

**О. О. Бабич, С. В. Хижинская, О. В. Кроль, Д. И. Мальков**

*Балтийский федеральный университет им. И. Канта*

*(г. Калининград, Российская Федерация)*

## **ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФУКОИДАНА *FUCUS VESICULOSUS***

*Аннотация.* Популярный полисахарид макроводорослей, фукоидан является сульфатированным полисахаридом, состоящим из повторяющихся единиц фукозы. Целью исследований было изучение антиоксидантной и антимикробной активности фукоидана из *F. vesiculosus* балтийского региона. В работе проводили 3 вида экстракции — ультразвуковую, водную при повышенной температуре и экстракцию в растворе 1% соляной кислоты. Определение содержания фукозы в экстрактах проводили спектрофотометрическим и хроматографическим методом. Количество сульфатных групп в полученных экстрактах определяли турбидиметрическим методом. Антиоксидантную активность экстракта измеряли по улавливанию свободных радикалов 2-2-дифенил-1-пикрилгидразида (DPPH). Антимикробную активность экстрактов изучали диско-диффузионным методом. Установлено, что наибольший выход фукозы показали экстракты, полученные при повышенной температуре и с помощью соляной кислоты ( $68,0 \pm 3,4$  мкг/мл и  $78,20 \pm 0,63$  мкг/мл соответственно). Полисахариды, полученные после кислотной обработки водорослей, показали ингибирование свободных радикалов DPPH —  $90,41 \pm 0,41$  % и высокую антимикробную активность. Антимикробная активность водных экстрактов по отношению к *S. ablicans* составила  $32,0 \pm 4,0$  %, по отношению к *P. aeruginosa* —  $28 \pm 4,0$  %.

**Ключевые слова:** сыр, моцарелла, ферментные препараты, рецептура, технологические параметры, растительное молоко, оценка качества

## STUDYING THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF POLYSACCHARIDES OF *FUCUS VESICULOSUS*

**Annotation.** A popular macroalgae polysaccharide, fucoidan is a sulfated polysaccharide composed of repeating fucose units. The aim of the research was to study the antioxidant and antimicrobial activity of fucoidan from *F. vesiculosus* in the Baltic region. In the work, 3 types of extraction were performed — ultrasonic, aqueous at elevated temperature and extraction in a solution of 1 % hydrochloric acid. The fucose content in the extracts was determined by spectrophotometric and chromatographic methods. The amount of sulfate groups in the obtained extracts was determined by the turbidimetric method. The antioxidant activity of the extract was measured by the capture of free radicals 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). The antimicrobial activity of the extracts was studied by the disco diffusion method. It was found that the highest yield of fucose was shown by extracts obtained at elevated temperature and with hydrochloric acid ( $103.80 \pm 0.51$  mcg/ml and  $78.20 \pm 0.63$  mcg/ml, respectively). Polysaccharides obtained after acid treatment of algae showed inhibition of free radicals DPPH —  $90.41 \pm 0.41$  % and high antimicrobial activity. Antimicrobial activity of aqueous extracts in relation to *C. albicans* amounted to  $32.0 \pm 4.0$  %, with respect to *P. aeruginosa* —  $28 \pm 4.0$  %.

**Key words:** fucoidan, algae, extraction, sulfation, fucose, antioxidant and antimicrobial activity.

### Для цитирования:

Бабич, О. О. Изучение биологических свойств фукоидана *Fucus vesiculosus* / О. О. Бабич, С. В. Хижинская, О. В. Кроль, Д. И. Мальков // Вестник биотехнологий. 2024. № 3.

**Введение.** Водоросли являются важным источником пищи, потребляемым человеком с древних времен [1]. По оценкам аналитиков, в 2019 году мировой коммерческий рынок морских водорослей стоил 5,9 млрд долларов США, а ежегодные темпы роста составят 9,1 % [2]. Морские во-

доросли являются источником белков, жиров и углеводов, которые находят широкое применение в пищевой, фармацевтической промышленности и нутрициологии. Так полисахариды водорослей используются в качестве загустителей и гелеобразователей и пользуются большим спросом во всем мире [3]. Среди их многочисленных применений, объем продуктов прямого потребления (без учета загустителей и гидрогелей, используемых в пищевой промышленности и производстве напитков) достигает 24 миллионов тонн в год, что составляет около 40 % годового производства морских водорослей [4]. Полисахариды, полученные из морских водорослей, постоянно находят новое применение, а осведомленность об этом экологически чистом, органическом и устойчивом источнике пищи стимулирует его потребление.

