

Технология переработки водных биоресурсов

Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения

А.В. Подкорытова, А.Н. Рощина

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187
E-mail: podkor@vniro.ru

Целью работы является изучение состава и свойств биологически активных веществ (БАВ) бурых водорослей. **Результат:** представлен обзор данных, опубликованных зарубежными и российскими авторами по составу и свойствам БАВ бурых водорослей, а также данные авторов статьи о БАВ водорослей Белого и Баренцева морей. Бурые водоросли семейств Laminariales и Fucales (Phaeophyceae) рассматриваются как источники природных БАВ.

Новизна: приведены новые данные о том, что сульфатированные полисахариды – фукоиданы, а также альгинаты, полифенолы и другие вещества, обладающие разнообразными биоактивными свойствами, с антивирусным и антикоагулянтным потенциалами, положительно влияют на здоровье человека.

Практическая значимость: показаны рекомендации по использованию водорослей непосредственно в пищу, для получения лечебно-профилактической, медицинской продукции, фармацевтических средств, СПП, ФПП, БАД к пище. Рекомендовано их возможное применение как средство для лечения рака легких и других опухолей, диабета, а также в комплексной терапии гриппа и COVID-19.

Используемые методы: данные по составу и свойствам биологически активных веществ (БАВ) бурых водорослей приведены с привлечением обзора зарубежных и отечественных опубликованных работ и результатов собственных исследований. При проведении исследований были использованы современные инструментальные методы.

Ключевые слова: бурые водоросли, фукоиданы, полифенолы, альгинаты, свойства, получение, применение.

Marine brown algae – perspective source of BAS for medical, pharmaceutical and food use

Antonina V. Podkorytova, Anna N. Roshchina

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okružhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

The aim: of this work is to study the composition and properties of brown algae biologically active substances (BAS).

Result: A review of the data published by foreign and Russian authors on the composition and properties of brown algae BAS, as well as the data of the article authors on BAS of algae from White and Barents Seas, is presented. Brown algae of families Laminariales and Fucales (Phaeophyceae) are considered sources of natural biologically active substances.

Novelty: New data are presented that sulfated polysaccharides – fucoidans, as well as alginates, polyphenols and other substances with various bioactive properties, with antiviral and anticoagulant potentials, have a positive effect on human health.

Practical significance: Recommendations for the use of algae directly in food, for obtaining therapeutic and prophylactic, medical products, pharmaceuticals, SFP, FFP, dietary supplements are shown. Their possible use is recommended as a remedy for the treatment of lung cancer and other tumors, diabetes and in the complex therapy of influenza and COVID-19.

Methods used: Data on the composition and properties of biologically active substances (BAS) of brown algae are given with the involvement of a review of foreign and domestic, published works and the results of our own research. During the research, modern instrumental methods were used.

Keywords: brown algae, fucoidans, polyphenols, alginates, properties, production, application.

ВВЕДЕНИЕ

Морские бурые водоросли (Phaeophyceae) характеризуются уникальным составом природных биоактивных соединений, которые широко востребованы в различных отраслях, в то числе в пищевой и медицинской. Бурые водоросли, особенно семейства Laminariaceae, относятся к пищевым и используются несколько столетий для приготовления огромного ко-

личества продуктов, входящих в ежедневный рацион населения стран Азиатско-Тихоокеанского региона. В настоящее время они используются в пищу практически по всему миру. В связи с получением в последние годы новых данных о свойствах БАВ водорослей интерес к ним значительно возрос и расширились области их применения [Боголицын и др., 2018; Облучинская, Захарова, 2020]. Наиболее изученными

компонентами морских водорослей с точки зрения их медицинского и лечебно-профилактического применения являются полисахариды и некоторые другие органические соединения. Основные БАВ бурых водорослей — это углеводы, такие как альгиновая кислота, фукоидан, ламинаран, маннит, а также азотсодержащие вещества (белки), липиды, комплекс минеральных веществ и йод. В состав углеводов бурых водорослей входит клетчатка, содержание которой по разным данным колеблется от 4 до 21%. В химическом составе бурых водорослей содержатся полифенолы, стерины, комплекс пигментов, витамины [Репина, 2005; Коровкина, 2007; Облучинская, 2021].

БАВ бурых водорослей находятся в их тканях в виде органических и минеральных соединений, которые экстрагируются из водорослей при соблюдении различных условий. В связи с этим бурые водоросли являются перспективным сырьём для получения всего комплекса БАВ, включая йодсодержащие компоненты, маннит, фукоидан, альгинат и другие. При этом обязательно соблюдение

порядка экстрагирования и последовательного выделения практически всех БАВ без их потерь. Очевидна возможность получения спирто-, водо-, кислото- и щелочерастворимых БАВ. Очищенные от примесей и сконцентрированные экстракты или выделенные химически чистые компоненты фукуса и ламинарии могут быть использованы при создании биологически активных добавок (БАД), специализированных пищевых продуктов (СПП), функциональных пищевых продуктов (ФПП), а также в качестве пищевых добавок, основы или компонентов лекарственных средств, в составе косметических кремов, сывороток и масок для лица и тела. При применении косметических средств на основе фукуса и ламинарии происходит стимуляция кровообращения, минерализация, дренаж, устранение отёчности, выведение токсинов, глубокое увлажнение, нормализация работы сальных желёз, улучшается цвет и состояние кожи [Ariedea et al., 2017].

Сводные данные по составу и свойствам БАВ различных видов бурых водорослей (Phaeophyceae) представлены в табл. 6.

Таблица 1. Состав и свойства БАВ бурых водорослей (Phaeophyceae)

Table 1. Composition and properties of biologically active substances of brown algae (Phaeophyceae)

Виды водорослей	Наименования БАВ	Свойства	Источник
<i>Phaeophyceae</i>	Йод (I)	Источник органического и минерального йода	Репина, 2005; Salvador et al., 2007; Подкорытова и др., 2020
<i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Ascophyllum nodosum</i> ,	Альгиновая кислота Альгинат натрия Альгинат калия Альгинат магния	Абсорбирующие радионуклиды и тяжелые металлы, кровоостанавливающие, ранозаживляющие, обволакивающие средства, регулирующие артериальное давление и сердечные ритмы, стимулирующие лимфопрлиферацию, фагоцитоз, источник пищевых волокон, антимуtagenное, регенерирующее, антиаллергенное, антацидное действие, источник калия, снижает синдром дискинезии желчевыводящих путей, нормализует перистальтику кишечника, источник магния, стимулирует обменные процессы в мышечной ткани и сердечной мышце, антилипемическое действие, смягчающие и омолаживающие кожу средства	Корзун и др., 1992;1993; Подкорытова и др., 1992; Репина, 2005; Облучинская, 2021; Штильман, Подкорытова и др., 2015; Ariedea et al., 2017; Подкорытова, Котельникова, Шашкина, 2020
<i>Saccharina latissima</i> , <i>Laminaria digitata</i> , <i>Saccharina japonica</i> , <i>Saccharina angustata</i> , <i>Macrocystis pyrifera</i> , <i>Undaria pinnatifida</i>	Альгинат кальция Маннит (низко-молекулярный углевод) Ламинаран -низкомолекулярный β-1,3-1,6-глюкан	Адсорбирующее, антиаллергенное действие, источник кальция, пищевых волокон и альгиновой кислоты, нормализующее перистальтику кишечника. Диуретик, заменитель сахара, антисептик Антивирусные, иммуностимулирующие, антилипемические.	Подкорытова, 2005; Облучинская, 2005; Штильман, Подкорытова и др., 2015 Подкорытова, 2019 Усольцева и др., 2019

Виды водорослей	Наименования БАВ	Свойства	Источник
<i>Durvillaea potatorum</i> , <i>Seirococcus axillaris</i> , <i>Ecklonia radiata</i>	Липидный концентрат (стерины, полиненасыщенные жирные кислоты)	антиканцерогенные, противоопухолевые, антиметастатические	Хотимченко, 2003
<i>Ascophyllum nodosum</i> ,	Фукоидан (высокомолекулярный сульфатированный полисахарид)	Противоопухолевые, противовоспалительные, антипролиферативные, радиопротекторные, антитромбиновые	Усов, Билан, 2009; Усов, 2018
		Антикоагулянтные, антитромбиновые, антибактериальные, антивирусные, иммуномодулирующие, контрацептивные	Добровольский, Титаева, 2013; Беседнова и др., 2015; Беседнова и др., 2021; Kordjazi, 2019; Ушакова, 2008; Bo Li et. al, 2008; Ayrapetyan et al., 2021
<i>Fucus evanescens</i> <i>F. distichus</i> <i>F. serratus</i>	Пигментный комплекс (хлорофилл, и фуко-ксантин), полифенолы	Гемостимулирующие, противовоспалительные, регенеративные, ранозаживляющие, бактерицидные, антиоксидантные, противовирусные свойства	Коровкина и др., 2007; Боголицин и др., 2018; Облучинская, 2021; Аминина и др., 2020; Ariedea et al., 2017

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

В качестве объектов исследований использовали промысловые бурые водоросли порядка Fucales: *Fucus vesiculosus* (фукус пузырчатый), *Fucus distichus* (фукус двусторонний), *Ascophyllum nodosum* (аскофиллум узловатый), собранных в 2020–2021 гг. на литорали Белого моря во время отлива (Республика Карелия, Кемский район, пос. Рабочеостровск), а также этанольные экстракты. В месте сбора фукусковые водоросли были промыты в морской воде и высушены в естественных условиях. Средние пробы приготовлены по ГОСТ 31413–2010. Содержание пигментов определяли по методикам, изложенным в [Rodriguez-Amaya, 2001; Кудряшов и др., 2011]. Содержание макро- и микроэлементов определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой МС-ИСП и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой АЭС-ИСП на квадрупольном масс-спектрофотометре Nexion 300D и атомно-эмиссионном спектрофотометре Optima 2000 DV (Perkin Elmer, США). Определение содержания фукоидана в водорослях проводили с применением спектрофотометрического метода [Усов и др., 2001] в ИОХ им. Н.Д. Зелинского РАН. Моносахаридный состав экстрактов определяли методом газо-жидкостной хроматографии (ГЖХ) на хроматографе Hewlett-Packard 5890A, снабженном пламенно-ионизационным детектором и интегралом 3393A, с использованием капиллярной колонки HP Ultra-2 в токе азота при градиенте температуры от 160 °C до

290 °C со скоростью 7 °/мин. Определение массовой доли липидов проводили с использованием метода Сокслета, на автоматическом экстракторе Сокслета фирмы VЕLP SER148/6 при использовании 2-й программы (растворитель – диэтиловый эфир) и метода Блайя и Дайера. Для определения ЖКС липиды подвергались прямому метилированию с использованием в качестве катализатора хлористого ацетила в метаноле в соответствии с МУК [Подкорытова, Кадникова, 2009], метиловые эфиры жирных кислот анализировали на хроматографе «Кристалл 5000.2» («Хроматэк») в соответствии с ГОСТ 31663 на капиллярной колонке CR-FAME100 мх0,25 ммх 0,2 мкм («Хроматэк»). Идентификацию проводили сравнением со стандартной смесью (Supelco 37 component FAME MIX, каталожный номер Sigma Aldrich CRM47885).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Европейской части Российской Федерации наиболее богаты промысловыми бурыми водорослями прибрежные зоны Белого и Баренцева морей, где сосредоточены главные запасы ламинариевых – это ламинария сахаристая (*Saccharina latissima* (L.) Lane, Meyers, Druehl et Saund.), ламинария пальчато-расчечённая (*Laminaria digitata* (Huds.) Lamour.) и фукусковых: фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus* L.), фукус двусторонний (*F. distichus* L.), фукус зубчатый (*F. serratus* L.), аскофиллум узловатый (*Ascophyllum nodosum* L.) Le Jolis. В Баренцевом море, кроме перечисленных ламинариевых и фукусковых, из промысловых есть ещё

ламинария северная (*L. hyperborea* (Gunnerus) Foslie) [Глубоковский и др., 2012; Евсеева, 2014].

