

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МОРСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ И ИХ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

¹А. Л. Горбачев, ²Р. В. Кубасов*

¹ Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Россия

² Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск, Россия

АКТУАЛЬНОСТЬ. Морские водоросли, наряду со всеми остальными водными биологическими ресурсами, имеют огромную хозяйственную и экономическую значимость для всех стран мирового сообщества. Благодаря положительным эффектам биологически активных веществ, содержащихся в них, они широко используются в качестве биологически активных добавок, лекарственных средств, гидроколлоидов (агары, альгинаты, каррагинаны).

ЦЕЛЬ. На основе литературных данных изучить современные знания о химическом составе морских водорослей и их медико-биологических свойствах, которые могут быть использованы человеком.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Использованы литературные источники из международных баз данных Web of Science, Scopus, eLibrary за 25 лет. Ключевые слова в поисковой системе: морские водоросли, биохимический состав, биологически активные свойства, медицинское значение.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Химический состав морских водорослей обусловлен их средой обитания. Они содержат практически все химические элементы, присутствующие в морской воде. Благодаря положительным биологическим эффектам морские водоросли широко используются человеком, особенно в медицине. Среди органических соединений морские водоросли богаты как полисахаридами, липидами, белковыми соединениями, так и витаминами. Основная доля полисахаридов принадлежит альгиновой кислоте и фукоидану. Альгинаты обладают противовоспалительными, сорбирующими и репаративными свойствами, нормализуют обмен веществ. Фукоиданы оказывают антикоагулянтный, антиоксидантный эффекты, ингибируют проникновение вирусов в клетки ткани.

ОБСУЖДЕНИЕ. Морские водоросли богаты белковыми соединениями. Они содержат все незаменимые аминокислоты. Помимо этого, в морских водорослях обнаружены все классы жирных кислот (особенно полиненасыщенных). Наконец, в морских водорослях, подобно наземным растениям, синтезируются многие как водорастворимые, так и жирорастворимые витамины: аскорбиновая кислота, токоферолы, каротины, тиамин, кобаламины и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Морские водоросли можно считать уникальным поставщиком биологически активных компонентов: минералов, белков, полисахаридов, полиненасыщенных жирных кислот, витаминов. Их использование оправдано лечебно-профилактическими целями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, морские водоросли, биоэлементы, полисахариды, липиды, белки, витамины

*Для корреспонденции: Кубасов Роман Викторович, e-mail: romanas2001@gmail.com

*For correspondence: Roman V. Kubasov, e-mail: romanas2001@gmail.com

Для цитирования: Горбачев А. Л., Кубасов Р. В. Химический состав морских водорослей и их медико-биологические свойства // *Морская медицина*. 2023. Т. 9, № 4. С. 26-33, doi: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-4-26-33> EDN: <https://elibrary.ru/FHVCVD>

For citation: Gorbachev A. L., Kubasov R. V. Chemical composition of seaweed and its medical-biological properties // *Marine medicine*. 2023. Vol. 9, No. 4. P. 26-33, doi: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-4-26-33> EDN: <https://elibrary.ru/FHVCVD>

CHEMICAL COMPOSITION OF SEAWEED AND ITS MEDICAL-BIOLOGICAL PROPERTIES

¹Anatoly L. Gorbachev, ²Roman V. Kubasov*

¹North-Eastern State University, Magadan, Russia

²Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

RELEVANCE. Seaweed, along with all the other aquatic biological resources, is of great economic importance for all countries of the world community. Due to positive effects of biologically active substances, contained therein, it is widely used as dietary supplements, drugs, hydrocolloids (agar, alginates, carrageenan).

OBJECTIVE. Based on literature data to study current knowledge about the chemical composition of seaweed and its medical-biological properties, which can be used in life activity.

MATERIALS AND METHODS. The study used literature sources from international databases Web of Science, Scopus as well as the national library system eLibrary. The keywords in the search engine: seaweed, biochemical composition, biologically active properties, medical importance.

RESULTS. The chemical composition of seaweed is due to its habitat. It contains practically all chemical elements, present in seawater. Because of beneficial biological effects, seaweed is widely used by humans, especially in medicine. Among organic compounds seaweed is rich in polysaccharides, lipids, protein compounds as well as vitamins. The main part of polysaccharides belongs to alginic acid and fucoidan. Alginates have anti-inflammatory, sorption and reparative properties, normalize metabolism. Fucoidans have anticoagulant and antioxidant effect, inhibit penetration of viruses into tissue cells.