Одним из наиболее популярных полисахаридов водорослей является фукоидан, сульфатированный полисахарид, состоящий в основном из фукозных единиц и нескольких других моносахаридных остатков (манноза, галактоза, глюкоза, ксилоза и др.), уроновая кислота, ацетильные группы и белки. Например, фукоидан *Fucus vesiculosus* содержит 84 % фукозы, 6 % ксилозы, 7,3 % галактозы и 2 % маннозы [5]. Будучи гетерогенным полимером, фукоидан обладает значительным структурным разнообразием, что затрудняет его изучение. Как правило фукоидан встречается в бурых водорослях, а также в иглокожих и некоторых низших растениях [6, 7, 8]. В зависимости от источника получения зависит и структура фукоидана. Отмечено, что структура фукоидана сложная и зачастую определяет его биологические свойства, которые мало изучены [9, 10]. Особенно мало изученными являются биологические свойства полисахарида водорослей, обитающих на территории России [11]. Тем не менее незначительные публикации по данной теме свидетельствуют о том, что полисахариды из водорослей в том числе из *F. vesiculosus* обладают высокой биологической активностью (антиоксидантным, антимикробным, антикоагулянтным, противоопухолевым действием), которые потенциально могут использоваться в пищевой, фармацевтической промышленности и нутрициологии. Поэтому очень важны современные знания о биологической активности полисахаридов водорослей [11].

Цель исследований — изучение биологической (антиоксидантной и антимикробной) активности экстрактов фукоидана, полученного из *F. vesiculosus* балтийского региона.

Научная новизна: впервые изучен состав и биологические свойства экстрактов фукоидана из *F. vesiculosus* Балтийского моря.

**Материалы и методы исследований.** Образец *F. vesiculosus* был собран на побережье Белого моря, в период с июня по сентябрь 2023 года. После сбора проводили депигментацию водорослей. Для этого брали навеску водорослей массой 25 г, растворяли в смеси этанол и метилен хлористый (дихлорметан) в соотношении 1:1. Общий объём раствора составлял 75 мл. Депигментацию проводили в течение 24 ч при комнатной температуре и постоянном механическом перемешивании [3]. Далее полученный раствор отфильтровывали и промывали тем же раствором до прозрачного состояния. Для дальнейшей экстракции оставляли твёрдые депигментированные остатки водорослей, которые просушивали в течение 24 ч при температуре 40–50 °С в термостате. Далее часть водорослей оставляли в неизменном виде (небольшие кусочки, приблизительно 1–2 мм<sup>2</sup>), другую часть депигментированной массы измельчали до состояния порошка.

После депигментации проводили 3 вида экстракции — ультразвуковую, водную при повышенной температуре и кислотную экстракцию в растворе 1 % соляной кислоты. Таким образом было получено 3 экстракта.

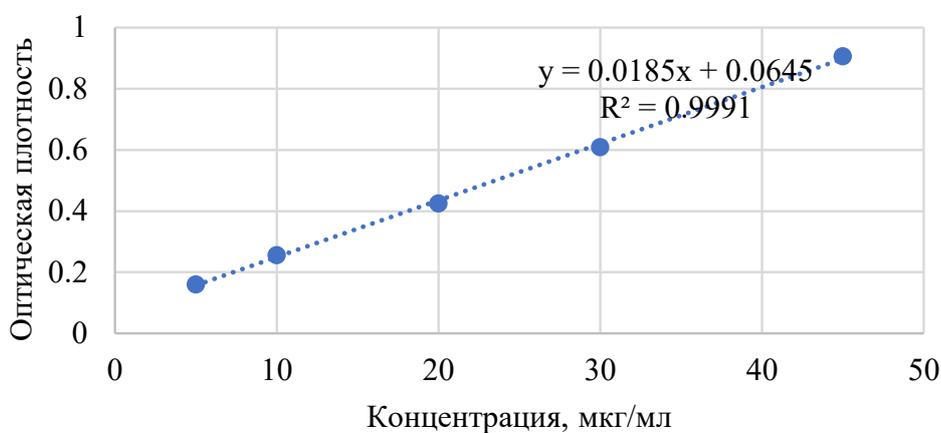
Ультразвуковую экстракцию проводили при соотношении образца водорослей к воде 1:30 в ультразвуковой ванне (ООО «Вита-Пул», Россия) и мощности 130 Вт. Продолжительность процесса составила 15 мин. Далее пробу фильтровали с помощью бумажного фильтра «синяя лента» (АО «РеаХим», Россия).

