БИОЛОГИЯ МОРЯ, 2020, том 46, № 1, с. 37–44

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

УДК 582.26–119:615.322

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ПРОМЫСЛОВЫХ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ПОЛИФЕНОЛОВ

© 2020 г. Н. М. Аминина[1, *], Т. И. Вишневская[1], Е. П. Караулова[1], Н. В. Епур[1], Е. В. Якуш[1]

[1]*Тихоокеанский филиал ФГБНУ "ВНИРО" ("ТИНРО"), Владивосток 690091, Россия*

**e-mail: natalya.aminina@tinro-center.ru*

Поступила в редакцию 17.12.2018 г.
После доработки 24.04.2019 г.
Принята к публикации 30.05.2019 г.

Исследованы свойства экстрактов полифенолов, полученных из морских бурых водорослей семейств Laminariaceae, Alariaceae, Arthrothamnaceae, Costariaceae, Cystoseiraceae и Fucaceae. Показано, что выход полифенолов из водорослей определялся их видовой принадлежностью и зависел от природы используемого экстрагента. По сумме полифенолов и антиоксидантной активности максимальный эффект проявляли этанольные экстракты водорослей из родов *Agarum*, *Thalassiophyllum*, *Fucus*, *Stephanocystis* и *Arthrothamnus*. Высокой эффективностью характеризовались водные экстракты водорослей из родов *Saccharina*, *Alaria* и *Costaria*. Наибольший выход суммы полифенолов с высокой антиоксидантной активностью, в том числе флоротаннинов, определен для экстрактов *Agarum turneri*. К перспективным источникам полифенолов с высокой антиоксидантной активностью можно отнести также *Fucus evanescens*, *Thalassiophyllum clathrus* и *Stephanocystis crassipes*. Среди водных экстрактов высокой антиоксидантной активностью обладал водный экстракт *Costaria costata*.

Ключевые слова: бурые водоросли, полифенолы, флоротаннины, антиоксидантная активность, экстракция

DOI: 10.31857/S0134347520010027

Водоросли – это ценный промысловый ресурс, интерес к которому можно объяснить его значительными запасами и применением в разных отраслях промышленности. Уникальный химический состав водорослей делает их перспективным источником биологически активных веществ. В последнее время особое внимание исследователей привлекают бурые водоросли, содержащие значительное количество полифенолов. Полифенольные вещества являются продуктами вторичного метаболизма водорослей. По соединению гидроксильной группы с ароматической группой углеводорода эти вещества делят на несколько групп (Waterman, Mole, 1994; Yuan, 2007). Известно, что в бурых водорослях наиболее широко представлены соединения, мономерной единицей которых является флороглюцин (1,3,5-тригидроксибензол). При соединении остатков флороглюцина через связи С-С и/или С-О-С образуются полимерные молекулы флоротаннинов с разнообразными структурами. По типу связи выделяют фугалолы и флоретолы (эфирная связь), фуколы (фенильная связь), фукофлоретолы (эфирная и фенильная связи), эколы и кармалолы (дибензодиоксиновая связь) (Singh, Bharate, 2006). Считается, что фуколы и фукофлоретолы (флоротаннины "Fucus type") характерны для водорослей семейства Fucaceae, флоретолы и эколы – для водорослей семейств Laminariaceae и Lessoniaceae (Имбс, Звягинцева, 2018). При увеличении степени полимеризации флоротаннинов увеличивается их структурное разнообразие и изменяются свойства.

Известно, что флоротаннины бурых водорослей обладают биологической активностью: антиоксидантной (Li et al., 2009), антимикробной, антипролиферативной, радиозащитной, противовирусной (ВИЧ) (Artan et al., 2008) и противовоспалительной, а также проявляют положительное действие против болезни Альцгеймера (Nguyen et al., 2011). Отмечено, что эти активные соединения могут быть фактором, предупреждающим появление диабета (Korczyński et al., 2015). У бурых водорослей дальневосточных морей выявлена антиоксидантная и гепатопротекторная активность экстрактов, содержащих полифенольные соединения (Спрыгин и др., 2012, 2013, 2017; Аминина и др., 2017). Данные исследования позволяют говорить о перспективности использования полифенолов водорослей в пищевой промышленности, фарма-