DISCUSSION. Seaweed is rich in protein compounds. It contains all essential amino acids. Moreover, all classes of fatty acid (especially polyunsaturated) are found in seaweed. Lastly, many water-soluble and fat-soluble vitamins are synthesized in seaweed, like plants on land: ascorbic acid, tocopherols, carotenes, thiamine, cobalamins, etc.

It is concluded that seaweed can be considered a unique supplier of biologically active components: minerals, proteins, polysaccharides, polyunsaturated fats and vitamins. Its use is justified with therapeutic and preventive purposes.

KEYWORDS: marine medicine, seaweed, bioelements, polysaccharides, lipids, proteins, vitamins

Актуальность. Структуру химического состава морских обитателей и, соответственно, их биологические свойства формирует окружающая среда. Вещества, которые содержатся в морской воде, создают своеобразный биохимический портрет флоры и фауны. Морские водоросли относятся к одним из самых распространенных водных обитателей. В практической деятельности человека в наибольшей степени используются представители бурых, красных, и зеленых водорослей [1, 2].

Человек находит широкое применение морским водорослям для различных целей. По использованию в хозяйственной деятельности человека их классифицируют как продукты питания, медикаменты, удобрения, промышленное сырье и т. д. В настоящее время их могут выращивать как на фермах, так и добывать в дикой природе. Крупнейшими мировыми производителями водорослей (в совокупности более 30 млн тонн в год) являются Китай, Индонезия и Филиппины [3]. Основными промысловыми морскими водорослями в России являются бурые водоросли Laminariales и Fucales [4]. Распространенность скоплений водорослей вдоль

морских побережий России неравномерно. Наиболее продуктивные заросли расположены в районе Курильских островов, побережья Охотского моря, острова Сахалин [5, 6]. Не меньшую долю в промысле морских бурых водорослей занимают северо-западные арктические регионы с побережьями Белого и Баренцева морей [7].

Вопросам изучения водорослей уделяется большое внимание в связи с доказанной медико-биологической активностью, проявляемой их экстрактами [8]. Установлено, что они обладают антибактериальным и противовирусным эффектами [9]. Кроме того, ряд исследований подтвердил их значимое противоопухолевое действие. Противоопухолевой природой обладают как цельные морские водоросли и их экстракты, так и различные биологически активные вещества из них, а именно: каротиноиды, биофлавоноиды, хлорофилл, пищевые волокна, полиненасыщенные жирные кислоты [10].

Цель. На основе литературных данных изучить современные знания о химическом составе морских водорослей и их медико-биологических свойствах, которые могут использоваться человеком.

Материалы и методы. Проведен нарративный обзор литературы по вопросам современных знаний о химических и биомедицинских свойствах морских водорослей. Поиск литературных источников осуществлен в международных электронных базах данных Web of Science, Scopus, а также отечественной библиотечной системе eLibrary. Используются источники, имеющие полнотекстовый доступ к электронным библиотекам. Временная глубина охвата анализируемой литературы – последние 20–25 лет, при этом более половины источников составили материалы 5–7-летней давности. Ключевые слова в поисковой системе: морские водоросли, биохимический состав, биологически активные свойства, медицинское значение.

Результаты и обсуждение. Биологическая ценность водорослей обусловлена высоким содержанием в них как неорганических веществ (минералов), так и органических (полисахариды, белок и полиненасыщенные жирные кислоты, витамины).

Морские водоросли содержат практически все химические элементы, присутствующие в воде. Принимая во внимание, что мировой океан представляет собой сложный «коктейль» земных минералов, морские водоросли, постоянно обитающие в нем, сами становятся уникальным источником макро- и микроэлементов. Состав и концентрации минералов могут сильно варьировать. Это зависит от места произрастания водорослей, степени солености воды, времени года и т. п. Содержание минералов в ламинариевых водорослях в полтора-два раза выше, чем в фукусовых.

Водоросли способны избирательно аккумулировать определенные химические элементы, при этом концентрация некоторых из них в талломах водорослей в десятки (кальций), сотни (бром, хром) и тысячи (йод, цинк, барий) раз превышает их содержание в морской воде. В связи с этим в отношении морских минералов используют термин *marine organic drugs* (морские органические препараты) [11, 12].