Экстракцию дистиллированной водой при повышенной температуре проводили в термоустойчивой плоскодонной колбе на 500 см<sup>3</sup> на магнитной мешалке ИКА (ИКА, Германия) [9]. Для экстракции измельченный в порошок образец водорослей *F. vesiculosus* в количестве 10 г помещали в плоскодонную колбу, заливали 300 мл дистиллированной водой и нагревали на магнитной мешалке. Для того, чтобы не происходило испарение экстракта, кол-

бу накрывали обратным холодильником. Процесс экстракции вели 30 минут после закипания жидкости в плоскодонной колбе. Затем ещё горячий раствор фильтровали с помощью бумажного фильтра «синяя лента».

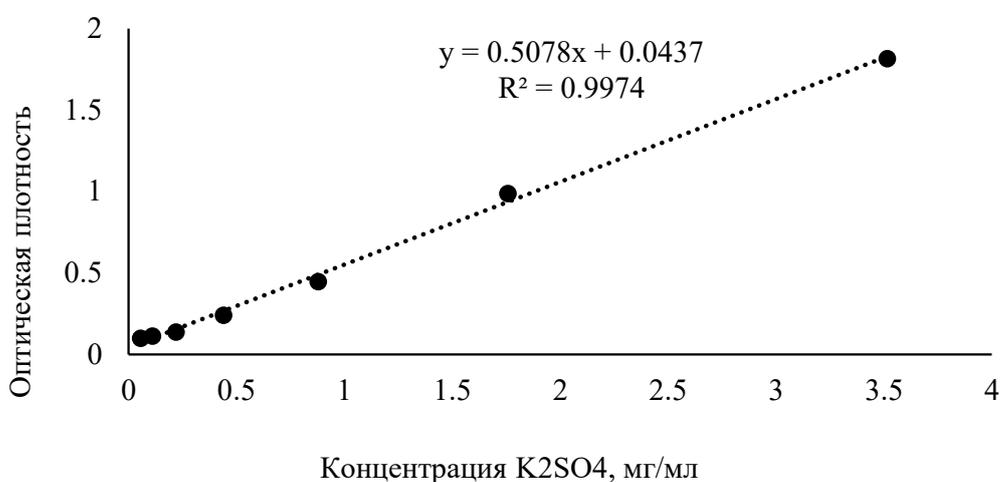
При кислотной экстракции использовали измельченные водоросли, массой 5 г и 1 % раствор HCl. Экстракцию проводили 24 часа при комнатной температуре. Повторную экстракцию проводили с той же массой навески, но отбирали жидкую часть и добавляли ещё одну порцию 35 мл 1 % раствора HCl, экстрагировали 6 часов. В конце оба раствора объединяли и нейтрализовали до pH ~7 раствором 10 % NaOH.

Определение содержания фукоидана в экстрактах проводили спектрофотометрическим методом Дише и Шэтлз в пересчёте на фукозу [6] с некоторыми модификациями. Для этого в пробирки наливали по 0,1 мл экстракта после диализа, 0,4 мл дистиллированной воды и 2,25 мл серной кислоты. Выдерживали на кипящей водяной бане LB-140 (АО «ЛОИП», Россия) в течение 10 минут. После охлаждения добавляли в каждую пробирку по 50 мкл L-цистеина. Через 30 минут измеряли величину оптической плотности в 96-луночном планшете на спектрофотометре clariostar при длинах волн 396 нм и 427 нм. В качестве контроля использовали экстракт полисахарида с серной кислотой в аналогичных количествах, но без добавления L-цистеина. Количественный расчет проводили по градуировочной кривой, построенной по стандартным растворам фукозы в диапазоне концентраций от 7,5 мкг / см<sup>3</sup> до 45 мкг / см<sup>3</sup> (рисунок 1).