Видовой состав флоры Баренцева моря представляет аналогичную таковой Северной Атлантики. Наиболее разнообразным по видовому составу макрофитов является Мурманское побережье, где обитают 80 видов бурых водорослей. Белое море также характеризуется обширной флорой и наиболее мощные заросли донных водорослей-макрофитов в Белом море обнаруживаются в прибрежной зоне до глубины 25–30 м. Этому способствуют относительная мелководность моря, подходящий для их прикрепления субстрат (валуны, камни, многочисленные луды и корги), отсутствие сильного волнения, особенно в заливах, достаточная освещённость в поверхностных слоях воды, обилие питательных солей, хорошая аэрация воды [Блинова, 2007].

Активную добычу бурых водорослей проводят, в основном, в прибрежных зонах Белого моря. Однако, несмотря на достаточные промысловые запасы сахарины, ламинарий и фукусов — эти морские растительные ресурсы используются не полностью, а некоторые вообще не добываются. Проблема недоиспользования водорослевого сырья связана, главным образом, с организацией его заготовки и переработки. Промышленная переработка бурых водорослей Белого моря организована на Архангельском водорослевом комбинате (ООО «АВК») в г. Архангельск, где производят альгинаты, маннит, фармацевтическую,

пищевую, косметическую продукцию, биологически активные добавки к пище (БАД), кормовые добавки и агар пищевой из штормовых выбросов анфельции [Подкорытова и др., 2020]. При этом используется не более 1/10 части от рекомендованного вылова бурых водорослей в Белом море [Глубоковский и др., 2012]. В море Баренцевом водоросли в промышленном масштабе не добывают. Таким образом, бурые водоросли Белого и Баренцева морей к настоящему времени остаются недоиспользуемым ресурсом, но могут быть неисчерпаемым источником БАВ для разных отраслей и, в первую очередь, медицинской, фармацевтической и пищевой.

Исследования санитарно-гигиенического состояния водорослей, а также оценка качества сырья показали, что ламинарии и фукусы Белого и Баренцева морей, являются безопасными по микробиологическим показателям и содержанию токсичных элементов, а места сбора экологически чистыми [Подкорытова и др., 2009]. Качество водорослей-макрофитов характеризуется их химическим составом, представленным в табл. 2.

К началу 2000-х гг. из водорослей-макрофитов выделено около 15000 новых БАВ и показана экономическая перспективность их использования [Cardozo, 2007]. В связи с этим морские водоросли-макрофиты стали рассматривать как источники БАВ, положительно влияющие на здоровье человека. Основное внимание уделяется природным БАВ, содержащимся в водо-

Таблица 2. Химический состав промысловых бурых водорослей (Phaeophyceae), произрастающих в Белом и Баренцевом морях РФ

Table 2. Chemical composition of commercial brown algae (Phaeophyceae) growing in the White and Barents Seas of the Russian Federation

Наименование компонента	Семейства, виды				
	Fucaceae		Laminariaceae		
	<i>F. vesiculosus</i>	<i>A. nodosum</i>	<i>S. latissima</i>	<i>L. digitata</i>	
Содержание, % сухого вещества					
Углеводы	Альгиновая кислота	15,24–29,00	12,00–33,02	12,00–35,00	16,00–35,00
	Маннит	5,30–12,00	5,00–12,00	20,00–22,10	11,00–23,28
	Фукоидан	13,4–16,5	10,0–11,5	2,40–9,00	1,00–3,00
	Ламинаран	0,50–3,40	0,50–2,70	11,00–16,00	2,00–3,00
	Клетчатка	7,00–10,00	4,32–21,00	5,61–18,00	5,99–14,00
Белок (N _{общ} ×6,25)	4,31–15,00	4,66–9,00	7,00–18,00	7,00–11,21	
Липиды	0,72–3,76	0,42–2,87	0,57–0,90	0,42–1,05	
Минеральные вещества	18,00–25,00	17,64–23,72	16,23–35,00	27,03–44,00	
Йод	0,02–0,14	0,03–0,11	0,10–0,36	0,10–0,20	

Примечание: данные из публикаций [Репина, 2005; Облучинская, 2005; Вафина, 2010]. Значительные колебания в содержании веществ зависят от сезона сбора, семейства и вида водорослей.

рослях, которые могут иметь пищевое, медицинское и фармацевтическое значение, а также использоваться в исследованиях с целью их применения в соответствующих направлениях [Smit, 2004]. В настоящее время полисахариды бурых водорослей, такие как альгиновые кислоты и, особенно, фукоиданы привлекательны в качестве БАД к пище для предотвращения или уменьшения симптомов гриппа и других вирусных респираторных инфекций, в том числе, коронавирусного генеза [Richards et al., 2020; Fitton et al., 2021; Беседнова и др., 2021].

Альгиновая кислота (Alginic acid) – количественно превосходящий, структурообразующий полисахарид бурых водорослей, состоящий из блоков поли-D-маннуроновой кислоты и поли-L-гулурановой кислоты. Содержание альгиновой кислоты в водорослях колеблется в довольно широких интервалах, однако, наиболее известные пределы от 12 до 35% в зависимости от вида (см. табл. 2), сезона сбора и их места произрастания.

Альгиновые кислоты и их соли (альгинаты) – эффективные природные ионообменники, определяющие механизм избирательной фиксации катионов металлов водорослями. Ионообменные свойства альгиновых кислот и альгинатов сохраняются и в выделенном из водорослей состоянии. Альгинаты используются, как энтеросорбенты, способные выводить из организма тяжёлые металлы, радионуклиды и другие токсины различной этиологии [Рыбалкина и др., 2014]. Реакция ионов двухвалентных металлов (например, кальция) с карбоксильными группами молекулы альгиновой кислоты обеспечивает межмолекулярные взаимодействия в процессах абсорбции металлов и гелеобразования (см. рис. 1).

Способность к абсорбции – связыванию ионными связями катионов, в том числе тяжёлых металлов и радионуклидов, обеспечена наличием в химической структуре альгиновой кислоты функциональной группы – карбоксильной.

Растворимые альгинаты натрия, калия, магния широко используются как обволакивающие и обезболивающие средства, регулирующие кислотность желудочного сока, а также как источники этих микроэлементов. Альгинаты применяются для профилактики и лечения гастроэнтерологических заболеваний, лечения ожоговых ран и поверхностей, трофических язв и др. Порошкообразные альгинаты применяются в качестве адсорбентов экссудатов открытых ран. Значительную роль альгинаты и альгинатсодержащие продукты играют при создании но-

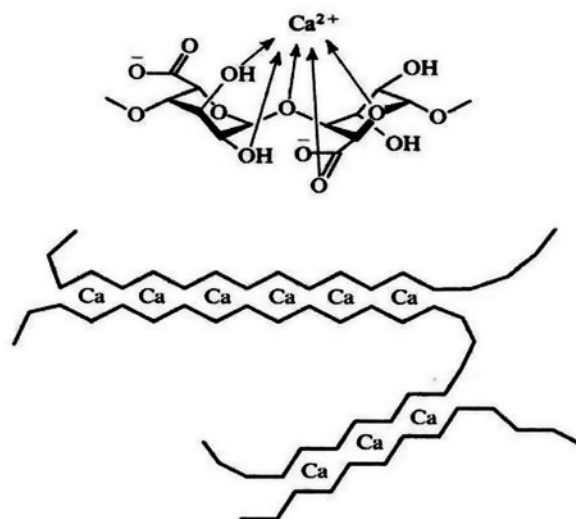


Рис. 1. Координация катионов кальция относительно карбоксильных групп в молекуле альгината

Fig. 1. Coordination of calcium cations relative to carboxyl groups in the alginic molecule

вых специализированных пищевых продуктов (СПП). При этом наиболее перспективным представляется направление, в котором создаются функциональные альгинатсодержащие продукты, где альгинаты являются органическими носителями биогенных жизненно необходимых микроэлементов, таких как калий, магний, кальций, железо, хром, медь, цинк в строго нормируемых количествах и обеспечивающих не менее $\frac{1}{4}$ суточной дозы каждого элемента. В последние годы получили широкое распространение СПП, содержащие альгинат и необходимые минеральные элементы – это биогели из ламинарии [Подкорытова и др., 2021].

Фукоиданы (Fucoidans) – сложные высокомолекулярные сульфатированные полисахариды бурых водорослей, главным моносахаридным компонентом которых является L-фукоза. Кроме фукозы, в состав фукоиданов могут входить и другие моносахариды: ксилоза, манноза, глюкоза, галактоза. Исследованиями установлено, что сезонные колебания в содержании фукоиданов в бурых водорослях на примере водорослей Белого и Баренцева морей, значительны и составляют 5–17% в зависимости от их порядка, рода и вида. Строение и свойства фукоиданов также различны и зависят от порядка, рода и вида бурых водорослей [Усов, Билан, 2009]. Из данных, представленных на рис. 2, очевидно, что фукусы содержат фукоидана в пять-десять раз больше, чем ламинарии и, следовательно, более пригодны для получения этого биоактивного вещества [Подкорытова и др., 2020].