Полисахариды. Основную часть органических соединений бурых водорослей составляют полисахариды, среди которых наибольшую значимость имеют альгиновая кислота и фукоидан.

Альгиновая кислота преимущественно является продуктом водорослевого происхожде-

ния. В наибольшем количестве она присутствует в бурых водорослях. Содержание альгиновой кислоты в среднем колеблется от 20 до 30 % сухой массы. Количество альгиновой кислоты и ее солей в ламинариевых водорослях составляет 23–28 %; в фукусе пузырчатом оно может достигать 59 % [13].

Альгиновая кислота – сильно обводненный, структурированный гель. Она способна связывать более чем 50-кратное количество воды. Альгинаты, как правило, находятся в стенках клеток, где играют важную структурную роль, способствуя гибкости водорослей, а также удержанию влаги. Благодаря свойствам геля и водоудерживающим характеристикам, альгиновая кислота представляет собой продукт, используемый в ряде промышленных отраслей, включая текстильную, медицинскую, фармацевтическую и косметическую [14].

Альгинаты обладают характерными для пищевых волокон свойствами. Они не расщепляются пищеварительными ферментами в верхних отделах желудочно-кишечного тракта, в неизменном виде достигают толстого кишечника, где селективно ферментируются его микрофлорой. Кроме того, доказано их стимулирующее действие на рост бифидо- и лактобактерий [15].

Хелатирующие свойства, биосовместимость и отсутствие аллергенности обеспечили интерес к использованию альгинатов в медицинских целях. Противовоспалительные, обволакивающие и репаративные свойства альгината натрия успешно применяются при заболеваниях желудочно-кишечного тракта [16].

Экспериментальными исследованиями и клиническими испытаниями доказано, что при гиперлипидемии альгинаты способствовали значительному снижению уровней общего холестерина и триглицеридов в сыворотке крови [17].

Показан иммуномодулирующий эффект альгинатов калия и магния. Экстракты ламинарии обладают выраженной активностью против аэробных и анаэробных бактерий. Антибактериальные, противогрибковые и противовирусные свойства альгинатов во многом обусловлены стимуляцией фагоцитоза [18].

Определен также гипогликемический эффект при применении ламинарии, который связывают с антиоксидантными свойствами. Предполагается также, что полисахариды ла-

минарии способствуют восстановлению β -клеток поджелудочной железы [19].

Кислые полисахариды бурых водорослей и морских трав (морские пектины) способствуют выведению из организма человека токсичных продуктов метаболизма, а также солей тяжелых металлов и радионуклидов. Наиболее активными в отношении ионов двухвалентных металлов, в частности свинца, являются альгинаты кальция, натрия. Альгинат кальция – сильный сорбент. Он связывает и выводит из организма не только стабильные элементы, но и их радиоизотопы, например, изотопы стронция и цезия [20, 21].

Фукоиданы представляют собой сложные сульфатированные полисахариды, состоящие в основном из фукозы и других моносахаров (маннозы, галактозы, ксилозы, глюкозы и др.), а также содержащие уроновые кислоты, ацетильные группы и белки.

Наиболее богатыми источниками фукоиданов среди бурых водорослей являются фукусовые водоросли, от которых они и получили свое название.

Фукоиданы растворимы в воде, не образуют вязких сред, технология их получения может включать в себя экстракцию водой, растворами кислот или солями кальция, дальнейшую обработку ультразвуком или микроволнами [22].

Водорослевый полисахарид фукоидан ассоциирует с растительным аналогом гепарина благодаря схожим антикоагулянтным свойствам. Как и у гепарина один из механизмов ингибирования свертывающих факторов осуществляется посредством активации специфического эндогенного ингибитора — антитромбина-III (АТ-III). В то же время хорошо известен и второй антикоагуляционный путь: посредством прямого ингибирования активности факторов VII, XI, XII свертывания крови. Фукоиданы, действующие по второму механизму, могут применяться при антикоагулянтной терапии у больных с врожденным или приобретенным дефицитом антитромбина АТ III, когда гепарин неэффективен. Для фукоидана характерна и антитромботическая активность, не связанная с проявляемым им антикоагулянтным действием [23].

Известно противовирусное действие фукоиданов за счет ингибирования абсорбции вирусов и их последующей репликации. Препятствие проникновению вирусов в клетки происходит

за счет изменения свойств клеточной поверхности. Таким образом, блокируется первая стадия инфекционного процесса, без которой развитие инфекционного заболевания невозможно. К настоящему времени доказана разрушительная активность фукоиданов в отношении сыпородных гепатитов, простого герпеса, клещевого энцефалита, различных форм птичьего гриппа и геморрагической лихорадки [24].