Таблица 1. Исследованные виды водорослей, районы и время сбора образцов

Порядок, семейство	Вид	Район и месяц сбора образцов
Laminariales, Laminariaceae	*Saccharina cichorioides* (Miyabe) Lane, Mayes, Druehl, Saunders, 2006	Охотское море, зал. Анива, август
Laminariales, Laminariaceae	*S. bongardiana* (Postels & Ruprecht) Selivanova, Zhigadlova, Hansen, 2007	Тихоокеанское побережье Камчатки, Авачинский залив, август
Laminariales, Laminariaceae	*S. sculpera* Lane, Mayes, Druehl, Saunders, 2006	Охотское море, зал. Терпения, июль
Laminariales, Alariaceae	*Alaria angusta* Kjellman, 1889	Тихоокеанское побережье Камчатки, б. Спасения, июнь
Laminariales, Arthrothamnaceae	*Arthrothamnus bifidus* (Gmelin) Ruprecht, 1851	Тихоокеанское побережье Камчатки, Авачинский залив, август
Laminariales, Costariaceae	*Costaria costata* (Agardh) Saunders, 1895	Японское море, Татарский пролив, июнь
Laminariales, Costariaceae	*Thalassiophyllum clathrus* (Gmelin) Postels, Ruprecht, 1840	Тихоокеанское побережье Камчатки, Авачинский залив, август
Laminariales, Costariaceae	*Agarum turneri* Postels, Ruprecht, 1840	Тихоокеанское побережье Камчатки, Авачинский залив, сентябрь
Fucales, Cystoseiraceae	*Stephanocystis crassipes* (Mertens, Turner) Draisma, Ballesteros, F. Rousseau & T. Thibaut 2010	Охотское море, зал. Анива, август
Fucales, Fucaceae	*Fucus evanescens* Agardh, 1820	Охотское море, зал. Анива, август

кологии, косметологии и сельском хозяйстве. Однако сведения о составе и свойствах полифенолов, содержащихся в водорослях, в настоящее время практически отсутствуют. В связи с этим изучение бурых водорослей из российских морей как источника биологически активных полифенолов представляет несомненный интерес. Цель данной работы – определение антиоксидантной активности экстрактов, полученных из бурых водорослей разных семейств, и содержания в них полифенольных соединений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Собранные в разных районах тихоокеанского побережья России (табл. 1) образцы 10 видов бурых водорослей высушивали на воздухе при комнатной температуре до влажности 15–20%, измельчали и упаковывали.

На электронных весах марки VIBRA HT взвешивали 10 г измельченного образца каждой водоросли, затем образцы помещали в термостойкие колбы, в которые добавляли 100 мл дистиллированной воды или 70% этилового спирта. Колбы встряхивали и выдерживали при комнатной температуре в течение 16 ч. Затем смесь в течение 10 мин центрифугировали при 8000 об./мин на центрифуге Hitachi RX II series. Надосадочную жидкость отфильтровывали через бумажный фильтр и использовали для анализа.

Общее содержание полифенолов (ПФ) в экстрактах определяли в соответствии с модифицированным методом Фолина–Чекольте (Koivikko et al., 2005), используя флороглюцинол (phloroglucinol, 99%, HPLC, Sigma-Aldrich) в качестве стандарта; оптическую плотность продуктов реакции регистрировали при 750 нм на планшетном спектрофотометре Polarstar Omega.

Количество флоротаннинов определяли по результатам реакции с 2.4-диметоксибензальдегидом (DMBA, 2.4-dimethoxybenzaldehyde, 98%, Sigma-Aldrich) (Stern et al., 1996). В качестве стандарта использовали флороглюцинол (99%, HPLC, Sigma-Aldrich). Оптическую плотность продуктов реакции регистрировали при 494 нм на микропланшетном сканере Polarstar Omega.

Суммарную антиоксидантную активность (АОА) растворов определяли с использованием 2.2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) (Molyneux, 2004). Оптическую плотность раствора определяли при 517 нм на планшетном спектрофотометре Polarstar Omega. Антиоксидантную активность выражали в миллиграммах аскорбиновой кислоты на 1 мл экстракта.

Измерения проводили трижды; данные анализировали с помощью программного обеспечения Statistica 7. Результаты выражали в виде среднего значения со стандартным отклонением. Значения с 95% доверительным интервалом ($P < 0.05$) считали статистически значимыми.

Таблица 2. Общее содержание полифенолов и флоротаннинов в водных и этанольных экстрактах бурых водорослей

Водоросль	Полифенолы (мг/мл)		Флоротаннины (мкг/мл)	
	водный экстракт	этанольный экстракт	водный экстракт	этанольный экстракт
Agarum turneri	5.713 ± 0.141	10.109 ± 1.350	15.55 ± 2.390	601.133 ± 79.367
Thalassiophyllum clathrus	0.260 ± 0.011	0.900 ± 0.143	4.100 ± 1.114	103.980 ± 18.332
Fucus evanescens	0.422 ± 0.022	0.734 ± 0.080	17.45 ± 1.061	49.050 ± 2.192
Stephanocystis crassipes	0.296 ± 0.016	0.423 ± 0.015	6.167 ± 1.358	50.850 ± 0.212
Arthrothamnus bifidus	0.209 ± 0.012	0.229 ± 0.015	2.000 ± 0.300	7.867 ± 0.208
Saccharina sculpera	0.185 ± 0.006	0.116 ± 0.028	3.533 ± 1.002	13.550 ± 3.465
Costaria costata	0.365 ± 0.020	0.074 ± 0.012	16.067 ± 0.603	2.367 ± 0.058
Alaria angusta	0.093 ± 0.004	0.062 ± 0.006	0.000 ± 0.000	2.200 ± 0.100
Saccharina bongardiana	0.082 ± 0.002	0.059 ± 0.021	0.967 ± 0.208	1.800 ± 0.100
S. cichorioides	0.058 ± 0.015	0.054 ± 0.011	0.000 ± 0.000	2.133 ± 0.058

РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящей работе суммарное содержание полифенолов и количество флоротаннинов определено у 10 видов бурых водорослей, принадлежащих к шести семействам. Изучено влияние растворителя (вода и 70% раствор этанола) на выход полифенолов, в том числе флоротаннинов.