Фукоиданы обладают антиопухолевой активностью, вирусингибирующим, интибактериальным, антикоагулянтным, антитромбическим действиями [Chandia, Matsuhira, 2008; Wang, et al., 2010]. Предполагается, что механизм действия фукоиданов связан с их высокой молекулярной массой [Shanmugam, Mody, 2000]. Фукоиданы в исследованиях *in vivo* и *in vitro* показали гепариноподобную антикоагулянтную и антитромбическую активности, которые опосредуются ингибиторами свертывания крови, такими как гепарин кофактор II или антитромбин III [Church et al., 1989; Colliec et al., 1991; Matou et al., 2002]. Антикоагулянтная активность фукоидана является результатом прямого взаимодействия фукоидан → тромбин [Graufel et al., 1989] и, обычно, увеличивается с увеличением количества сульфатных групп [Church et al., 1989; Добровольский, Титаева, 2013]. Исследования на животных показали, что фукоидан, выделенный из бурой водоросли *S. japonica*, влияет на гемостаз крови крыс. В низких дозах фукоидан ингибирует внутренний путь свертывания крови, а при увеличении вводимой дозы ингибирует и внешний, и внутренний пути гемостаза. Удлинение теста тромбинового времени под действием фукоидана свидетельствует о способности полисахарида влиять на завершающий этап процесса свертывания крови. Проведённые исследования показали, что степень антикоагулянтной активности фукоидана из *S. japonica* может быть сопоставима с таковой у гепарина. В то же время фукоидан, в отличие от гепарина, не обладает таким побочным эффектом, как тромбоцитопения [Шокур и др., 2013].

Как показали исследования, фукоидан имеет даже некоторые преимущества перед гепарином: 1 — он показывает зависимое от концентрации ингибирование процесса образования тромбина тромбоцитами; 2 — у него отсутствует гипотензивный эффект, характерный для тромбина. В эксперименте на кроликах было показано уменьшение прилипания полиморфноядерных лейкоцитов к их аорте, а также дозозависимое ингибирование тромбин-индуцированного тромбоза [Trento et al., 2001].

Исследованиями на людях было показано, что фукоиданы могут быть использованы для антикоагулянтной терапии у больных с врождённым или приобретённым дефицитом антитромбина III тогда, когда гепарин неэффективен [Shanmugam, Mody, 2000], а также при риске тромбообразования в процессе лечения больных от COVID-19 и осложнений, сопутствующих этому заболеванию. С другой стороны, эти эффекты очень важны и при многих других заболеваниях, так как образование тромбов в сосудах может привести к инфаркту миокарда и другим тяжёлым последствиям. И наоборот, снижение активности свёртывающей системы, и повышение текучести крови улучшают микроциркуляцию и обмен веществ в целом, предупреждают осложнения сердечно-сосудистых заболеваний [Вайс, Елькманн, 1996].

Пандемия коронавируса SARS-CoV-2, вызывающего атипичную пневмонию COVID-19 и, как следствие, тромбоз сосудов показала необходимость тщательного подбора рациона человека в новых условиях, чтобы помочь ему в укреплении иммунитета, в борьбе с вирусом и предотвращении тяжёлых последствий. На данном этапе развития знаний о фукоиданах, как

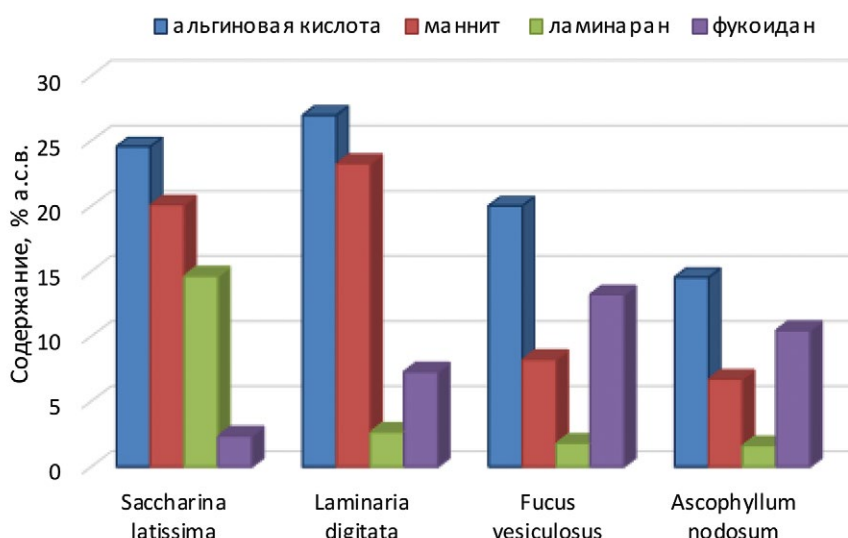


Рис. 2. Содержание основных БАВ в промысловых бурых водорослях Белого моря

Fig. 2. The content of the main biologically active substances in commercial brown algae of the White Sea

о противовирусных соединениях, H.J. Fitton с соавт. рекомендуют использовать эти полисахариды в качестве дополнительных средств для ограничения патологических процессов, вызванных респираторными вирусами, в том числе SARS-CoV-2, путём восстановления врождённых иммунных функций и подавления воспалительного процесса [Fitton et al., 2021]. В научных работах были опубликованы данные о противовирусном потенциале различных полисахаридов, в том числе фукоиданов, полученных из водорослей и механизме их действия [Pagarete et al., 2021].

Исследования показали, что гепариноподобные вещества могут быть не только химической природы, но и в виде натуральных, выделенных из биологических объектов и введённых в пищевые продукты (БАД, СПП и ФПП) при их изготовлении и, содержащих, например, фукоиданы. Сульфатированные полисахариды (фукоиданы) морских водорослей могут быть также использованы как потенциальные средства профилактики и в комплексной терапии гриппа и COVID-19 [Беседнова и др., 2021].

Фукоиданы хорошо экстрагируются водой и в слабых растворах [Подкорытова, 2005]. При этом основная часть биоактивных веществ бурых водорослей, в том числе и фукоиданы, переходит в экстрагент, в качестве которого используют воду, кислые растворы, спирты и другие растворители. Однако при восстанов-

лении сушёных водорослей в воде, как правило, происходят непредвиденные и невосполнимые потери БАВ. В табл. 3 представлены данные химического состава водных подкисленных экстрактов бурых водорослей Белого моря [Подкорытова и др., (в печати)].

Экстракты из *F. vesiculosus* и *A. nodosum* в значительных количествах содержат фукоиданы, ламинаран, альгинат, растворимые в воде протеины, а также минеральные микроэлементы и маннит. Содержание йода колеблется от 0,01 до 0,02 % в расчёте на сухое вещество. Экстракты из *S. latissima* содержат заметно меньше фукоидана, но больше маннита, белка, растворимой формы альгината, а также йода. Экстракт из *S. latissima* отличается высоким содержанием ламинарана. Исследования моносахаридного состава экстрактов показали, что экстракты из *F. vesiculosus* и *A. nodosum* содержат фукозу, ксилозу, маннозу, глюкозу и галактозу. Экстракты из *S. latissima* содержат те же моносахариды за исключением ксилозы (см. табл. 4).

В последнее время были исследованы антибактериальные свойства двух фракций фукоидана (сырой фукоидан и очищенный) из бурой водоросли *F. vesiculosus* Баренцева моря. Для обеих фракций фукоидана бактериостатический эффект с минимально ингибирующими концентрациями (МИК) в диапазоне от 4 до 6 мг/мл наблюдался на *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*

Таблица 3. Химический состав водных подкисленных экстрактов из бурых водорослей Белого моря

Table 3. Chemical composition of acidified aqueous extracts from brown algae of the White Sea

Наименование компонента	Водный экстракт (ВЭ) из:		
	<i>F. vesiculosus</i>	<i>A. nodosum</i>	<i>S. latissima</i>
	Содержание, % сухого вещества		
Минеральные вещества	39,0	35,1	36,6
Азотистые вещества ($N_{\text{общ}} \times 6,25$)	4,5	5,4	6,8
Маннит	15,7	12,5	23,6
Фукоидан	8,7	9,6	2,1
Ламинаран	6,1	6,0	17,7
Альгинат	3,0	3,0	3,9
Йод	0,01	0,02	0,1–0,3

Таблица 4. Состав и содержание моносахаридов в экстрактах из бурых водорослей Белого моря

Table 4. Composition and content of monosaccharides in extracts from brown algae of the White Sea

Водный экстракт (ВЭ) из:	Содержание, % в расчёте на сухое вещество					Сумма
	Фукоза	Ксилоза	Манноза	Глюкоза	Галактоза	
<i>F. vesiculosus</i>	1,7	0,3	25,7	8,1	0,2	36,1
<i>A. nodosum</i>	2,8	0,1	22,5	6,0	0,2	31,5
<i>S. latissima</i>	0,97	–	53,6	17,7	0,39	72,7

и *Bacillus licheniformis*, причём, *E. coli* была наиболее чувствительна к каждой из фракций. Очистка сырого фукоидана, включающая обработку CaCl_2 , привела к снижению средней молекулярной массы фукоидана, изменению его моносахаридного состава, снижению содержания сульфатов, удалению урсонной кислоты и, как следствие, к снижению его антимикробной активности [Aragarayan et al., 2021]. Очевидно, что процедура получения высокоочищенных препаратов фукоидана снижает его антимикробную активность, хотя и не уничтожает совсем. В настоящее время развивается направление использования фукоиданов в технологии получения таблеток, и проводятся исследования биофармацевтических характеристик новой продукции [Облучинская и др., 2020].

Полифенолы (Polyphenoly) (гидроксibenзол) бурых водорослей являются одной из наиболее значительных групп соединений, определяющих их фармакологическое значение [Боголицын и др., 2018; Облучинская, Захарова, 2020]. Бурые водоросли накапливают полифенольных соединений от 14 до 20% от сухой массы водорослей, главным образом, представлены флороглюцином (1,3,5-тригидроксibenзола) и его полимерами — флоротанниннами. В связи с высокой фармакологической активностью фенольных соединений, характеризующихся присутствием флоротаннинов, проводятся многочисленные исследования различных видов бурых водорослей с целью получения исчерпывающей информации об их фенольном потенциале и понимания некоторых вопросов, связанных с применяемыми процедурами экстракции, методами определения и количественной оценки, для облегчения сравнения результатов разных исследований [Mekinic et al., 2019].

Флоротаннины состоят только из флороглюцина (1,3,5-тригидроксibenзола). Это химические структуры различной молекулярной массы, которые были идентифицированы у видов *Ecklonia*, *Eisenia* и *Ishige* [Thomas, Kim, 2011]. С тех пор, как они были обнаружены ещё в 70-х годах 20-го века, флоротаннины были предложены в качестве основного фактора, ответственного за антимикробную активность, приписываемую экстрактам водорослей. В настоящее время кумулятивные исследования *in vitro* и *in vivo* свидетельствуют о разнообразной биоактивности экстрактов флоротаннина, таких как противодиабетические, противораковые и антибактериальные, что указывает на их потенциальное фармакологическое и пищевое применение в качестве БАД. Однако биологические исследования и клинические испытания немногочисленны, и поэтому многие полезные для здоровья эф-

фекты флоротаннинов (полифенолов) у людей ещё не подтверждены.