*Рис. 1 Градуировочный график для определения содержания фукозы*

Количество сульфатных групп ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ) в полученных образцах определяли турбидиметрическим методом по реакции с раствором  $\text{BaCl}_2$ . В качестве стабилизатора использовали желатин. В пробирки наливали по 0,2 мл образца и 3,8 мл трифторуксусной кислоты, а затем добавляли в каждую пробирку по 1 мл 2 %-ного раствора  $\text{BaCl}_2$  в 0,3 %-ном растворе желатина. Через 15 минут снимали показания оптической плотности при длине волны 360 нм. Количественное определение проводили по градуировочной прямой (рисунок 2), построенной по растворам сульфата калия различных концентраций в диапазоне от 0,125 мг/см<sup>3</sup> до 0,876 мг/см<sup>3</sup>.



*Рис. 2 Калибровочная кривая для определения сульфатных групп углеводов*

Компонентный состав экстрактов проводили на жидкостном хроматографе LC 20ABProminence («Shimadzu», Япония) с бинарным насосом и диодно-матричным детектором SPD-M20A при температуре 30 °С в режиме элюирования при длине волны 192 нм, со скоростью потока 1 мл/мин. Использовали колонку с аминофазой Supelco 4,6 мм × 250 мм. В качестве подвижной фазы использованы ацетонитрил и бидистиллированная вода. Объем пробы составлял 5 мкл. Идентификацию компонентов проводили по временам удерживания и спектрам индивидуальных стандартных веществ [1]. Концентрацию соединений рассчитывали по площадям пиков. Погрешность определения концентрации составляла не более 10 %.

Антиоксидантную активность экстракта измеряли по улавливанию свободных радикалов 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) [12]. Каждую пробу брали в объеме 500 мкл. Для этого использовали 0,2 М раствор DPPH в этаноле. Пробу доводили до 1 мл с помощью дистиллированной воды. Затем к каждой пробе добавляли 2 мл 0,2 М DPPH и оставляли на 30 минут в темном месте. Так же параллельно готовили контрольные растворы без DPPH с таким же объёмом и холостую пробу с 1 мл воды и 1 мл 0,2 М DPPH.

После инкубации растворов измеряли оптическую плотность на УФ-спектрофотометре при длине волны 517 нм и толщине кюветы 10 мм. В качестве контроля антиоксидантной активности использовали аскорбиновую кислоту в различных концентрациях (от 0,00125 до 0,008 мг/мл) и рассчитывали процент ингибирования DPPH с помощью полученного уравнения:

$$\text{эффект поглощения (\%)} = \left( 1 - \frac{\text{образец поглощения}}{\text{контроль поглощения}} \right) \times 100\%$$

где: образец поглощения — проба с исследуемым экстрактом и DPPH; контроль поглощения — холостая проба с водой и DPPH.

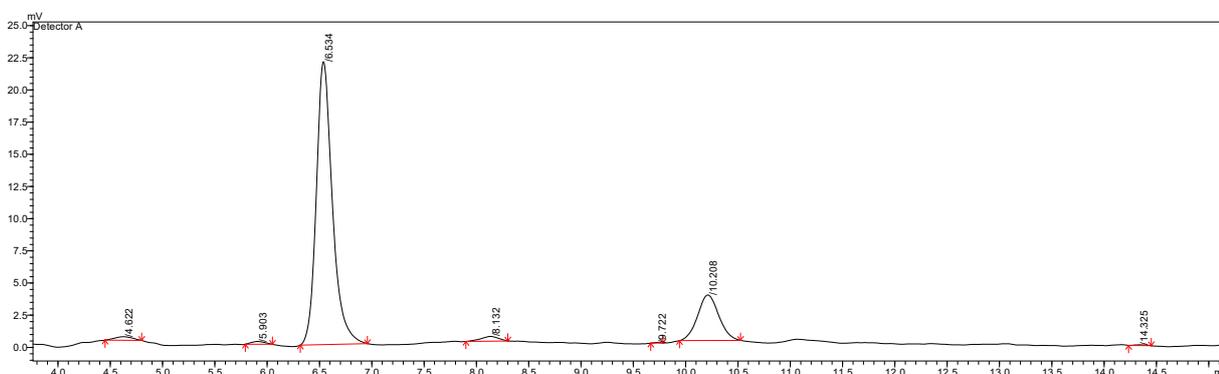
Антимикробную активность экстрактов определяли с помощью диско-диффузионного метода [13]. Для этого тест-штаммы *Pseudomonas aureginosa*, *Candida albicans* и *Bacillus subtilis* засеивали на агаризированную среду LB (Лурье-Бертрани) в чашки Петри, остужали и делили на 4 секции. В контрольной секции присутствовал канамицин с концентрацией 30 мкг/диск, в остальных — 3 экстракта. Диаметр дисков составлял 5,5 мм, а толщина слоя агара —  $4,0 \pm 0,5$  мм.