Фукоиданы модулируют действие вакцин, являются активаторами системы врожденного иммунитета – увеличивают синтез провоспалительных факторов (цитокинов), способствуют активации нейтрофилов, макрофагов, натуральных киллеров, усиливают фагоцитоз, увеличивают синтез интерферона [25].

Установлено, что сульфатированный полисахарид фукоидан и низкомолекулярная альгиновая кислота способствуют усилению роста и накопления биомассы бифидобактерий, то есть проявляют пребиотическую активность [26].

Доказана способность фукоидана снижать уровень холестерина и атерогенных липидов – жиров, повышенный уровень которых в крови способствует развитию и прогрессированию атеросклероза и связанных с ним заболеваний [27].

Наконец, фукоидан является мощным природным антиоксидантом и защищает клетки от повреждения свободными радикалами [28].

Своеобразным механизмом реализуется противоопухолевое действие фукоидана. Доказано, что фукоидан не обладает цитотоксическим эффектом (не дает мощной токсической нагрузки на организм); оказывает воздействие и на первичный очаг опухоли, и на ее метастазы, в том числе отдаленные [29]. Основные механизмы действия: активация апоптоза (программируемой клеточной смерти) опухолевых клеток; подавление сигнального пути NF- κ B (в большинстве опухолевых клеток NF- κ B постоянно активирован. Такая активация не только защищает клетки от апоптоза, но и увеличивает их пролиферативную активность, инвазивный, метастатический и ангиогенный потенциал); иммуномодулирующее действие (задержка спонтанного апоптоза нейтрофилов человека и усиление выработки провоспалительных цитокинов (интерлейкины-6 и -8, а также фактор некроза опухоли- α); антиадгезивное и антиангиогенное действие (подавление интенсивного сосудобразования и уменьшение активного кровоснабжения опухолей) [30, 31].

Белки. Содержание белка в бурых водорослях невысокое, его уровень в значительной степени определяется временем сбора. В зависимости от вида растений содержание белка составляет 3,0–17 % СВ (сухого веса) для водорослей Laminariales и 5–11 % СВ для видов Fucales. Это значительно ниже по сравнению с красными и зелеными водорослями, доля белка в которых может достигать 44 % СВ. Однако концентрация белка в бурых водорослях сопоставима с его содержанием в сыром горохе или фасоли, которые считаются продуктами – поставщиками растительного белка [32].

Присутствие аминокислот в водорослях может значительно варьировать в зависимости от ареала произрастания. Наибольшая концентрация (до 4–5 % СВ) определена в отношении глутаминовой кислоты. Именно она придает водорослям своеобразный вкус умами, что широко используется в качестве пищевых добавок. Отличительной чертой аминокислотного состава бурых водорослей является присутствие йодоаминокислот – моно- и дийодтирозинов, которые, вероятно, могут использоваться для синтеза тиреоидных гормонов. Бурые водоросли, принадлежащие к порядку Fucales, содержат все незаменимые аминокислоты. Среди них наиболее часто обнаруживаются треонин, валин, лейцин и лизин, в меньшем количестве содержатся метионин, гистидин и фенилаланин [33].

Липиды. Биохимической особенностью липидов морских растений является наличие всех классов (в том числе и полиненасыщенных) жирных кислот (ЖК), что отличает их от наземных растений. Разные виды бурых водорослей, несмотря на морфологические и экологические различия, содержат сходные компоненты ЖК, но различаются по их соотношению. Основные ЖК бурых водорослей – пальмитиновая, олеиновая. Для всех бурых водорослей характерно относительно высокое содержание C_{18} и C_{20} полиеновых ЖК, что является главной особенностью, отличающей их от красных и зеленых водорослей [34]. У большинства бурых водорослей преобладают Омега-3 жирные кислоты, и их уровень

может достигать 25 % от общего содержания жирных кислот, например, в фукусе пузырчатом [35].

Показано, что антиоксидантная активность, которой обладают полиненасыщенные ЖК бурых водорослей, в несколько раз превышает активность витамина Е [36]. Фитостерины и полиненасыщенные ЖК в составе бурых водорослей оказывают антитромботическое действие, нормализуют липидный обмен, противодействуют возникновению атеросклероза, проявляют противоопухолевую активность [37].