При использовании 70% раствора этанола выход ПФ был наибольшим у пяти видов: *Agarum turneri*, *Thalassiophyllum clathrus*, *Fucus evanescens*, *Stephanocystis crassipes* и *Arthrothamnus bifidus* (табл. 2). В водных экстрактах этих водорослей содержание ПФ было в 1.4–3.5 раза меньше, чем в этанольных. Наибольшие значения концентраций полифенольных соединений в водных экстрактах водорослей распределялись следующим образом: *A. turneri* > > *F. evanescens* > *C. costata* > *S. crassipes* > *T. clathrus*.

Содержание флоротаннинов было наибольшим в этанольных экстрактах, полученных из *A. turneri*, *T. clathrus*, *S. crassipes* и *F. evanescens*, что коррелирует с данными по общему количеству ПФ (табл. 2). Следующим по количеству ПФ был этанольный экстракт *A. bifidus,* а по количеству флоротаннинов – экстракт *S. sculpera*.

В водных экстрактах *C. costata* концентрации флоротаннинов, как и полифенолов в целом, были более высокими, чем в этанольных. В водных экстрактах *S. cichorioides* и *A. angusta* флоротаннины отсутствовали, а в водных экстрактах остальных видов содержание флоротаннинов было ниже, чем в этанольных, в 2–40 раз (табл. 2). В водных экстрактах количество флоротаннинов в зависимости от вида водоросли снижалось в ряду: *F. evanescens* > *C. costata* > *A. turneri* > *S. crassipes* > > *T. clathrus* > *S. sculpera* > *A. bifidus* > *S. bongardiana*. Прямой зависимости между общим содержанием ПФ и количеством флоротаннинов в водных экстрактах не выявлено, однако для этанольных экстрактов исследованных видов водорослей такая тенденция наблюдалась.

Экстракты всех исследованных водорослей обладали антиоксидантной активностью, которая различалась в зависимости от вида водоросли и типа экстрагента (табл. 3). Максимальная АОА выявлена в обоих экстрактах *A. turneri*, причем она на порядок превышала таковую экстрактов других видов водорослей. Для остальных водорослей в спиртовых экстрактах АОА уменьшалась в следующем ряду: *F. evanescens* > *S. crassipes* > > *T. clathrus* > *A. bifidus* > *S. sculpera* > *C. costata* > > *S. cichorioides* > *A. angusta* = *S. bongardiana*. В водных экстрактах этот порядок был другим: *F. evanescens* > *T. clathrus* > *C. costata* > *S. crassipes* > *A. bifidus* > *S. sculpera* > *A. angusta* > *S. bongardiana* > > *S. cichorioides.*

ОБСУЖДЕНИЕ

В многочисленных исследованиях показано, что содержание полифенолов в разных видах водорослей значительно различалось. К настоящему времени установлены некоторые закономерности накопления полифенолов водорослями из разных систематических групп; определено повышенное количество флоротаннинов в фукусовых водорослях по сравнению с таковым в ламинариевых (Chkhikvishvili, Ramazanov, 2000; Клиндух, Облучинская, 2013). Вариации содержания полифенолов и их антиоксидантной активности связаны также с условиями экстракции, в частности, с видом экстрагента (Аминина и др., 2017).

Для выделения полифенолов из водорослей традиционно используются полярные растворители, среди которых наиболее популярны водные растворы ацетона, метанола и этанола (Боголицын и др., 2018). В некоторых исследованиях для экстракции полифенолов из водорослей исполь-

Таблица 3. Антиоксидантная активность водных и этанольных экстрактов бурых водорослей (миллиграмм аскорбиновой кислоты/мл)

Водоросль	Водный экстракт	Этанольный экстракт
Agarum turneri	2.527 ± 0.480	8.448 ± 2.191
Thalassiophyllum clathrus	0.175 ± 0.014	0.279 ± 0.066
Fucus evanescens	0.233 ± 0.049	0.537 ± 0.098
Stephanocystis crassipes	0.142 ± 0.007	0.293 ± 0.079
Arthrothamnus bifidus	0.105 ± 0.004	0.143 ± 0.030
Saccharina sculpera	0.078 ± 0.016	0.065 ± 0.012
Costaria costata	0.149 ± 0.016	0.037 ± 0.002
Alaria angusta	0.043 ± 0.003	0.024 ± 0.004
Saccharina bongardiana	0.036 ± 0.004	0.025 ± 0.004
S. cichorioides	0.020 ± 0.002	0.033 ± 0.004