**Результаты исследований.** Результаты по изучению содержания фукоида-на в экстрактах демонстрируют эффективность методов экстракции водой при нагревании и метода кислотной экстракции. Так содержание фукоида-на в водном экстракте, полученном при нагревании составило 46,08 мг/г, а в экстракте, полученным кислотным методом — 48,86 мг/г, что коррелирует с содержанием фукозы (таблица 1). Таким образом, повышенная температура и кислая среда значительно влияют на выход целевого продукта.

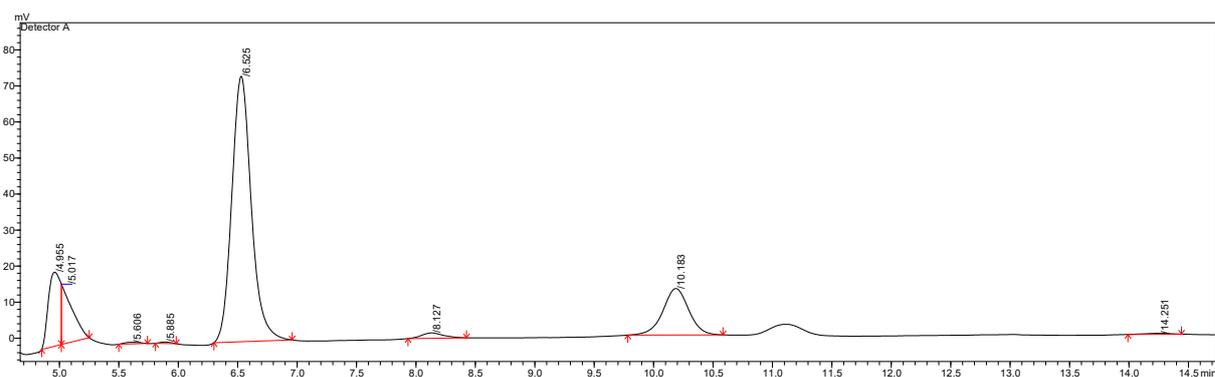
**Таблица 1** — Концентрация фукозы и фукоидана

Образец	Концентрация фукозы по градуировке, мкг/мл	Содержание полисахаридов, мг/г
Экстракт, полученный ультразвуковым методом	$4,1 \pm 0,2$	$25,8 \pm 0,12$
Экстракт, полученный ультразвуковым методом	$68,0 \pm 3,4$	$46,08 \pm 0,18$
Экстракт, полученный ультразвуковым методом	$78,20 \pm 3,9$	$48,86 \pm 0,24$

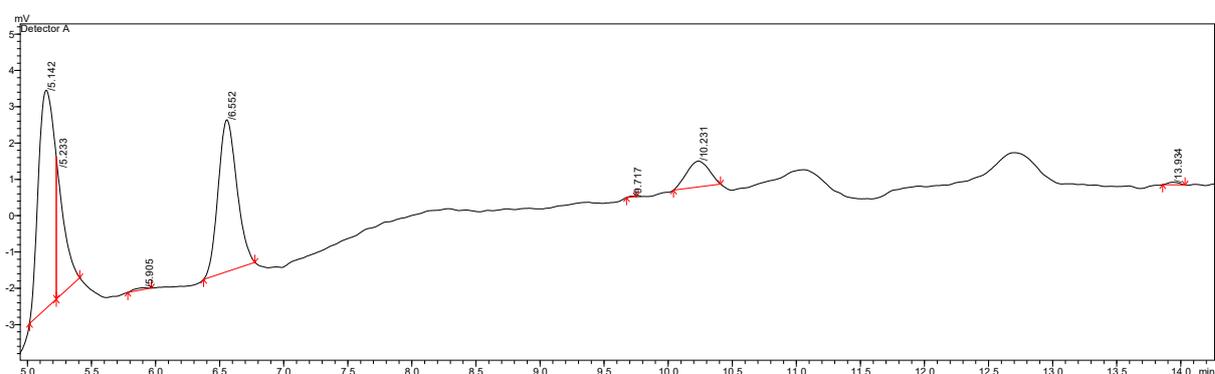
Известно, что помимо фукозы фукоидан может содержать в своем составе незначительное количество других сахаров, от содержания которых также зависит его структура и биологическая активность. Поэтому на следующем этапе изучали моносахаридный состав полученных экстрактов методом ВЭЖХ (рисунки 3–5, таблица 2).