Существуют сведения о недавних исследованиях по оценке противодиабетической и противоопухолевой активности флоротаннинов. Обсуждается их способность предотвращать и контролировать прогрессирование этих неинфекционных заболеваний с учётом исследований на животных, а также некоторых клинических испытаниях. В основном эти исследования относятся к использованию только изолированных экстрактов с флоротаннинами или экстрактов ими обогащённых. Множество проведённых исследований показывают противодиабетический и противораковый потенциал флоротаннинов, но сообщают, что необходимы дальнейшие клинические испытания, чтобы окончательно продемонстрировать эффективность этих соединений в качестве адъювантов для профилактики или лечения диабета и рака [Erpel et al., 2020]. Кроме того, полифенолы бурых водорослей обладают высокой антиоксидантной активностью и противомикробным действием. В одной из последних опубликованных работ A. Silva с соавторами представлены обширные данные по влиянию экстрагирующего растворителя на выход экстрактов, содержание в них фенолов, антиоксидантную способность и антимикробную активность девяти видов бурых макроводорослей (*Ascophyllum nodosum*, *Himanthalia elongata*, *Undaria pinnatifida*, *Pelvetia canaliculata*, *Saccharina latissima*, *Bifurcaria bifurcata*, *Sargassum muticum* и *Fucus spiralis*). Были установлены общее содержание фенолов (TPC) и антиоксидантные свойства экстрактов, полученных из этих водорослей. Авторы определяли активность по улавливанию радикалов (DPPH-RSA) и антиоксидантную способность восстановления железа (FRAP). Антимикробная активность экстрактов была изучена в отношении шести различных микроорганизмов пищевого происхождения: *S. aureus*, *S. epidermidis*, *Bacillus cereus*, *E. coli*, *Salmonella enteritidis* и *Pseudomonas aeruginosa*. Самые высокие значения TPC и FRAP были получены для этилацетатных экстрактов, особенно из *A. nodosum*. Что касается видов водорослей, то самые высокие значения TPC и FRAP были также обнаружены у *A. nodosum*. Антимикробная активность экстрактов водорослей варьировалась в зависимости от выбранного растворителя и вида водорослей. При этом экстракты *B. bifurcata* показали самые высокие результаты для широкого круга бактерий. Полученные авторами результаты дают представление о характеристиках широко распространённых бурых водорослей в прибрежной зоне Северо-Западного региона Пиренейского полуострова, отражающих многочисленные оздоровительные свойства, которые могут привести

к их использованию в пищевой, фармакологической и косметической отраслях [Silva et al., 2021]. В некоторой степени эти данные могут распространяться и на водоросли Северной Атлантики, поскольку в числе изученных A. Silva с соавторами находятся виды, свойственные Белому и Баренцеву морям – это *A. nodosum*, *S. latissima* и водоросли рода *Fucus sp.*

Российскими учёными были проведены исследования химического состава бурых водорослей *A. nodosum* и *F. vesiculosus* Белого и Баренцево морей, которые показали, что ими были обнаружены довольно средние количества альгиновых кислот 11,2–17,7% и 14,5–18,5% и маннита 8,0–8,4% и 12,1%. Содержание фукоидана, напротив, было довольно высоким и составляло 10,3–11,7% и 14,7–15,2% соответственно. Общее содержание полифенолов для исследуемых водорослей было в диапазоне от 14,6 до 15,9%, при этом максимальное значение концентрации полифенолов найдено в водоросли вида *F. vesiculosus* из Белого моря (18,4%) [Клиндух, Облучинская., 2013]. Такое высокое содержание фукоидана и полифенолов в фукусовых водорослях Белого и Баренцево морей свидетельствует о возможности их использования для получения этих важных, особенно, в настоящее время БАВ с целью применения для профилактики и лечения вирусных и др. заболеваний. Высокая степень биологической активности полифенольных соединений обуславливает перспективность практического их применения в качестве лечебных и профилактических средств в пищевой, косметической, медицинской и фармакологической отраслях [Боголицын и др., 2018].

В одной из последних работ опубликованы данные о свойствах экстрактов полифенолов, полученных из морских бурых водорослей семейств Laminariaceae, Alariaceae, Arthrothamnaceae, Costariaceae, Cystoseiraceae и Fucaceae, произрастающих в прибрежных зонах Дальневосточных морей России. Показано, что выход полифенолов из водорослей определяется их видовой принадлежностью и зависит от природы используемого экстрагента (вода или 70%-ный этиловый спирт). По сумме полифенолов и их антиоксидантной активности максимальный эффект проявляли этанольные экстракты из водорослей родов *Agarum*, *Thalassiophyllum*, *Fucus*, *Stephanocystis* и *Arthrothamnus*.

Высокой эффективностью характеризовались водные экстракты из водорослей родов *Saccharina*, *Alaria* и *Costaria*. Наибольший выход суммы полифенолов с высокой антиоксидантной активностью, в том числе флоротаннинов, определён для экстрактов из *Agarum turneri*. К перспективным источникам полифенолов отнесены – *Fucus evanescens*, *Thalassiophyllum*

clathrus и *Stephanocystis crassipes*. Водный экстракт из *Costaria costata* также отнесён к экстрактам с высокой антиоксидантной активностью [Аминина и др., 2020].

Ламинаран – гомополисахарид с линейной либо со слабо разветвлённой структурой. Линейная и боковые цепи построены из звеньев остатков β-D-глюкопиранозы, соединённых β-(1→3)-гликозидными связями. Ламинаран содержится в талломе водорослей в двух различных формах, аналогичных по химической структуре, но различающихся по растворимости в холодной воде и осаждению из неё при добавлении спирта. Особенно много его обнаруживают в ламинарии сахаристой (*Saccharina latissima* (L.) Lane, Mayers, Druehl et Saund). Ламинараны – низкомолекулярные β-1,3–1,6-глюканы являются резервным полисахаридом бурых водорослей семейства ламинариевых, накапливаются в растениях в процессе роста и развития. Содержание ламинарана в водорослях Белого моря варьирует от 0,5 до 10% в зависимости от порядка и вида. В отдельных случаях содержание ламинарана может достигать 20–22% в *S. latissima* [Облучинская, 2020]. Ламинараны являются ингибиторами роста и развития вирусов, обладают свойствами антикоагулянта, удлиняют время свёртывания крови. Они уменьшают содержание липидов, в т.ч. холестерина, в сыворотке крови, повышают резистентность организма к бактериальным, вирусным, грибковым, паразитарным инфекциям. Ламинараны активируют антиинфекционную защиту, в связи с этим их применяют в качестве стимуляторов при вторичных иммунодефицитах [Усольцева и др., 2019].

Маннит (Mannitol) – низкомолекулярный углевод бурых водорослей. В тканях водорослей образуется в результате специфических особенностей процессов биосинтеза и ассимиляции. Маннит один из первых и основных продуктов фотосинтеза, выполняющего функцию запасного вещества, которое используется в синтезе структурных элементов клеточных стенок макрофитов и при этом выполняет важную для бурых водорослей осморегуляторную функцию. Уровень накопления маннита у Phaeophyceae колеблется от 5,0 до 23,3% в расчёте на сухое вещество (см. табл. 2, рис. 2). Этот показатель определяет ценность водорослей как сырья для получения природного кристаллического D-маннита. Содержание маннита в бурых водорослях, также как и альгиновой кислоты, варьирует в зависимости от вида водоросли, района произрастания, сезона сбора. Наиболее высоким содержанием маннита (20–22%) характеризуются бурые водоросли семейства ламинариевых (Laminariaceae) [Подкору-

това, 2005; Облущинская, 2021]. Меньше всего маннита содержится в водорослях в зимне-весенние месяцы (1–4%), к июлю-августу его количество значительно возрастает. Маннит используется как медицинское средство: это высокоэффективный диуретик, заменитель сахара для диабетиков, антисептик.

Минеральные вещества. Содержание минеральных веществ в бурых водорослях, произрастающих в Белом и Баренцевом морях колеблется в пределах 16–44% (см. табл. 2). Главным образом, это жизненно необходимые макро- и микроэлементы, такие как кальций, натрий, калий, магний, кальций, хром, селен, медь, йод и др. Они необходимы для нормальной жизнедеятельности человека. Рекомендуемые нормы суточного потребления макро- и микроэлементов, согласно МР 2.3.1.2432–08, а также их количественное содержание в *F. vesiculosus*, *F. distichus*, *A. nodosum* представлены в табл. 5.

Из представленных данных микро- и макроэлементного состава, очевидно, что все эти водоросли характеризуются высоким содержанием макроэлементов и могут быть использованы как источник этих важных для человека компонентов метаболизма. Следует отметить, что в водорослях содержатся не менее важные микроэлементы, такие как кобальт, никель, кремний, алюминий, олово, бор, литий, ванадий. Их присутствие не велико, но они играют немаловажную роль в функционировании всего живого.

Азотсодержащие вещества (белок) ламинариевых и фукусовых водорослей содержат комплекс аминокислот, таких как тирозин, треонин, пролин, серин, фенилаланин, аргинин, аланин, метионин, цистеин, валин, лизин, глицин, лейцин, изолейцин, гистидин, а также аспаргиновую и глутаминовую кислоты. Общее содержание белка колеблется в *F. vesiculosus* пределах 4,3–15,0%, в *A. nodosum* 4,7–9,0%, в ламинариевых

Таблица 5. Микро- и макроэлементный состав биомассы бурых водорослей порядка Fucales, собранных в летний и осенний период (Белое море)

Table 5. Micro- and macroelement composition of brown algae biomass of the order Fucales, collected in summer and autumn (White Sea)

Элемент	Символ	Суточная норма по МР 2.3.1.2432–08	Содержание, мг/100 г продукта					
			<i>F. vesiculosus</i>		<i>F. distichus</i>		<i>A. nodosum</i>	
			1	2	1	2	1	2
Макроэлементы								
Кальций *	Ca	1000 мг	1508,1	991,2	961,1	1074,3	1219,1	1464,8
Магний *	Mg	400 мг	950	779,4	651,7	688,1	523,2	567,3
Натрий *	Na	1300 мг	1965,1	2718,3	2134,8	2436,2	1430,0	2152,7
Калий *	K	2500 мг	3013	3119,6	3535,1	3601,2	1620,2	2628,2
Фосфор *	P	800 мг	389,9	333,8	345,4	426,5	620,0	940,4
Микроэлементы								
Кобальт*	Co	0,01 мг	0,121	0,102	0,138	0,208	0,831	0,645
Никель	Ni		0,685	0,386	0,563	0,716	0,158	0,229
Кремний	Si	30 мг	123,3	226,0	309,9	242,9	174,3	206,1
Хром*	Cr	0,05 мг	1,93	3,04	3,423	2,981	9,72	10,4
Алюминий	Al		20,35	9,22	20,9	14,5	6,70	11,1
Олово	Sn		0,019	0,238	0,019	0,02	0,014	0,013
Бор	B		65,9	17,5	13,9	12,2	8,88	10,02
Медь*	Cu	1 мг	0,21	0,15	1,42	0,17	0,23	0,16
Литий	Li		0,436	0,036	0,035	0,044	0,087	0,107
Железо*	Fe	10 мг (муж) /18 мг (жен)	88,9	52,8	85,2	48,3	31,2	43,5
Цинк	Zn	12 мг	2,17	6,74	7,76	5,17	5,05	5,73
Ванадий	V		0,587	0,297	0,125	0,038	0,542	0,234
Марганец	Mn	2 мг	2,62	1,58	1,62	2,14	1,88	3,64
Селен*	Se	0,075 мг (муж) / 0,055 мг (жен)	0,04	<0,0004	0,02	0,066	0,144	0,268

Примечание: * – жизненно необходимые микро- и макроэлементы; 1 – собраны в летний период; 2- собраны в осенний период.

