архангельское кн. изд-во, 1962. — Т. 1. — С. 5–14.
- Ключкова Н.Г.** Флора водорослей-макрофитов Татарского пролива (Японское море) и особенности ее формирования : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 1996. — 290 с.
- Ключкова Н.Г., Березовская В.А.** Водоросли камчатского шельфа. Распространение, биология и химический состав : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 1997. — 154 с.
- Коженкова С.И., Христофорова Н.К., Чернова Е.Н.** Долговременный мониторинг загрязнения морских вод северного Приморья тяжелыми металлами с помощью бурых водорослей // Экология. — 2000. — № 3. — С. 233–237.
- Кулепанов В.Н., Жильцова Л.В., Дзизюров В.Д.** Запасы макрофитов у побережья Приморья и их рациональная эксплуатация // Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки : мат-лы 2-й междунар. науч.-практ. конф. — М. : ВНИРО, 2005. — С. 53–56.

Методические рекомендации по подготовке проб объектов внешней среды и рыбной продукции к атомно-абсорбционному определению токсичных металлов / сост. Л.Т. Ковковдова, Л.Н. Лучшева. — Владивосток : ТИНРО, 1987. — 14 с.

Огородников В.С. Водоросли-макрофиты Северных Курильских островов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский, 2007. — 28 с.

Огородников В.С. Особенности распространения и продуктивность фитомассы основных видов бурых водорослей в сублиторали группы островов северной части Курильской гряды // Растит. ресурсы. — 2003. — Т. 39, вып. 1. — С. 12–18.

Потехина А.В. Промысловая характеристика зарослей ламинариевых у берегов Шантарских островов // Изв. ТИНРО. — 1973. — Т. 87. — С. 139–144.

Суховеева М.В. Видовой состав и распределение макрофитов в районах размножения сельди у северо-западного побережья Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1976. — Т. 100. — С. 144–149.

Суховеева М.В. Состояние запасов, распределение ламинарии и некоторых других водорослей у берегов Приморья. — Владивосток : Дальневост. кн. изд-во, 1969. — 23 с.

Суховеева М.В., Подкорытова А.В. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 243 с.

Толстикова Н.Е. Доминирующие виды водорослей в Анадырском заливе Берингова моря и перспективы развития их промысла // Растит. ресурсы. — 1982. — Т. 18, вып. 2. — С. 265–267.

Тюрнин Б.В. Запасы сельди в водах северо-западной части Охотского моря и их рациональное использование // Проблемы развития производительных сил Магаданской области. — 1969. — Т. 3. — С. 16–23.

Христофорова Н.К. Биоиндикация и биомониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами : моногр. — Л. : Наука, 1989. — 192 с.

Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2004. — 279 с.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Kaise T., Fukui S. The chemical form and acute toxicity of arsenic compounds in marine organisms // Appl. Organomet. Chem. — 1992. — Vol. 6. — P. 155–160.

Sharp G.J., Samant H.S., Vaidya O.C. Selected metal levels of commercially valuable seaweeds adjacent to and distant from point sources of contamination in Nova Scotia and New Brunswick // Bull. Environ. Contam. Toxicol. — 1988. — Vol. 40. — P. 724–730.

Shiomi K. Arsenic in marine organisms: Chemical forms and toxicological aspects // Arsenic in the Environment. Part II : Human Health and Ecosystem Effects / ed. J. Nriagu. — N.Y. : John Wiley and Sons, 1994. — P. 261–282.

Поступила в редакцию 18.05.15 г.