**Рис. 3** Хроматограмма экстракта, полученного ультразвуковым методом



*Рис. 4 Хроматограмма экстракта, полученного с помощью воды при нагревании*



*Рис. 5 Хроматограмма экстракта, полученного кислотным методом экстракции*

Полученные данные говорят о большом содержании D-глюкозы, в экстракте, полученном с помощью ультразвука. Так концентрация глюкозы составила 0,098 мг / г, в Экстракте, полученным с помощью воды — 9,11 мг / г, а в экстракте, полученным кислотным методом — 4,23 мг / г. Анализ показал, что полученные нами результаты согласуются с результатами других ученых, которые показывают, что в зависимости от сезона сбора и жизненного цикла водорослей содержание глюкозы в фукоидане может достигать 20–25 % [14, 15]. В полученных нами данных это значение достигает 22,3 % от сухого веса водоросли.

Также эмпирические данные, представленные на рисунках 3–5 и таблице 2, свидетельствуют о том, что помимо глюкозы и фукозы экстракты содержат рамнозу, арабинозу, фруктозу сахарозу, трегалозу и рафинозу Исходя из полученных данных, можно оценить качество полученного фукоидана.

В исследовании [14] упоминается о содержании фукозы в фукоидане по отношению к сухой массе водорослей может варьироваться в широком диапазоне (от 1,5 до 7,9%), что согласуется с нашими результатами. В наших исследованиях содержание фукозы составила от 5,49% до 6,75% в зависимости от экстракта.

**Таблица 2** — Моносахаридный состав экстрактов №1

Время выхода, мин	Моносахариды и дисахариды	Количественное значение, мг/мл		
		Экстракт, полученный ультразвуковым методом	Экстракт, полученный с помощью воды при нагревании	Экстракт, полученный кислотным методом экстракции
5,06	L- фукоза	0,149	0,690	0,343
5,60	L+ арабиноза	—	0,163	—
5,88	D- фруктоза	0,098	0,063	0,079
6,50	D+ глюкоза	0,690	9,11	4,233
8,10	D+ сахароза	0,082	0,134	0,083
9,20	D+ мальтоза	0,1039	—	0,034
10,10	D+ трегалоза	1,183	2,383	0,282
14,20	D+ рафиноза	0,005	0,022	0,029

В связи с тем, что сульфатирование фукоидана напрямую влияет на его биологические свойства, дальнейшая работа направлена на изучение степени сульфатирования экстрактов фукоидана *F. vesiculosus* Балтийского моря (таблица 3). Выявлено, что экстракт, полученный с помощью воды при нагревании, содержит в своем составе фукоидан с большим содержанием сульфатных групп (42,95 мг/г). Наименьшее содержание сульфатных групп отмечено в экстрактах, полученных с помощью ультразвука (3,17 мг/г) и кислотным методом (15,21 мг/г). Результаты наших исследований не противоречат данным Seng J. L. [16]. Seng J. L. установлено, что содержание сульфатов в бурых водорослях может варьироваться в широких пределах, но отмечено, что в водорослях *F. vesiculous* максимальное содержание сульфатных групп достигает 40% по отношению к сульфатированным полисахаридам.

**Таблица 3** — Концентрация сульфат-иона

Экстракт	Содержание сульфатов, мг/г
Экстракт, полученный ультразвуковым методом	3,17 ± 0,15
Экстракт, полученный с помощью воды	42,96 ± 2,14
Экстракт, полученный кислотным методом экстракции	15,21 ± 0,61

Таким образом, показано, что полученные экстракты из водоросли *F. vesiculosa* Балтийского моря содержат в себе фукоидан с различным моносахаридным составом и различной степенью сульфатирования.