Витамины. В морских водорослях, подобно наземным растениям, присутствуют и синтезируются многие как водорастворимые, так и жирорастворимые витамины.

Исследования показали, что содержание витамина С в фукусе может превышать таковой во многих растениях, например, в апельсинах. Таким образом, предполагается, что использование водорослей в пищу может частично покрывать потребности организма в этом витамине [38].

В отличие от наземных растений, в морских водорослях существенно больше витамина Е. Концентрация его в четыре раза превышает таковую в оливковом масле, причем преобладающей формой витамина Е является наиболее активный изомер – альфа-токоферол [39].

Содержание витамина А в фукусе незначительно, однако здесь высоко содержание провитамина А (бета-каротина) [40].

Заключение. Таким образом, морские водоросли являются низкокалорийным продуктом питания, снабжающих организм комплексом биологически активных компонентов: белками, полисахаридами, полиненасыщенными ЖК, витаминами, минералами. Использование морских водорослей и их специализированных препаратов оказывает множественные лечебно-профилактические воздействия.

В научном плане представляется перспективным дальнейшее исследование биохимического состава морских водорослей, экспериментальное тестирование комбинаций биологически активных веществ и поиск новых эффектов водорослевых препаратов.

Сведения об авторах:

Горбачёв Анатолий Леонидович — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры валеологии, Северо-Восточный государственный университет, Российская Федерация; 685000, г. Магадан, ул. Портовая, д. 13; ORCID: 0000-0002-2432-3408; e-mail: gor000@mail.ru

Кубасов Роман Викторович — кандидат биологических наук, доцент, доцент, кафедры мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северный государственный медицинский университет»; 163000, г. Архангельск, Архангельская обл., Троицкий пр., д. 51; ORCID: 0000-0003-1698-6479; e-mail: romanas2001@gmail.com

Information about the authors:

Anatoly L. Gorbachev – Dr of Sci. (Biol.), Professor of the Department of Valeology, North-Eastern State University; 13, Portovaya str., Magadan, 685000, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2432-3408; e-mail: gor000@mail.ru

Roman V. Kubasov — Cand. of Sci. (Biol.), Associate Professor of the Department of Mobilization Training in Healthcare and Medicine of Disasters of Northern State Medical University; 51, Troitskiy ave., 163000, Arkhangelsk, Arkhangelsk region, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1698-6479; e-mail: romanas2001@gmail.com

Вклад авторов. Все авторы в равной степени участвовали в разработке концепции статьи, получении и анализе фактических данных, написании и редактировании текста статьи, проверке и утверждении текста статьи.

Наибольший вклад распределен следующим образом. Вклад в концепцию, план исследования, подготовка рукописи — А. Л. Горбачёв. Вклад в сбор и анализ данных, подготовка рукописи — Р. В. Кубасов

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: ALG contribution to the concept, research plan, manuscript preparation. RVK contribution to data collection and analysis, manuscript preparation