7,0–18,0% (см. табл. 2). На долю свободных аминокислот приходится 50% азотсодержащих веществ водорослей, которые легко экстрагируются водой, в слабых растворах и растворах спиртов. Очевидно, что все белки, обнаруживаемые в экстрактах из бурых водорослей, относятся к свободным аминокислотам (см. табл. 3).

Йод – как микроэлемент входит в состав белка бурых водорослей в виде моно- и дийодаминокислот – это моно- и дийодтирозин, дийодтиронин и тироксин, а также – в состав других органических и минеральных веществ [Репина 2005; Подкорытова, 2005]. Минеральные формы йода представлены иодидами и иодатами. Содержание йода в бурых водорослях зависит от их возраста, сезона сбора, порядка и вида, а также зависит от экологических факторов. Бурые водоросли порядка ламинариевых (*Laminariales*) накапливают йода в 5–10 раз больше, чем водоросли порядка фукусковых (*Fucales*). В ламинариевых водорослях содержание йода в среднем составляет: *S. latissima* – 0,31%, *L. digitata* – 0,25%; в фукоидах: *A. nodosum* – 0,037% и *F. vesiculosus* – 0,027% (см. рис. 3). Часть йода бурых водорослей, представленная йодорганическими соединениями, хорошо усваивается организмом [Подкорытова и др., 2020]. Морские бурые водоросли давно и успешно применяются в качестве исходного сырья при изготовлении йодсодержащих БАД, применяемых для ликвидации йоддефицита у населения [Подкорытова, Вишневская, 2003 а, б].

Липиды. Общее содержание липидов в бурых водорослях колеблется в пределах 0,5–6,6%. Для них характерно содержание триглицеридов, ненасыщенных жирных кислот, это в основном линоленовая и линолевая кислоты [Хотимченко, 2003].

Наши исследования жирнокислотного состава липидов бурых водорослей, собранных в прибрежной

зоне Белого моря (см. табл. 6) показали, что их состав представлен эйкозатетраеновой (11,7%), эйкозапентаеновой (8,8%), докозагексаеновой (3,6%), а также миристиновой (12,3%), пальмитиновой (21,2%) ЖК. Содержание некоторых полиненасыщенных жирных кислот семейства ω -3, таких как эйкозапентаеновая, докозагексаеновая, линоленовая колеблется в пределах 0,9–8,8% от общего количества липидов, что характеризует их как источник этих важных БАВ для функционирования организма человека.

Пигментный комплекс бурых водорослей, придающий им характерную бурую окраску, очень специфичен и содержит фукоксантин, который в сочетании с *b*-хлорофиллом, хлорофиллом *a*, *c*; *e*-каротином определяет цвет зрелых слоевищ и обладает широким спектром биологических активностей. В фукусковых водорослях содержатся: хлорофилл *a*, хлорофилл *c*, фукоксантин, неоксантин и – каротиноиды, а также витамины: *C*, *A* (ретинол), *B*₂ (рибофлавин) и другие [Репина, 2005]. Результаты наших исследований содержания пигментов в фукусах Белого моря представлены в табл. 7 [Игнатова и др., 2021].

В научной литературе хорошо описаны общетонизирующие и биостимулирующие свойства пигментов бурых водорослей. Показана их гемостимулирующая, противовоспалительная и стимулирующая регенерацию тканей активности. Пигментный комплекс водорослей обладает ранозаживляющим, бактерицидным и противовирусным действием [Коровкина, 2007; Беседнова и др., 2015].

Витамины. Морские бурые водоросли-макрофиты содержат довольно широкий набор витаминов, таких как *A* (до 10 мг/кг сух. веса), *E* (до 64 мг/кг), *D*₃ (до 0,11 мг/кг), *B*₁ (6,8 мг/кг), *B*₂ (6,0 мг/кг), *B*₃ (18,5 мг/кг), *B*₆ (151 мг/кг), *B*₁₂ (0,1 мг/кг), витамин *C* (151 мг/кг) [Облучинская, 2005; Репина, 2005].

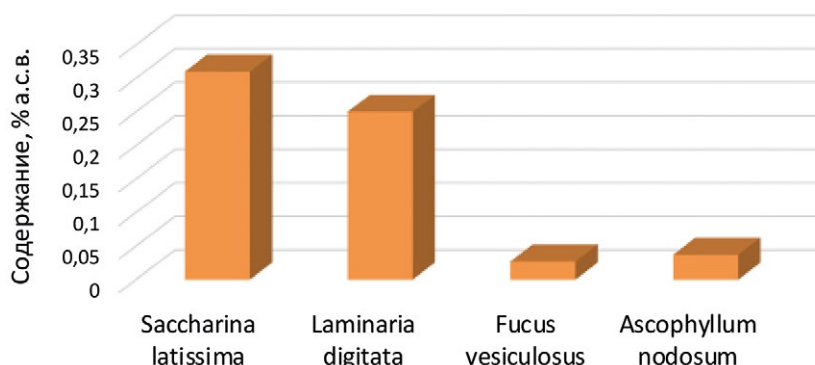


Рис. 3. Содержание йода в промысловых бурых водорослях Белого моря
Fig. 3. Iodine content in commercial brown algae of the White Sea

Таблица 6. Жирнокислотный состав липидов бурых водорослей порядка Fucales (Белое море)
Table 6. Fatty acid composition of lipids from brown algae of the order Fucales (White Sea)

Жирные кислоты	Содержание, % от общей суммы жирных кислот					
	<i>F. vesiculosus</i>			<i>F. distichus</i> * (0,36%)	<i>A. nodosum</i> (0,42%)	
	(3,12%) **	(1,43%) *	***		*	***
14:0 (миристиновая)	12,286	11,851	15,3	10,593	9,220	8,9
16:0 (пальмитиновая)	14,758	12,869	13,3	21,187	14,872	9,5
16:1ω7 (пальмитолеиновая)	1,159	1,450	2,4	3,107	2,320	3,9
18:0 (стеариновая)	0,709	1,586	не опр.	2,126	1,553	не опр.
18:1ω9 (олеиновая)	26,305	38,517	48,8	29,800	44,838	44,1
18:2 (линолеадиновая)	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	8,777	не опр.
18:2ω6 (линолевая)	11,017	8,190	не опр.	12,935	1,701	не опр.
18:3ω3 (ветта-линоленовая)	0,401	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
18:3 (альфа-линоленовая)	6,867	1,371	не опр.	2,138	не опр.	не опр.
20:4ω6 (арахидоновая)	11,700	4,049	4,0	3,624	7,255	7,2
22:1 (эруковая)	0,993	1,837	не опр.	4,293	0,202	не опр.
20:5ω3 (эйкозапентаеновая)	8,834	9,692	не опр.	2,544	3,054	1,8
22:6 (докозагексаеновая)	0,615	3,639	не опр.	2,022	0,940	не опр.
Прочие	4,356	8,742	не опр.	5,631	5,268	не опр.
ΣНасыщенные	29,071	27,225	28,700	36,900	26,478	не опр.
ΣМононенасыщенные	29,873	43,122	52,700	38,977	48,574	не опр.
ΣПолиненасыщенные	41,059	29,652	4,000	24,123	24,948	не опр.

Примечание: * – метод Сокслета; ** – метод Блайя и Дайера; *** – литературные данные [Облучинская, 2005].

Таблица 7. Состав и содержание пигментов в свежесобраных бурых водорослях порядка Fucales (Белое море), собранных в летний и осенний период

Table 7. Composition and content of pigments in freshly harvested brown algae of the order Fucales (White Sea), collected in summer and autumn

Наименование пигмента	Содержание, мг/г водорослей					
	<i>A. nodosum</i>		<i>F. vesiculosus</i>		<i>F. distichus</i>	
	1	2	1	2	1	2
Хлорофилл <i>a</i>	0,084	0,119	0,010	0,389	0,108	0,325
Хлорофилл <i>b</i>	0,014	0,014	0,003	0,070	0,018	0,046
Σ хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i>	0,098	0,132	0,013	0,458	0,125	0,371
Фукоксантин	0,103	0,082	0,038	0,336	0,149	0,228
Виолаксантин	0,060	0,054	0,020	0,196	0,076	0,143
β-каротин	0,050	0,040	0,018	0,164	0,073	0,112
Лютеин	0,054	0,044	0,019	0,180	0,069	0,124
Лютеин-5,6-эпоксид	0,058	0,056	0,021	0,202	0,074	0,146
Ауроксантин	0,087	0,093	0,029	0,288	0,111	0,214
Неоксантин	0,067	0,054	0,023	0,217	0,085	0,152
Антраксантин	0,057	0,049	0,021	0,195	0,072	0,135
Зеаксантин	0,053	0,042	0,019	0,173	0,077	0,118
Сумма	0,687	0,646	0,221	2,409	0,911	1,743

Примечание: 1 – собраны в летний период, 2 – собраны в осенний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящее время бурые водоросли семейств Laminariales и Fucales (класс Phaeophyceae) рассматриваются как перспективные источники БАВ, которые положительно влияют на метаболизм, функции органов и, в целом, на здоровье человека.

В связи с систематическими исследованиями в последние десятилетия значительно возросло число открытых биоконпонентов из макро-водорослей с определённой биологической активностью. Однако, несмотря на интенсивные исследовательские усилия академических и прикладных учреждений, ещё очень мало продуктов с реальным потенциалом было выявлено, выделено и реализовано в виде продукции. Фукоиданы, полифенолы, альгиновые кислоты – это вещества, которым в настоящее время наибольшее внимание уделяется фармацевтическими учреждениями, и они используются при разработке лекарств или в области исследований, связанных с медициной. Кроме того, их предполагается использовать в качестве противовирусных и антикоагулянтных веществ, а также в качестве возможного средства для лечения рака лёгких и других опухолей, диабета и в комплексной терапии гриппа и COVID-19. Обсуждаются потенциальные фармацевтические, медицинские и исследовательские применения БАВ бурых водорослей и их использование при разработке СПП и ФПП.