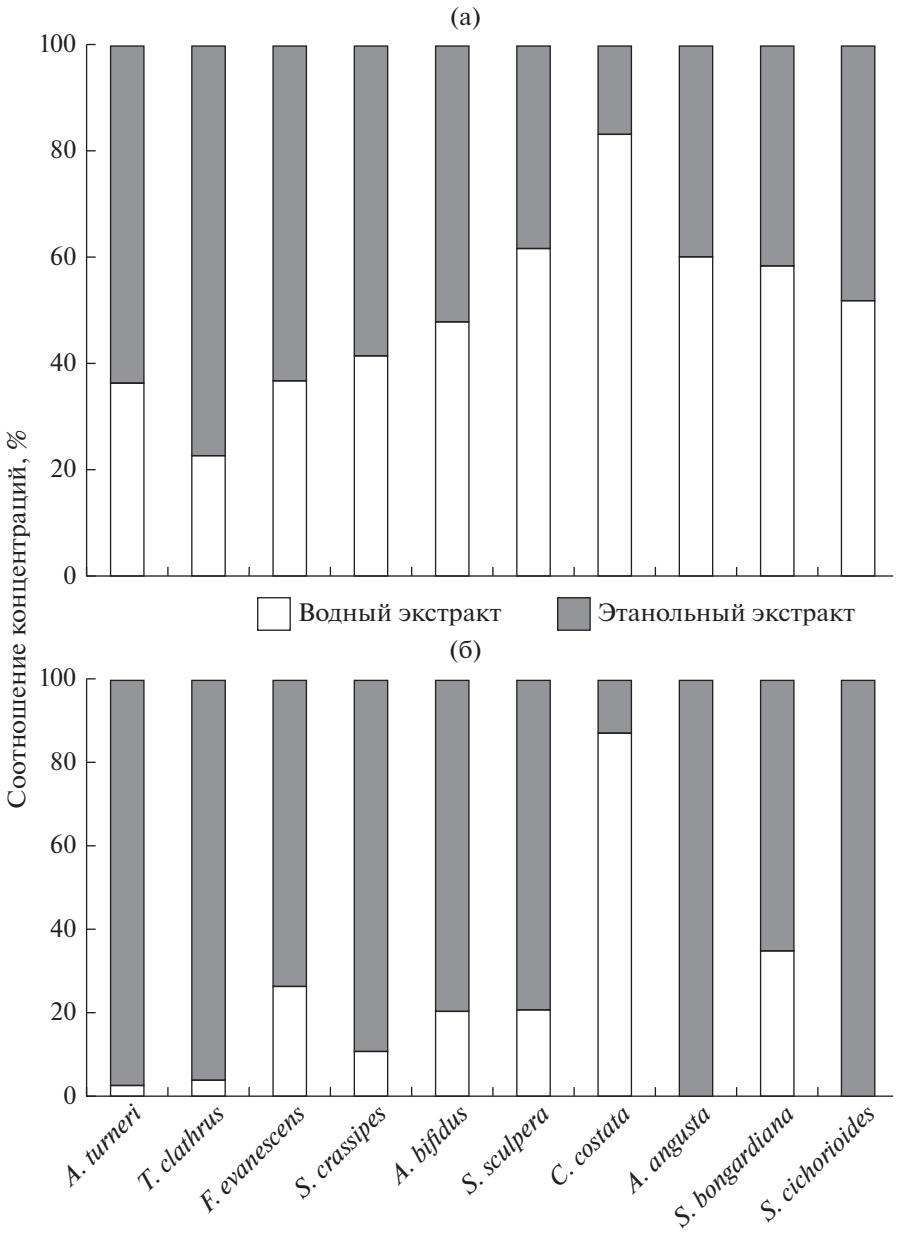

Рис. 1. Соотношение концентраций полифенолов (а) и флоротаннинов (б) в водных и этанольных экстрактах бурых водорослей.