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

Поступила/Received: 04.10.2023

Принята к печати/Accepted: 01.12.2023

Опубликована/Published: 20.12.2023

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Brown E. S., Allsopp P. J., Magee P. J., Gill C. I., Nitecki S., Strain C. R., McSorley E. M. Seaweed and human health. *Nutr Rev.* 2014. Vol. 72, №3. pp. 205–216. <https://doi.org/10.1111/nure.12091>
2. Rebours C., Marinho-Soriano E., Zertuche-González J. A. Seaweeds: an opportunity for wealth and sustainable livelihood for coastal communities. *J Appl Phycol*, 2014, Vol. 26, № 5, 1939–1951. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0304-8>
3. Halim O. G. L., Rachmasari A. W. Farming Production Analysis of Seaweed and Farmer's Perception towards Climate Change Effect in Southeast Sulawesi, Indonesia Pak, *J Biol Sci*, 2020, Vol. 23, № 8, pp. 1004–1009. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.1004.1009>
4. Шишканова М. С., Никифоров А. И. Современная практика использования альгоресурсов в Российской Федерации: тенденции и возможности // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2023. Т. 31, № 1. С. 127–136 [Shishkanova M. S., Nikiforov A. I. Modern practice of algal resources exploitation in the Russian Federation: trends and opportunities. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety.* 2023, Vol. 31, № 1, pp. 127–136 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-127-136>.
5. Аминина Н. М. Сравнительная характеристика бурых водорослей прибрежной зоны Дальнего Востока // *Известия ТИНРО.* 2015. Т. 182, № 3. С. 258–268 [Aminina N. M. Comparative description of brown algae from the coastal zone of Far East. *Izvestiya TINRO.* 2015, Vol. 182, № 3, pp. 258–268 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2015-182-258-268>
6. Евсеева Н. В. К флоре морских водорослей прибрежной зоны северо-востока Охотского моря // *Новости системы низших растений.* 2018. Т. 52, № 1. С. 63–73 [Evseeva N. V. Contribution to the flora of marine algae of the coastal zone of the northeastern part of the Sea of Okhotsk. *News of the lower plant system.* 2018, Vol. 52, № 1, pp. 63–73 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.31111/nsnr/2018.52.1.63>.
7. Малавенда С. В., Шошина Е. В., Капков В. И. Видовое разнообразие макроводорослей в различных районах Баренцева моря // *Вестник МГТУ.* 2017. Т. 20, № 2. С. 336–351 [Malavenda S. V., Shoshina E. V., Kapkov V. I. Species diversity of seaweeds in different areas of the Barents Sea. *Bulletin of the Moscow State Technical University*, 2017, Vol. 20, № 2, pp. 336–351 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-2-336-351>.
8. Bogolitsyn K., Dobrodeeva L., Parshina A., Samodova A. In vitro and in vivo activities of polyphenol extracts from Arctic brown alga *Fucus vesiculosus*. *J Appl Phycol.* 2021, № 33, pp. 2597–2608. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02450-y>