Вклад в работу

Подкорытова А.В. – Существенный вклад в замысел исследования, сбор аналитических данных, их анализ и интерпретация. Рощина А.Н. – сбор данных литературы, обзор собственных исследований, оформление. Редактирование, обсуждение текста – совместно.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа финансировалась в рамках Государственного задания 2021 г. ФГБНУ «ВНИРО» по подтеме 5.3 «Разработка и совершенствование технологий комплексной переработки промысловых и потенциально промысловых водорослей-макрофитов и морских трав прибрежных зон морей Российской Федерации», Государственной работы «Проведение прикладных исследований».

ЛИТЕРАТУРА

- Аминина Н.М., Вишневецкая Т.И., Караулова Е.Н., Епур В.П., Якуш Е.В. 2020. Перспективы использования промысловых и потенциально промысловых бурых водорослей дальневосточных морей в качестве источника полифенолов // Биология моря. Т. 46. № 1. с. 37–44. DOI: 10.31857/S0134347520010027.
- Беседнова Н.Н., Звягинцева Т.Н., Андрюков Б.Г., Запорожец Т.С., Кузнецова Т.А., Крыжановский С.П., Гусева Л.Г., Щелканов М.Ю. 2021. Сульфатированные полисахариды морских водорослей как потенциальные средства профилактики и терапии гриппа и COVID-19 // Антибиотики и химиотерапия. Т. 66. № 7–8. С. 50–66. DOI 10.37489/0235–2990–2021–66–7–8–50–66.
- Беседнова Н.Н., Кузнецова Т.А., Запорожец Т.С., Звягинцева Т.Н. 2015. Морские бурые водоросли – источник новых фармацевтических субстанций антибактериальной направленности // Антибиотики и химиотерапия. Т. 60. (3–4). С. 31–41.
- Блинова Е.И. 2007. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России (флора, распространение, биология, запасы, марикультура). М.: Изд-во ВНИРО. 114 с.
- Боголицын К.Г., Дружинина А.С., Овчинников Д.В., Каплицин П.А., Шульгина Е.В., Паршина А.Э. 2018. Полифенолы бурых водорослей // Химия растительного сырья. № 3. С. 5–21. DOI: 10.14258/jcrpm.2018031898.
- Глубоковский М.К., Тарасюк С.Н., Зверькова Л.М., Семьян Л.В., Мурзов Н.Н., Петрова Н.В., Бражник С.Ю., Скакун В.А. 2012. Сырьевая база российского рыболовства в 2012 году: Районы российской юрисдикции. М.: Изд-во ВНИРО. 497 с.
- Добровольский А.Б., Титаева Е.В. 2013. Образование тромбина и его функции в системе гемостаза // Атеротромбоз. № 1. С. 66–72.
- Евсеева Н.В. 2014. Структура фитоценозов и динамика ценопопуляций фукусовых водорослей на литорали западного Мурмана // Биоразнообразие и устойчивость живых систем. Тез. XIII Межд. науч.-практ. экологической конф. Белгород: ИД «Белгород» НИУ БелГУ. С. 91–92.
- Игнатова Т.А., Рощина А.Н., Подкорытова А.В. 2021. Технология экстракции комплекса пигментов из фукусов Белого моря // Пищевые технологии: исследования, инновации, маркетинг: сборник трудов по материалам I Междун. науч.-практ. конф. (23–25 сентября 2021 г.) / под общ. ред. Е.П. Масюткина; науч. ред. О.Е. Битютская. КГМТУ. Керчь: КГМТУ. С. 78–83.
- Клиндух М.П., Облучинская Е.Д. 2013. Сравнительное исследование химического состава бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* // Вестник МГТУ, Т. 16. № 3. С. 466–471.
- Корзун В.И., Воронова Ю.Г., Парац А.И., Рогальская Л.А., Подкорытова А.В. 1992. Альгинаты в профилактике внутреннего облучения стронцием // Медицинская радиология. № 3. С. 31–34.
- Коровкина Н.В., Богданович Н.И., Кутакова Н.А. 2007. Исследование состава бурых водорослей Белого моря с целью дальнейшей переработки // Химия растительного сырья. № 1. С. 59–64.
- Кудряшов А.П., Дитченко Т.И., Молчан О.В., Смолич И.И., Яковец О.Г. 2011. Физиология растений: лабораторный

- практикум для студентов биологического факультета. Минск: БГУ. 76 с.
- Облучинская Е.Д. 2005. Технологии лекарственных и лечебно-профилактических средств из бурых водорослей. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 164 с.
- Облучинская Е.Д. 2020. Фитохимические и технологические исследования водорослей Баренцева моря // Труды КНЦ РАН. Т. 11. № 4–7. С. 178–198. DOI 10.37614/2307-5252.2020.11.4.008.
- Облучинская Е.Д., Захарова Л.В. 2020. Сравнительное исследование полифенолов бурых водорослей морей Арктики и Северной Атлантики // Химия растительного сырья, № 4. С. 129–137. DOI 10.14258/jcrpm.2020047755.
- Облучинская Е.Д., Пожарицкая О.Н., Флисюк Е.В., Шиков А.Н. 2020. Оптимизация состава и технологии получения таблеток с фукоиданом и их биофармацевтическая оценка // Химико-фармацевтический журнал. Т. 54. № 5. С. 38–42. DOI 10.30906/0023-1134-2020-54-5-38-42.
- Подкорытова А.В. 2005. Морские водоросли — макрофиты и травы. М.: Изд-во ВНИРО. 175 с.
- Подкорытова А.В., Аминина Н.М., Ковалева Е.А., Корзун В.Н., Парац А.Н. 1992. Изменение сорбционной активности альгиновой кислоты при получении лечебно-профилактической продукции // Известия ТИНРО. Т. 114. С. 146–149.
- Подкорытова А.В., Вафина Л.Х., Муравьева Е.А., Шарина З.Н. 2009. Санитарно-гигиеническая характеристика бурых водорослей Белого и Баренцева морей // Рыбпром № 4. С. 33–39.
- Подкорытова А.В., Вишневская Т.И. 2003 а. Морские бурые водоросли — естественный источник йода // Парафармацевтика. Фармацевтический бюлл. № 2. С. 22–23.
- Подкорытова А.В., Вишневская Т.И. 2003 б. Морские бурые водоросли — естественный источник йода // Парафармацевтика. Фармацевтический бюлл. № 3. С. 18–19.
- Подкорытова А.В., Игнатова Т.А., Рощина А.Н., Котельникова Л.Х. 2021. Морские водоросли дальневосточного и северного рыбохозяйственных бассейнов: запасы, добыча, перспективы использования // Сб. тез. докл. II Межд. науч.-практ. конф. «Инновационные направления интеграции науки, образования и производства» / ред. Масюткина Е.П. Керчь: КГМТУ. С. 253–257.
- Подкорытова А.В., Котельникова Л.Х., Шашкина И.А. 2021. Биогели Витальгар из водорослей семейства Lamnariaceae, их роль в борьбе против COVID-19 // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. Т. 98. № 3–2. С. 153–154. DOI 10.17116/kurort20219803221.
- Подкорытова А.В., Рощина А.Н., Бурова Н.В. 2020. Водоросли-макрофиты прибрежных зон морей северного рыбохозяйственного бассейна: добыча, переработка, обоснование их комплексного использования // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства: Сб. тезисов докладов участников I Междунар. науч.-практ. конф. / ред. Е.П. Масюткина. Керчь: КГМТУ. С. 271–276.
- Подкорытова А.В., Рощина А.Н., Евсеева Н.В., Усов А.И., Головин Г.Ю., Попов А.М. 2020. Бурые водоросли порядков Lamnariales и Fucales Сахалино-Курильского региона: запасы, добыча, использование // Труды ВНИРО. Т. 181. С. 202–223. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-181-235-256.
- Подкорытова А.В., Рощина А.Н., Котельникова Л.Х. (в печати). Научно-практические основы последовательного экстрагирования фукоиданов и энтеросорбентов из бурых водорослей // IX Межд. Балтийский форум. X Межд. науч.-практ. конф. «Пищевая и морская биотехнология» Ч. 8. Калининград: Изд-во БГАРФ.
- Подкорытова А.В., Рощина А.Н., Котельникова Л.Х. 2021. Комплексная технология получения альгината натрия, фукоидансодержащих концентратов и пищевых продуктов из *Saccharina japonica* // Сб. тезисов докладов участников пула науч.-практ. конф. Керчь: КГМТУ. С. 229–233.
- Репина О.И. 2005. Обоснование и разработка технологии биологически активных веществ из фукусовых водорослей Белого моря. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ВНИРО. 24 с.
- Рыбалкина О.Ю., Лопатина К.А., Сафонова Е.А., Ефимова Л.А. 2014. Перспективы использования альгината натрия с различной молекулярной массой в комплексной терапии злокачественных новообразований // Бюллетень ВСНЦ со РАМН. № 5(99). С. 63–67.
- Урванцева А.М., Бакунина Н.Ю., Ким Н.Ю., Исаков В.В., Глазнов В.П., Звягинцева Т.Н. 2004. Выделение очищенного фукоидана из природного комплекса с полифенолами и его характеристика // Химия растительного сырья. № 3. С. 15–24.
- Усов А.И. 2018. Особенности структурного анализа сульфатированных полисахаридов // Фундаментальная гликобиология. Сб. матер. IV Всерос. конф. / ред. С.Г. Литвинцев. Киров: Вятский гос. университет. С. 160–161.
- Усов А.И., Билан М.И. 2009. Фукоиданы — сульфатированные полисахариды бурых водорослей // Успехи химии. Т. 78. № 8. С. 846–862.
- Усольцева Р.В., Звягинцева Т.Н., Ермакова С.П. 2019. Структурное разнообразие ламинаранов бурых водорослей, перспективы их использования // Вестник ДВО РАН. № 5(207). С. 84–89. DOI 10.25808/08697698.2019.207.5.010.
- Ушакова Н.А., Морозевич Е.Е., Устюжанина Н.Е., Билан М.И., Усов А.И., Нифантьев Н.Э., Преображенская М.Е. 2008. Антикоагулянтная активность фукоиданов из бурых водорослей // Биомедицинская химия. Т. 54. № 5. С. 597–606.
- Хотимченко С.В. 2003. Липиды морских водорослей-макрофитов и трав. Структура, распределение, анализ. Владивосток: Дальнаука. 230 с.
- Штильман М.И., Подкорытова А.В., Немцев С.В., Кряжев В.Н., Пешехонова А.Л., Сдобникова О.А., Панов А.В., Свитцов А.А., Фрумин Л.Е., Иванкин А.Н., Волова Т.Г., Жила Н.О., Шишацкая Е.И., Истранов Л.П., Истранова Е.В., Сакварелидзе М.А., Гусаров Д.А., Берковский А.Л., Подгорский В.С., Коваленко Э.А. 2015. Технология биополимеров медико-биологического назначения. Полимеры природного происхождения. М.: Изд. БИНОМ Лаборатория знаний. 328 с.
- Afonso N.C., Catarino M.D, Silva A.M.S., Cardoso S.M. 2019. Brown Macroalgae as Valuable Food Ingredients // Antioxidants. Vol. 8. № 9. P. 365. DOI 10.3390/antiox8090365.
- Ariedea M.B., Candidoia T.M., Morcho J.A L, Robles V.M.V, de Carvahob J.K.M, Babya A.R. 2017. Cosmetic attributes