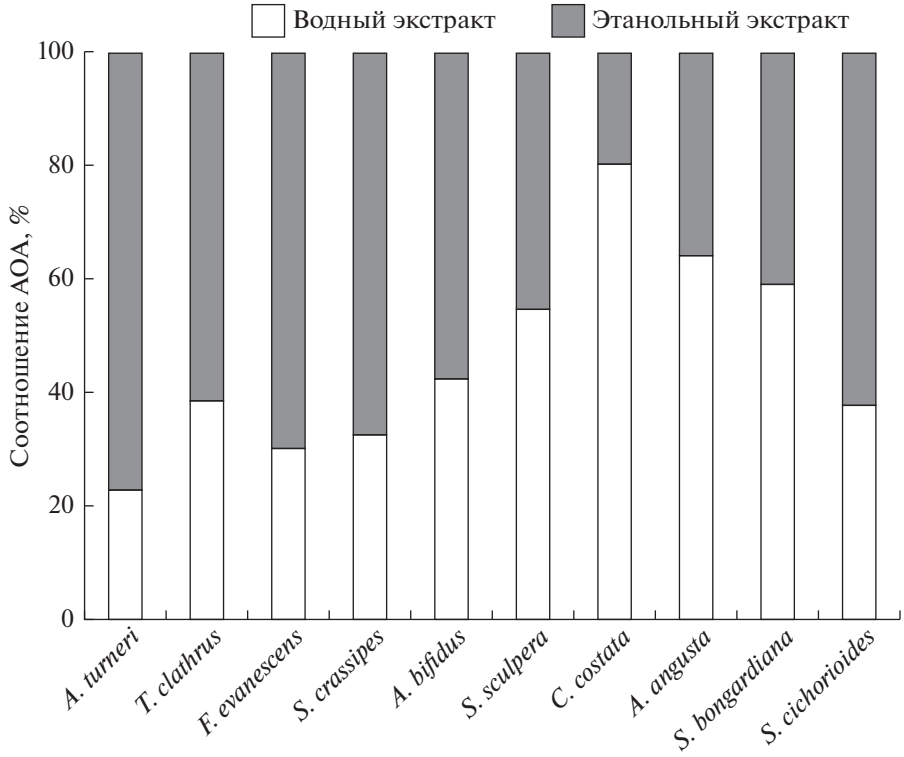

Рис. 2. Соотношение антиоксидантной активности (АОА) водных и этанольных экстрактов бурых водорослей.

зовали воду (Spurr, 2014; Machu et al., 2015; Аминина и др., 2017). Мы изучили влияние двух наиболее часто используемых в пищевой промышленности растворителей (воды и водного раствора этанола) на степень извлечения полифенолов из разных видов бурых водорослей и установили, что эффективность применения экстрагентов изменялась в зависимости от вида водоросли (рис. 1а).

Экстракция ПФ из *Costaria costata*, *Saccharina sculpera*, *Alaria angusta*, *Saccharina bongardiana* и *S. cichorioides* протекала лучше при использовании воды, чем 70% этанола, особенно в случае *C. costata*, когда количество полифенолов в водном экстракте было почти в 5 раз больше, чем в этанольном. Высокая эффективность применения воды для экстракции ПФ из водорослей родов *Costaria*, *Saccharina* и *Alaria*, по-видимому, обусловлена различиями в природе межмолекулярных связей полифенолов с другими органическими соединениями, например, с полисахаридами. Предполагается также, что при добавлении воды в органические растворители происходит ослабление водородных связей между молекулами полифенолов и белков (Wissam et al., 2012).

Максимальная эффективность экстракции флоротаннинов у всех видов водорослей, кроме *C. costata*, отмечена при использовании 70% раствора этанола (рис. 1б). Количество флоротаннинов в водном экстракте *C. costata* было практически в 7 раз выше, чем в этанольном, что косвенным образом указывало на различия в составе и структуре полифенолов этой водоросли. Сравнение АОА экстрактов показало, что для основной группы исследованных водорослей эффективность экстрактов была выше при использовании этанола, однако у *C. costata*, *A. angusta*, *S. sculpera* и *S. bongardiana* АОА была значительно выше при использовании воды в качестве экстрагента (рис. 2). Следовательно, соотношение содержания полифенольных соединений и АОА экстрактов различалось у разных видов водорослей и изменялось при использовании разных экстрагентов. Например, в этанольных экстрактах *Thalassiophyllum clathrus* содержание ПФ, в том числе флоротаннинов, было почти в 2 раза выше, чем в экстрактах *Stephanocystis crassipes*, а АОА экстрактов практически не различалась (рис. 3). В экстракте *Fucus evanescens* концентрация флоротаннинов была меньше, чем у указанных выше видов, а АОА была почти в 2 раза интенсивнее (рис. 3б). Соотношение общего количества ПФ и АОА этанольных экстрактов в среднем изменялось в пределах 1 : 1–1 : 3, причем самой низкой активностью при пересчете на количество полифенолов обладали экстракты *T. clathrus* (рис. 3а). Предстоит выяснить, с чем это связано: с особенностью структуры полифенолов водорослей или с присутствием в экстрактах антиоксидантов другой природы.