9. Pérez M. J., Falqué E., Domínguez H. Antimicrobial Action of Compounds from Marine Seaweed. *Mar. Drugs*. 2016, Vol. 14, № 3, 52. <https://doi.org/10.3390/md14030052>
10. Разина Т. Г., Рыбалкина О. Ю., Лопатина К. А. Сравнительная оценка эффективности различных форм альгинатов в условиях онкологического эксперимента // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2011. Т. 152, № 8. С. 191–196. [Razina T. G., Rybalkina O. Yu., Lopatina K. A. Comparative evaluation of the efficiency of various alginate forms under conditions of an oncological experiment. *Bulletin of experimental biology and medicine*, 2011, Vol. 152, № 8, pp. 191–196 (In Rus.)]. <https://doi.org/10.1007/s10517-011-1496-4>.
11. Табакаева О. В., Табакаев А. В. Биологически активные вещества потенциально промысловых бурых водорослей Дальневосточного региона // *Вопросы питания*. 2016. Т. 85, № 3. С. 126–132 [Tabakaeva O. V., Tabakaev A. V. Biologically active agents of potential trade brown seaweed of the Far East Region. *Nutrition issues*, 2016, Vol. 85, № 3, pp. 126–132 (In Rus.)]. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2016-00044>.
12. Li H. Y., Guo S., Yan H. Content and distribution of inorganic elements in *Laminaria japonica* based on ICP-MS and Micro-XRF. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi*, 2022, Vol. 47, № 2, pp. 444–452. <https://doi.org/10.19540/j.cnki.cjc-mm.20210803.203>
13. Калинин С. Ю., Смыкалова А. С., Ворслов Л. О. Препараты на основе бурых водорослей: биологические свойства, возможности применения в медицине и диетологии // *Вопросы диетологии*. 2019. Т. 9, № 1. С. 25–32 [Kalinchenko S. Yu., Smykalova A. S., Vorslov L. O. Brown seaweed preparations: biological properties, potential for using in medicine and dietetics. *Nutrition issues (Nutrition)*, 2019, Vol. 9, № 1, pp. 25–32 (In Rus.)]. <https://doi.org/10.20953/2224-5448-2019-1-25-32>.
14. Захарова В. А., Фидоровская Ю. С., Хлыстова Т. С., Кильдеева Н. Р. Производные альгиновой кислоты: особенности строения, свойства и перспективы использования в медицине // *Промышленные процессы и технологии*. 2022. Vol. 7, № 5. С. 64–79 [Zakharova V. A., Fidorovskaya Yu. S., Khlystova T. S., Kildeeva N. R. Alginic acid derivatives: structural features, properties and prospects for medicine use. *Industrial processes and Technologies*, 2022, Vol. 7, № 5, pp. 64–79 (In Rus.)]. [https://doi.org/10.37816/2713-0789-2022-2-5\(7\)-64-79](https://doi.org/10.37816/2713-0789-2022-2-5(7)-64-79).
15. Ficko-Blean E., Hervé C., Michel G. Sweet and sour sugars from the sea: the biosynthesis and remodeling of sulfated cell wall polysaccharides from marine macroalgae. *Perspectives in Phycology*, 2015, Vol. 2, № 1, 51–64. <https://doi.org/10.1127/pip/2015/0028>.
16. Cifuentes J. D., Sparkman J., Graham D. Y. Management of upper gastrointestinal symptoms in patients with autoimmune gastritis. *Curr Opin Gastroenterol*. 2022, Vol. 38, № 6, pp. 600–606. <https://doi.org/10.1097/MOG.0000000000000878>
17. André R. E., Pacheco R., Bourbon M., Serralheiro M. L. Brown Algae Potential as a Functional Food against Hypercholesterolemia: Review. *Foods*, 2021, Vol. 10, № 2, pp. 234. <https://doi.org/10.3390/foods10020234>.
18. Серебренникова Е. С., Давыдова В. Л., Гурина С. В., Иозеп А. А. Изучение антимикробной активности некоторых производных альгиновой кислоты // *Проблемы медицинской микологии*. 2013. Т. 15, № 4. С. 60–62 [Serebrennikova E. S., Davydova V. L., Gurina S. V., Iozep A. A. A Studying of antimicrobial activity of some derivatives of alginic acid. *Problems of medical mycology*, 2013, Vol. 15, № 4, pp. 60–62 (In Rus.)].
19. Long S. H., Yu Z. Q., Shuai L. The hypoglycemic effect of the kelp on diabetes mellitus model induced by alloxan in rats. *Int. J. Mol. Sci*, 2012, Vol. 13, № 3, pp. 3354–3365. <https://doi.org/10.3390/ijms13033354>
20. Balasubramanian U. M., Vaiyazhipalayam M.S., Marimuthu T. Enhanced adsorption of Cr(VI), Ni(II) ions from aqueous solution using modified *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor*. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2020, Vol. 27, № 17, pp. 20648–20662. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06357-7>
21. Fernando I. P., Sanjeewa K. K., Kim S. Y., Lee J. S., Jeon Y. J. Reduction of heavy metal (Pb²⁺) biosorption in zebrafish model using alginic acid purified from *Ecklonia cava* and two of its synthetic derivatives. *Int J Biol Macromol*, 2018, Vol. 106, pp. 330–337. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.027>
22. Jayawardena T. U., Nagahawatta D. P., Fernando I. P. A Review on Fucoidan Structure, Extraction Techniques, and Its Role as an Immunomodulatory Agent. *Mar Drugs*, 2022, Vol. 20, № 12, pp. 755. <https://doi.org/10.3390/md20120755>
23. Zhao X., Guo F., Hu J., Zhang L., Xue C., Zhang Z., Li B. Antithrombotic activity of oral administered low molecular weight fucoidan from *Laminaria Japonica*. *Thromb. Res*, 2016, Vol. 144, pp. 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2016.03.008>
24. Thuy T. T., Ly B. M., Van T. T. Anti-HIV activity of fucoidans from three brown seaweed species. *Carbohydr Polym*, 2015, Vol. 115, pp. 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.068>
25. Apostolova E., Lukova P., Baldzhieva A. Immunomodulatory and Anti-Inflammatory Effects of Fucoidan: A Review. *Polymers (Basel)*, 2020, Vol. 12, № 10, pp. 2338. <https://doi.org/10.3390/polym12102338>
26. Кузнецова Т. А., Макаренко И. Д., Конева Е. Л. Влияние пробиотического продукта, содержащего бифидобактерии и биогель из бурых водорослей, на кишечную микрофлору и показатели врожденного иммунитета у мышей с экспериментальным лекарственным дисбактериозом кишечника // *Вопросы питания*. 2015. Vol. 84, № 1. pp. 73–79 [Kuznetsova T. A., Makarenkova I. D., Koneva E. L. Effect of probiotic product containing bifidobacteria and biogel from brown algae on the intestinal microflora and parameters of innate immunity in mice with experimental drug dysbacteriosis. *Nutrition issues*, 2015, Vol. 84, № 1, pp. 73–79 (In Rus.)].
27. Крыжановский С. П., Богданович Л. Н., Беседнова Н. Н., Иванушко Л. А., Головачева В. Д. Гиполипидемические и противовоспалительные эффекты полисахаридов морских бурых водорослей у пациентов с дислипидемией // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 10. С. 93–100 [Kryzhanovsky S. P., Bogdanovich L.N., Besednova N.N., Ivanushko L.A., Golovacheva V.D. Hypolipidemic and anti-inflammatory effects of polysaccharides marine brown kelps in patients with dyslipidemia. *Fundamental research*, 2014, № 10, pp. 93–100 (In Rus.)].