- of algae: A review // *Algal Research*. 25. P. 483–487. DOI:10.1016/J.ALGAL.2017.05.019.
- Ayrapetyan O.N., Zhurishkina E.V., Lebedev D.V., Kulminskaya A.A., Lapina I.M., Obluchinskaya E.D., Skorik Y.A. 2021. Antibacterial properties of fucoidans from the brown algae *Fucus vesiculosus* L. of the Barents Sea // *Biology*. T. 10. № 1. P.1–17. DOI 10.3390/biology10010067.
- Cardozo K.H.M., Guaratini T., Barros M.P., Falcão V.R., Tonon A.P., Lopes N.P., Campos S., Torres M.A., Souza A.O., Colepicolo P., Pinto E. 2007. Metabolites from algae with economic impact // *Comp. Biochem. Physiol. Part C*. № 146. P. 60–78.
- Church F.C., Meade J.B., Treanor R.E., Whinna H.C. 1989. Antithrombin activity of fucoidan // *J. biol. Chem.* 264: P. 3618–3623.
- Colliec S., Fischer A.M., Tapon-Brethaudiere J., Boisson C., Durand P., Jozefonvicz J. 1991. Anticoagulant properties of a fucoidan fraction // *Thromb. Res.* 64: P. 143–154.
- Erpel F., Mateos R., Peres-Kimenez J., Peres-Correa J. 2020. Phlorotannins: From isolation and structural characterization, to the evaluation of their antidiabetic and anticancer potential // *Food Res Int.* Nov;137:109589. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109589.
- Fitton J.H., Park A.Y., Karpinić S.S., Stringer D.N. 2021. Fucoidan and Lung Function: Value in Viral Infection // *Mar Drugs*. 19, 4, 7 p.
- Graufel V, Kloareg B, Mabeau S, Durand P, Jozefonvicz J. 1989. New natural polysaccharides with potent antithrombotic activity: fucans from brown algae // *Biomaterials*. 10: P. 363–368. DOI: 10.1016/0142–9612(89)90127–0.
- Kordjazi M., Etemadian Y., Shabanpour B., Pourashouri P. 2019. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of fucoidan extracted from two species of brown seaweeds (*Sargassum ilicifolium* and *S. angustifolium*) around Qeshm Island // *Iranian J. of Fisheries Sciences*. C. 18(3). P. 457–475. DOI: 10.22092/IJFS.2018.115491.
- Matou S., Helley D., Chabut D., Bros A., Fischer A-M. 2002. Effect of fucoidan on fibroblast growth factor-2-induced angiogenesis in vitro // *Thromb. Res.* 106: P. 213–221. DOI: 10.1016/s0049–3848(02)00136–6.
- Mekinić I.G., Skroza D., Simat V., Hamed I., Čagalj M., Percović Z.P. 2019. Phenolic Content of Brown Algae (Phaeophyceae) Species: Extraction, Identification, and Quantification // *Biomolecules*. Jun 22; 9(6): 244 p. DOI:10.3390/biom9060244.
- Nguyen P.H., Choi I.-W., Kim S.-K., Jung W.K. 2011. 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. P. 340–343. DOI:10.1002/9781119977087.ch17.
- Ragan M.A., Glombitza K.V. 1986. Phlorotannins, brown algal polyphenolics // *Progress in Phycological Research*, Bristol. V. 4. P. 129–241.
- Richards C., Williams N.A., Fitton, J.H., Stringer D.N., Karpinić S.S., Park A.Y. 2020. Oral fucoidan attenuates lung pathology and clinical signs in a severe influenza A mouse model // *Mar Drugs*. 18, 246. 10 p. DOI:10.3390/md18050246.
- Rodriguez-Amaya D.B. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods // *Printed in the United States of America*. 64 p.
- Salvador N., Garreta A.G., Lavelli L., Ribera M.A. 2007. Antimicrobial activity of Iberian macroalgae // *Sci. Mar.* № 71. P. 101–113. ISSN: 0214–8358.
- Silva A., Rodrigues C., Garcia-Oliveira P., Lourenço-Lopes C., Silva S.A., Garcia-Perez P., Carvalho A.P., Domingues V.F., Barroso F., Delerue-Matos C., Simal-Gandara J., Prieto M.A. 2021. Screening of Bioactive Properties in Brown Algae from the Northwest Iberian Peninsula // *Foods*, 10, 1915. 15 p. DOI:10.3390/foods10081915.
- Smit A.J. 2004. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: A review // *J. Appl. Phycol.* № 16. P. 245–262. DOI:10.1023/B: JAPH.0000047783.36600.ef.
- Thomas NV, Kim Se-K. 2011. Potential pharmacological applications of polyphenolic derivatives from marine brown algae // *Environmental Toxicology and Pharmacology*. V. 32. Is. 3. P. 325–335. DOI: 10.1016/j.etap.2011.09.004.

REFERENCES

- Aminina N.M., Vishnevskaya T.I., Karaulova E.N., Epur V.P., Yakush E.V. 2020. Prospects for the Use of Commercial and Potentially Commercial Brown Algae of the Far Eastern Seas as a Source of Polyphenols // *Biology of the Sea*. Vol. 46. № 1. P. 37–44. DOI: 10.31857/S0134347520010027.
- Besednova N.N., Zvyagintseva T.N., Andryukov B.G., Zaporozhets T.S., Kuznetsova T.A., Kryzhanovsky S.P., Guseva L.G., Shchelkanov M. Yu. 2021. Seaweed-Derived Sulfated Polysaccharides as Potential Agents for Prevention and Treatment of Influenza and COVID-19 // *Antibiotics and Chemotherapy*. V. 66. № . 7–8. P. 50–66. DOI 10.37489 / 0235–2990–2021–66–7–8–50–66.
- Besednova N.N., Kuznetsova T.A., Zaporozhets T.S., Zvyagintseva T.N. 2015. Brown Seaweeds as a Source of New Pharmaceutical Substances with Antibacterial Action // *Antibiotics and Chemotherapy*. V. 60. (3–4). P. 31–41.
- Blinova E.I. 2007. Seaweeds and Seagrasses of the European part of Russia (flora, distribution, biology, resources, mariculture). M.: VNIRO Publish. 114 p.
- Bogolitsyn K.G., Druzhinina A.S., Ovchinnikov D.V., Kaplitsin P.A., Shulgina E.V., Parshina A.E. 2018. Polyphenols of Brown Algae // *Chemistry of Plant Raw Materials*. № . 3. P. 5–21. Doi: 10.14258 / jcprm.2018031898.
- Glubokovsky M.K., Tarasyuk S.N., Zverkova L.M., Semenyak L.V., Murzov N.N., Petrova N.V., Brazhnik S. Yu., Skakun V.A. 2012. Raw Material Base of Russian Fisheries in 2012: Areas of Russian Jurisdiction. M.: VNIRO Publish. 497 p.
- Dobrovolsky A.B., Titaeva E.V. 2013. Thrombin formation and its functions in the hemostatic system // *Atherothrombosis*. № 1. P. 66–72.
- Evseeva N.V. 2014. The structure of phytocenoses and dynamics of cenopopulations of *Fucus* algae in the littoral zone of western Murman // *Biodiversity and stability of living systems. Abstracts. XIII Int. scientific-practical environmental conf.* Belgorod: Publishing House «Belgorod» NRU BelGU. P. 91–92.
- Ignatova T.A., Roshchina A.N., Podkorytova A.V. 2021. Technology of extraction of a complex of pigments from *Fucus* of the White Sea // *Food technologies: research, innovation, marketing. The materials of the I Intern. Scien.-Pract. conf.*