Для водных экстрактов изученных видов водорослей наблюдалась почти прямая зависимость

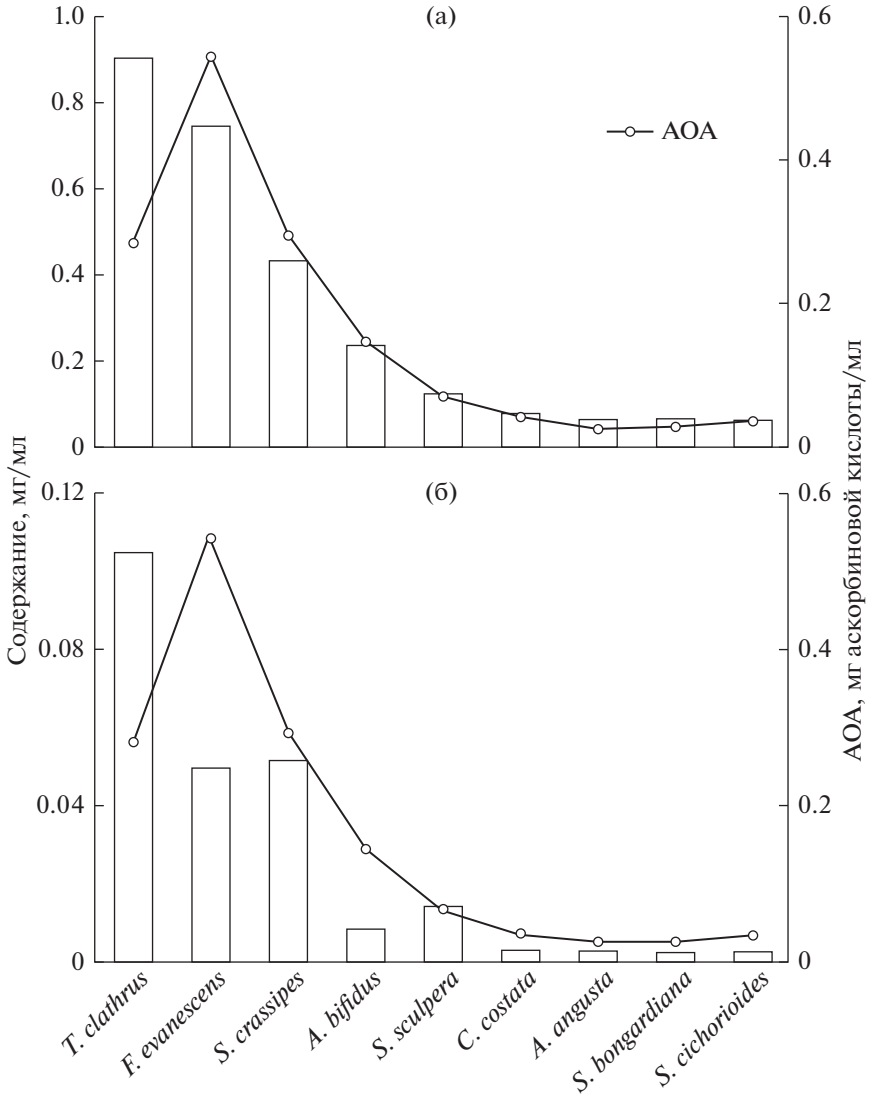

Рис. 3. Содержание в этанольных экстрактах полифенолов (а) и флоротаннинов (б) и их антиоксидантная активность (АОА).

АОА от содержания общего количества ПФ, но не от концентрации флоротаннинов (рис. 4). По отношению к концентрации флоротаннинов АОА водных экстрактов значительно варьировала – от 1 : 9 до 1 : 162 (рис. 4б). Возможно, в водных экстрактах флоротаннины некоторых видов ламинариевых водорослей проявляли более сильную антиоксидантную активность, так как известно, что АОА коррелирует с количеством гидроксильных групп в молекуле полифенола (Имбс, Звягинцева, 2018). Кроме этого, в водных экстрактах могли присутствовать вещества другой природы с высокой АОА.

Таким образом, выход полифенолов из бурых водорослей зависел от видовой принадлежности и применяемого экстрагента – воды или 70% этанола. В любом случае из *Agarum turneri* можно получить максимальное количество ПФ, присутствие которых, скорее всего, связано с высокой антиоксидантной активностью экстрактов. Достаточно высокие значения содержания ПФ и АОА обнаружены у обоих экстрактов из *F. evanescens*, а также у этанольных экстрактов *T. clathrus* и *S. crassipes*. Для водорослей из родов *Costaria*, *Saccharina* и *Alaria* в качестве экстрагента можно использовать воду, которая позволяет извлечь из сырья бóльшее количество полифенолов, чем раствор этанола. При этом максимальный выход ПФ и значимую АОА экстракта показала *C. costata*. Известно, что состав и структура полифенольных соединений в водорослях варьируют в зависимости от видовой принадлежности. Например, бурые водоросли разных семейств содержат флоротаннины, структура которых различается (Shibata et al., 2004; Cérantola et al., 2006). Скорее всего, они проявляют разные свойства и обладают разным физиологическим действием. Дальнейшие исследования биологической активности поли-