28. Balboa E. M., Conde E., Moure A., Falqué E., Domínguez H. In vitro antioxidant properties of crude extracts and compounds from brown algae. *Food Chem*, 2013, Vol. 138, № 2–3, pp. 1764–1785. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.026>
29. Jun O. J., Qing Yu. Fucoidan delays apoptosis and induces pro-inflammatory cytokine production in human neutrophils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2015, Vol. 73, pp. 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.10.059>
30. Atashrazm F., Lowenthal R. M., Woods G. M., Holloway A. F., Karpiniec S. S., Dickinson J. L. Fucoidan Suppresses the Growth of Human Acute Promyelocytic Leukemia Cells In Vitro and In Vivo. *J Cell Physiol*, 2016, Vol. 231, № 3, pp. 688–697. <https://doi.org/10.1002/jcp.25119>
31. Hsu H. Y., Lin T. Y., Wu Y. C. Fucoidan inhibition of lung cancer in vivo and in vitro: role of the Smurf2-dependent ubiquitin proteasome pathway in TGF β receptor degradation. *Oncotarget*, 2014, Vol. 17, № 5, pp. 7870–7885. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.2317>
32. Lorenzo J. M., Agregán R., Munekata P. E. S., et al. Proximate Composition and Nutritional Value of Three Macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcate*, *Mar. Drugs*, 2017, Vol. 15, № 11, pp. 360. <https://doi.org/10.3390/md15110360>
33. Černá M. Seaweed proteins and amino acids as nutraceuticals. *Adv Food Nutr Res*, 2011, Vol. 64, pp. 297–312. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387669-0.00024-7>
34. Schmid M., Stengel D. B. Intra-thallus differentiation of fatty acid and pigment profiles in some temperate Fucales and Laminariales. *J Phycol*, 2015, Vol. 51, № 1, pp. 25–36. <https://doi.org/10.1111/jpy.12268>
35. Marinho G. S., Holdt S. L., Jacobsen C., Angelidaki I. Lipids and Composition of Fatty Acids of *Saccharina latissima* Cultivated Year-Round in Integrated Multi-Trophic Aquaculture. *Mar Drugs*, 2015, Vol. 13, № 7, pp. 4357–4374. <https://doi.org/10.3390/md13074357>
36. Reshma B. S., Aavula T., Narasimman V. Antioxidant and Antiaging Properties of Agar Obtained from Brown Seaweed *Laminaria digitata* (Hudson) in D-Galactose-Induced Swiss Albino Mice. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2022, Vol. 3, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1155/2022/7736378>
37. Lin P., Chen S., Zhong S. Nutritional and Chemical Composition of *Sargassum zhangii* and the Physical and Chemical Characterization, Binding Bile Acid, and Cholesterol-Lowering Activity in HepG2 Cells of Its Fucoidans. *Foods*, 2022, Vol. 12, № 11, pp. 1771. <https://doi.org/10.3390/foods11121771>
38. Nielsen C. W., Rustad T., Holdt S.L. Vitamin C from Seaweed: A Review Assessing Seaweed as Contributor to Daily Intake. *Foods*. 2021, Vol. 10, № 1, 198. <https://doi.org/10.3390/foods10010198>
39. Cardoso S., Carvalho L., Silva P. Rodrigues M., Pereira L. Bioproducts from Seaweeds: A Review with Special Focus on the Iberian Peninsula. *Curr. Org. Chem*, 2014, Vol. 18, № 7, pp. 896–917. <https://doi.org/10.2174/138527281807140515154116>
40. Miyashita K., Beppu F., Hosokawa M., Liu X., Wang S. Nutraceutical characteristics of the brown seaweed carotenoid fucoxanthin. *Arch Biochem Biophys*, 2020, № 686, pp. 108364. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2020.108364>