- (September 23–25, 2021) / ed. E.P. Masyutkin; scien. ed. by O.E. Bityutskaya. Kerch: KGMTU. P. 78–83.
- Blindukh M.P., Obluchinskaya E.D. 2013. Comparative study of the chemical composition of brown algae *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum* // Vestnik MGTU, V. 16. № . 3. P. 466–471.
- Korzun V.I., Voronova Yu.G., Parats A.I., Rogalskaya L.A., Podkorytova A.V. 1992. Alginates in the prevention of internal exposure to strontium // Medical Radiology. № . 3. P. 31–34.
- Korovkina N.V., Bogdanovich N.I., Kutakova N.A. 2007. Study of the Brown Algae composition in the White Sea for the purpose of further processing // Chemistry of Plant Raw Materials. № 1. P. 59–64.
- Kudryashov A.P., Ditchenko T.I., Molchan O.V., Smolich I.I., Yakovets O.G. 2011. Plant physiology: laboratory practice for students of the Faculty of Biology. Minsk: BSU, 76 P.
- Obluchinskaya E.D. 2005. Technologies of medicinal and therapeutic-prophylactic agents from brown algae. Apatity: Publishing house of the KSC RAS. 164 P.
- Obluchinskaya E.D. 2020. Phytochemical and technological studies of algae in the Barents Sea // Proceedings of the KSC RAS. Vol.11. № . 4–7. P. 178–198. DOI 10.37614 / 2307–5252.2020.11.4.008.
- Obluchinskaya E.D., Zakharova L.V. 2020. Comparative study of brown algae polyphenols in the Arctic and North Atlantic seas // Chemistry of plant raw materials. № 4. P. 129–137. DOI 10.14258 / jcpm.2020047755.
- Obluchinskaya E.D., Pozharitskaya O.N., Flisyuk E.V., Shikov A.N. 2020. Optimization of the composition and technology of obtaining tablets with fucoidan and their biopharmaceutical evaluation // Chemical and pharmaceutical journal. V. 54. № . 5. P. 38–42. DOI 10.30906 / 0023–1134–2020–54–5–38–42.
- Podkorytova A.V. 2005. Marine macrophytic algae and grasses. M.: VNIRO Publish. 175 p.
- Podkorytova A.V., Aminina N.M., Kovaleva E.A., Korzun V.N., Parats A.N. 1992. Changes in the sorption activity of alginic acid in the process of obtaining therapeutic and prophylactic products // Izvestiya TINRO. V. 114. P. 146–149.
- Podkorytova A.V., Vafina L. Kh., Muravyova E.A., Sharina Z.N. 2009. Sanitary and hygienic characteristics of brown algae in the White and Barents Seas // Rybprom № 4. p. 33–39.
- Podkorytova A.V., Vishnevskaya T.I. 2003 a. Sea brown algae – a natural source of iodine // Parapharmaceuticals. Pharmaceutical Bulletin № 2. p.22–23.
- Podkorytova A.V., Vishnevskaya T.I. 2003 b. Sea brown algae – a natural source of iodine // Parapharmaceuticals. Pharmaceutical Bulletin № . 3. p. 18–19.
- Podkorytova A.V., Ignatova T.A., Roshchina A.N., Kotelnikova L. Kh. 2021. Seaweed of the Far Eastern and Northern fishery basins: reserves, production, prospects for use // II Int. scientific-practical conf. «Innovative directions of integration of science, education and production» / ed. Masyutkina E.P. Kerch: KGMTU. P. 253–257.
- Podkorytova A.V., Kotelnikova L. Kh., Shashkina I.A. 2021. Vitalgar biogels from algae of the Laminariaceae family, their role in the fight against COVID-19 // Questions of balneology, physiotherapy and exercise therapy. V. 98. № . 3–2. P. 153–154. DOI 10.17116 / kurort20219803221.
- Podkorytova A.V., Roshchina A.N., Burova N.V. 2020. Algae-macrophytes of the Seas Coastal Zones of the Northern Fishery Basin: extraction, processing, substantiation of their integrated use // Innovative directions of science, education and production integration. Abstr. of the participants of the I Intern. scien.-pract. conf. / Ed. E.P. Masyutkina. Kerch: KGMTU. P. 271–276.
- Podkorytova A.V., Roshchina A.N., Evseeva N.V., Usov A.I., Golovin G. Yu., Popov A.M. 2020. Brown algae of the orders Laminariales and Fucales from the Sakhalin-Kuril region: stocks, extraction, use // Trudy VNIRO. Vol. 181. P. 202–223. DOI: 10.36038 / 2307–3497–2020–181–235–256.
- Podkorytova A.V., Roshchina A.N., Kotelnikova L. Kh. (in press) Scientific and practical bases of sequential extraction of fucoidans and enterosorbents from brown algae // IX Int. Baltic Forum. X Int. scientific-practical conf. «Food and Marine Biotechnology» Part 8. Kaliningrad: BFFSA Publish.
- Podkorytova A.V., Roshchina A.N., Kotelnikova L. Kh. 2021. Integrated technology for the production of sodium alginate, fucoidan-containing concentrates and food products from *Saccharina japonica* // Coll. abstracts of participants of the pool of scientific and practical. conf. Kerch: KGMTU. P. 229–233.
- Repina O.I. 2005. Substantiation and development of the technology of biologically active substances from fucus algae of the White Sea. Abstract of the thesis. dis. ... cand. tech. sciences. M.: VNIRO. 24 p.
- Rybalkina O. Yu., Lopatina K.A., Safonova E.A., Efimova L.A. 2014. Prospects for the use of sodium alginate with different molecular weights in the complex therapy of malignant neoplasms // Bulletin RSC RAMS. No. 5 (99). P. 63–67.
- Urvantseva A.M., Bakunina N. Yu., Kim N. Yu., Isakov V.V., Glazunov V.P., Zvyagintseva T.N. 2004. Isolation of purified fucoidan from a natural complex with polyphenols and its characteristics // Chemistry of vegetable raw materials. № . 3. P. 15–24.
- Usov A.I. 2018. Features of the structural analysis of sulfated polysaccharides // Fundamental glycobiology. Coll. of materials IV Russian conf. / ed. S.G. Litvinets. Kirov: Vyatka State University. P. 160–161.
- Usov A.I., Bilan M.I. 2009. Fucoidans – sulfated polysaccharides of Brown Algae // Advances of Chemistry. V. 78. № . 8. P. 846–862.
- Usoltseva R.V., Zvyagintseva T.N., Ermakova S.P. 2019. Structural diversity of brown algae laminarans, prospects for their use // Bulletin of the FEB RAS. № . 5 (207). P. 84–89. DOI 10.25808 / 08697698.2019.207.5.010.
- Ushakova N.A., Morozovich E.E., Ustyuzhanina N.E., Bilan M.I., Usov A.I., Nifant'ev N.E., Preobrazhenskaya M.E. 2008. Anticoagulant activity of fucoidans from brown algae // Biomedical chemistry. V. 54. № . 5. P. 597–606.
- Khotimchenko S.V. 2003. Lipids of macrophyte algae and grasses. Structure, distribution, analysis. Vladivostok: Dalnauka. 230 p.
- Shtilman M.I., Podkorytova A.V., Nemtsev S.V., Kryazhev V.N., Peshekhonova A.L., Sdobnikova O.A., Panov A.V., Svitzov A.A., Frumin L.E., Ivankin A.N., Volova T.G., Zhila N.O., Shishatskaya E.I., Istranov L.P., Istranova E.V.,

- Sakvarelidze M. A., Gusarov D. A., Berkovsky A. L., Podgorsky V. S., Kovalenko E. A. 2015. Technology of Biopolymers for Biomedical Purposes. Natural Polymers. Moscow: BINOM Knowledge Laboratory. 328 p.
- Afonso N.C., Catarino M.D., Silva A.M.S., Cardoso S.M. 2019. Brown Macroalgae as Valuable Food Ingredients // *Antioxidants*. Vol. 8. № 9. P. 365. DOI 10.3390/antiox8090365.
- Ariedea M.B., Candido T.M., Morocho J.A.L., Robles V.M.V., de Carvalhob J.K.M., Babya A.R. 2017. Cosmetic attributes of algae: A review // *Algal Research*. 25. P. 483–487. DOI:10.1016/J.ALGAL.2017.05.019.
- Ayrapetyan O.N., Zhurishkina E.V., Lebedev D.V., Kulminskaya A.A., Lapina I.M., Obluchinskaya E.D., Skorik Y.A. 2021. Antibacterial properties of fucoidans from the brown algae *Fucus vesiculosus* L. of the Barents Sea // *Biology*. T. 10. № 1. P.1–17. DOI 10.3390/biology10010067.
- Cardozo K.H.M., Guaratini T., Barros M.P., Falcão V.R., Tonon A.P., Lopes N.P., Campos S., Torres M.A., Souza A.O., Colepicolo P., Pinto E. 2007. Metabolites from algae with economic impact // *Comp. Biochem. Physiol. Part C*. № 146. P. 60–78.
- Church F.C., Meade J.B., Treanor R.E., Whinna H.C. 1989. Antithrombin activity of fucoidan // *J. biol. Chem*. 264: P. 3618–3623.
- Colliec S., Fischer A.M., Tapon-Brethaudiere J., Boisson C., Durand P., Jozefonvicz J. 1991. Anticoagulant properties of a fucoidan fraction // *Thromb. Res*. 64: P. 143–154.
- Erpel F., Mateos R., Peres-Kimenez J., Peres-Correa J. 2020. Phlorotannins: From isolation and structural characterization, to the evaluation of their antidiabetic and anticancer potential // *Food Res Int*. Nov;137:109589. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109589.
- Fitton J.H., Park A.Y., Karpinić S.S., Stringer D.N. 2021. Fucoidan and Lung Function: Value in Viral Infection // *Mar Drugs*. 19, 4, 7 p.
- Graufel V, Kloareg B, Mabeau S, Durand P, Jozefonvicz J. 1989. New natural polysaccharides with potent antithrombic activity: fucans from brown algae // *Biomaterials*. 10: P. 363–368. DOI: 10.1016/0142–9612(89)90127–0.
- Kordjazi M., Etemadian Y., Shabanpour B., Pourashouri P. 2019. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of fucoidan extracted from two species of brown seaweeds (*Sargassum ilicifolium* and *S. angustifolium*) around Qeshm Island // *Iranian J. of Fisheries Sciences*. C. 18(3). P. 457–475. DOI: 10.22092/IJFS.2018.115491.
- Matou S., Helley D., Chabut D., Bros A., Fischer A-M. 2002. Effect of fucoidan on fibroblast growth factor-2-induced angiogenesis in vitro // *Thromb. Res*. 106: P. 213–221. DOI: 10.1016/s0049–3848(02)00136–6.
- Mekinic I.G., Skroza D., Simat V., Hamed I., Cagalj M., Percovic Z.P. 2019. Phenolic Content of Brown Algae (Phaeophyceae) Species: Extraction, Identification, and Quantification // *Biomolecules*. Jun 22; 9(6): 244 p. DOI:10.3390/biom9060244.
- Nguyen P.H., Choi I-W., Kim S-K., Jung W.K. 2011. 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. P. 340–343. DOI:10.1002/9781119977087.ch17.
- Ragan M.A., Glombitza K.V. 1986. Phlorotannins, brown algal polyphenolics // *Progress in Phycological Research*, Bristol. V. 4. P. 129–241.
- Richards C., Williams N.A., Fitton, J.H., Stringer D.N., Karpinić S.S., Park A.Y. 2020. Oral fucoidan attenuates lung pathology and clinical signs in a severe influenza A mouse model // *Mar Drugs*. 18, 246. 10 p. DOI:10.3390/md18050246.
- Rodriguez-Amaya D.B. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods // Printed in the United States of America. 64 p.
- Salvador N., Garreta A.G., Lavelli L., Ribera M.A. 2007. Antimicrobial activity of Iberian macroalgae // *Sci. Mar*. № 71. P. 101–113. ISSN: 0214–8358.
- Silva A., Rodrigues C., Garcia-Oliveira P., Lourenço-Lopes C., Silva S.A., Garcia-Perez P., Carvalho A.P., Domingues V.F., Barroso F., Delerue-Matos C., Simal-Gandara J., Prieto M.A. 2021. Screening of Bioactive Properties in Brown Algae from the Northwest Iberian Peninsula // *Foods*, 10, 1915. 15 p. DOI:10.3390/foods10081915.
- Smit A.J. 2004. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: A review // *J. Appl. Phycol*. № 16. P. 245–262. DOI:10.1023/B: JAPH.0000047783.36600.ef.
- Thomas NV, Kim Se-K. 2011. Potential pharmacological applications of polyphenolic derivatives from marine brown algae // *Environmental Toxicology and Pharmacology*. V. 32. Is. 3. P. 325–335. DOI: 10.1016/j.etap.2011.09.004.

Поступила в редакцию 15.12.2021 г.

Принята после рецензии 21.12.2021 г.