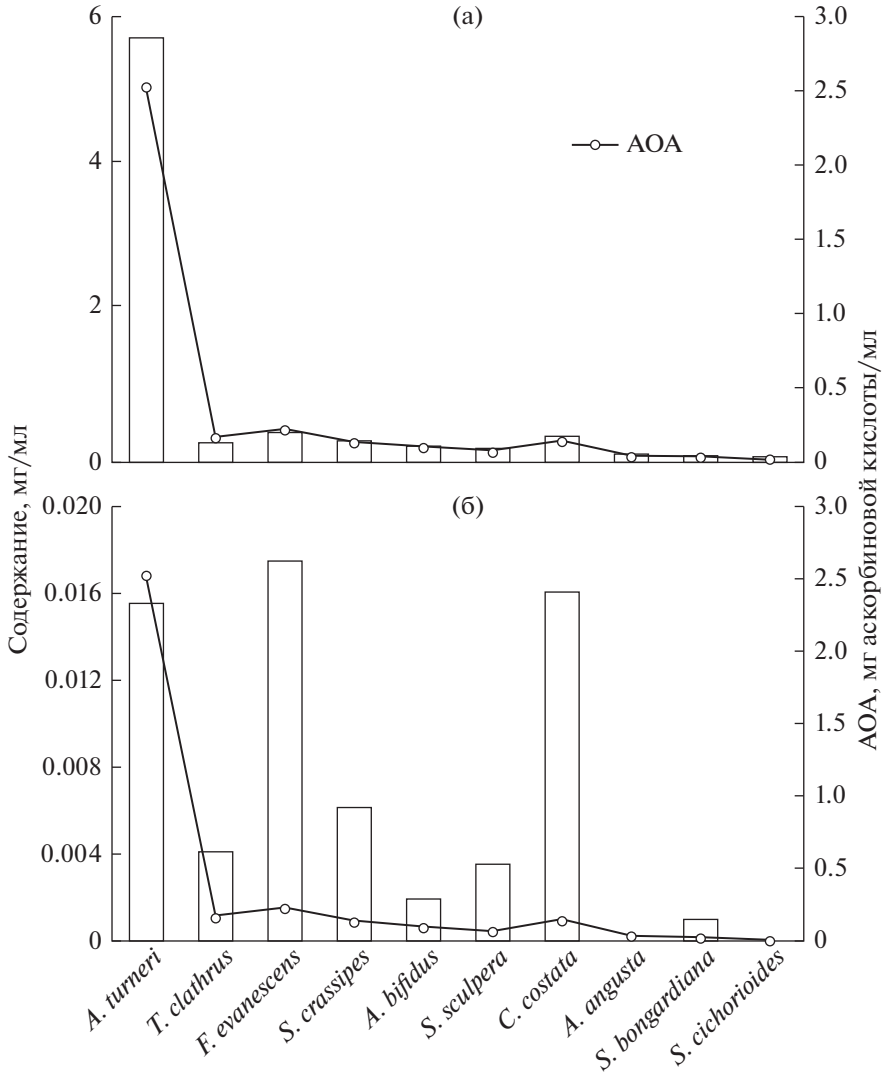

Рис. 4. Содержание в водных экстрактах полифенолов (а), флоротаннинов (б) и их антиоксидантная активность (АОА).

фенолов бурых водорослей могут показать новые возможности для применения морского растительного сырья дальневосточных морей в пищевой промышленности и медицине.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Настоящая статья не содержит описания каких-либо исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках тематического календарного плана ФГБНУ “ТИНРО-Центр” “Осуществление государственного мониторинга водных биологических ресурсов во внутренних водах, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях” на 2018 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аминина Н.М., Вишневская Т.И., Караулова Е.П., Якуш Е.В. Содержание полифенолов и антиоксидантная активность экстрактов из некоторых видов морских водорослей // Изв. ТИНРО. 2017. Т. 189. С. 184–191.

Боголицын К.Г., Дружинина А.С., Овчинников Д.В. и др. Полифенолы бурых водорослей // Химия раст. сырья. 2018. № 3. С. 5–21.

Имбс Т.И., Звягинцева Т.Н. Флоротаннины – полифенольные метаболиты бурых водорослей // Биол. моря. 2018. Т. 44. № 4. С. 217–227.

Клиндух М.П., Облучинская Е.Д. Сравнительное исследование химического состава бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* // Вестн. МГТУ. 2013. Т. 16. № 3. С. 466–471.

Спрыгин В.Г., Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е. и др. Морские водоросли – перспективный источник полифенольных антиоксидантов и комплексов эссенциальных фосфолипидов // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2012. Т. 14. № 1(9). С. 2299–2302.

Спрыгин В.Г., Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е. и др. Гепатопротекторные свойства экстракта из бурой водоросли *Saccharina japonica* // Биол. моря. 2013. Т. 39. № 1. С. 50–54.

Спрыгин В.Г., Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е. и др. Влияние экстракта из морской бурой водоросли *Sargassum pallidum* (Turner) C. Agardh, 1820 на метаболические реакции печени при экспериментальном токсическом гепатите // Биол. моря. 2017. Т. 43. № 6. С. 444–449.

Artan M., Li Y., Karadeniz F. et al. Anti-HIV-1 activity of phloroglucinol derivative, 6,6-bieckol, from *Ecklonia cava* // Bioorg. Med. Chem. 2008. V. 16. P. 7921–7926.

Cérantola S., Breton F., Gall E.A., Deslandes E. Co-occurrence and antioxidant activities of fucol and fucophlorethol classes of polymeric phenols in *Fucus spiralis* // Bot. Mar. 2006. V. 49. P. 347–351.

Chkhikvishvili I.D., Ramazanov Z.M. Phenolic substances of brown algae and their antioxidant activity // Appl. Biochem. Microbiol. 2000. V. 36. № 3. P. 289–291.

Koivikko R., Loponen J., Honkanen T., Jomalainen V. Contents of soluble, cell-wall-bound and exuded phlorotannins in the brown alga *Fucus vesiculosus*, with implications on their ecological functions // J. Chem. Ecol. 2005. V. 31. № 1. P. 195–212.

Korczyński M., Witkowska Z., Opaliński S. et al. Algae extract as a potential feed additive // Marine algae extracts: Processes, products, and applications. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag. 2015. P. 614–615.

Li Y., Qian Z.J., Ryu B. et al. Chemical components and its antioxidant properties in vitro: an edible marine brown alga, *Ecklonia cava* // Bioorg. Med. Chem. 2009. V. 17. P. 1963–1973.

Machu L., Misurcova L., Ambrozova J.V. et al. Phenolic content and antioxidant capacity in algal food products // Molecules. 2015. V. 20. № 1. P. 1118–1133.

Molyneux P. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity // Songklanakarin J. Sci. Technol. 2004. V. 26. № 2. P. 211–219.

Nguyen P.H., Choi I.-W., Kim S.-K., Jung W.-K. Immune regulatory effects of phlorotannins derived from marine brown algae (*Phaeophyta*) // Handbook of marine macroalgae: Biotechnology and applied phycology. Chichester, U.K.: John Wiley & Sons. 2011. P. 340–343.

Shibata T., Kawaguchi S., Hama Y. et al. Local and chemical distribution of phlorotannins in brown algae // J. Appl. Phycol. 2004. V. 16. P. 291–296.

Singh I.P., Bharate S.B. Phloroglucinol compounds of natural origin // Nat. Prod. Rep. 2006. V. 23. P. 558–591.

Spurr H.I. Extraction, separation and purification of polyphenols, polysaccharides and pigments from British seaweed for high-value applications: PhD thesis. Univ. of Leeds. 2014. 224 p.

Stern J.L., Hagerman A.E., Steinberg P.D., Mason P.K. Phlorotannin-protein interactions // J. Chem. Ecol. 1996. V. 22. P. 1877–1899.

Waterman P.G., Mole S. Analysis of polyphenolic plant metabolites. Methods in Enzymology. London: Blackwell Scientific Publications. 1994. 238 p.

Wissam Z., Ghada B., Wassim A., Warid K. Effective extraction of polyphenols and proanthocyanidins from Pomegranate's peel // Int. J. Pharm. Pharm. Sci. 2012. V. 4. Suppl. 3. P. 675–682.

Yuan Y.V. Antioxidants from edible seaweeds // ACS Symp. Ser. 2007. V. 956. P. 268–301.

Prospects for the Use of Commercial and Potentially Commercial Brown Algae of the Far Eastern Seas as a Source of Polyphenols

N. M. Aminina[a], T. I. Vishnevskaya[a], E. P. Karaulova[a], N. V. Epur[a], and E. V. Yakush[a]

[a] *Pacific Branch, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (TINRO), Vladivostok 690091, Russia*

The properties of polyphenol extracts from marine brown algae of the families Laminariaceae, Alariaceae, Arthrothamnaceae, Costariaceae, Cystoseiraceae, and Fucaceae were studied. The release of polyphenols from algae was determined by the species affiliation and depended on the nature of the extractant used. According to the content of total polyphenols and antioxidant activity, the maximum effect was observed in the ethanol extracts from algae of the genera *Agarum*, *Thalassiophyllum*, *Fucus*, *Stephanocystis*, and *Arthrothamnus*. For algae of the genera *Saccharina*, *Alaria*, and *Costaria*, aqueous extraction showed high effectiveness. The greatest yield of total polyphenols with high antioxidant activity (including that of phlorotannins) was found in *Agarum turneri* extracts. *Fucus evanescens*, *Thalassiophyllum clathrus*, and *Stephanocystis crassipes* can also be considered as promising sources of polyphenols with high antioxidant activity. Among water extracts, high antioxidant activity was also found in the *Costaria costata* extract.

Keywords: brown algae, polyphenols, phlorotannins, antioxidant activity, extraction