С целью определения влияния химического состава фукоидана на биологические свойства дальнейшие исследования направлены на изучение антиоксидантных и антимикробных свойств экстрактов *F. vesiculosus* Балтийского моря. Данные по антиоксидантной активности экстрактов, представленные в таблице 4, свидетельствуют о том, что все экстракты проявили антиоксидантные свойства. Наилучший результат достигался для кислотного и водного экстрактов.

**Таблица 4** — Антиоксидантная активность экстрактов

Экстракт	Антиоксидантная активность, %
Экстракт, полученный ультразвуковым методом	30,21 ± 1,51
Экстракт, полученный с помощью воды	87,70 ± 4,38
Экстракт, полученный кислотным методом экстракции	90,41 ± 4,33
Контроль	100,0

В таблице 5 представлены результаты антимикробной активности.

**Таблица 5** — Антимикробная активность экстрактов

Объект исследования	Диаметр зоны лизиса, мм		
	<i>B. subtilis</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>C. ablicans</i>
Экстракт, полученный ультразвуковым методом	0,0	0,0	0,0
Экстракт, полученный с помощью воды при нагревании	0,0	7,0±0,5	10,0±0,5
Экстракт, полученный кислотным методом экстракции	0,0	8,0±0,5	11,0±0,5
Канамицин	25,0±0,5	23±0,5	18,0±0,5

Наибольшую антимикробную активность проявили экстракт, полученный с помощью воды при нагревании и экстракт, полученный кислотным методом экстракции. Отмечено, что изучаемые экстракты полисахаридов *F. vesiculosus* Балтийского моря не проявили активность против грамположительного микроорганизма *B. subtilis*. Также выявлено, что экстракт, полученный ультразвуковым методом не обладал искомой биологической активностью. Результаты наших исследований соответствуют эмпирическим данным других ученых. В частности, Kim S.-H. доказано, что экстракт полисахаридов водоросли *F. vesiculosus* также оказал активность только против грамтрицательного *Vibrio alginolyticus*. В этом же исследовании упоминается о синергии антибиотиков с сульфатированными полисахаридами. Сульфатированные полисахариды увеличивают эффективность антибиотика, снижая резистентность у патогенов [17].

**Заключение.** Таким образом, изучена биологическая (антиоксидантной и антимикробной) активность экстрактов фукоидана, полученного из *F. vesiculosus* балтийского региона. В ходе исследования установлено, что кислотная экстракция позволяет получить максимальный выход фукоидана (48,86 мг/г). Установлено, что полисахарид, содержащийся

в экстрактах характеризовался разнообразным моносахаридным составом и степенью сульфатирования. Особенности данного состава влияют на биологические свойства изучаемого полисахарида. Определено что наилучшими антиоксидантными свойствами обладали экстракт, полученный с помощью воды и экстракт, полученный кислотным методом. Антимикробная активность также выявлена только у этих же экстрактов. Следовательно, водоросли *F. vesiculosus* Балтийского моря можно рассматривать в качестве потенциальных источников получения биологически активного полисахарида, фукоидана.

### Список литературы

1. Wells M. L., Potin P., Craigie J. S., Raven J. A., Merchant S. S., Helliwell K. E., Smith A. G., Camire M. E., Brawley S. H. Algae as nutritional and functional food sources: Revisiting our understanding. *Journal of Applied Physiology*, 2017, 29. — P. 949–982. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5>.

2. Commercial Seaweeds Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product (Brown Seaweeds, Red Seaweeds, Green Seaweeds), by Form (Liquid, Powdered, Flakes), by Application, by Region, and Segment Forecasts, 2020–2027. [(accessed on 25 April 2021)]. Available online: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/commercial-seaweed-market>

3. Lourenço-Lopes C., Fraga-Corral M., Jimenez-Lopez C., Pereira A. G., Garcia-Oliveira P., Carpena M., Prieto M. A., Simal-Gandara J. Metabolites from Macroalgae and Its Applications in the Cosmetic Industry: A Circular Economy Approach. *Resources*, 2020, 9. — P. 101. <https://doi.org/10.3390/resources9090101>.

4. Radulovich R., Neori A., Valderrama D., Reddy C. R. K., Cronin H., Forster J. *Seaweed Sustainability*. Academic Press, 2015. — P. 27–59.

5. Lahrsen E., Schoenfeld A. K., Alban S. Size-dependent pharmacological activities of differently degraded fucoidan fractions from *Fucus vesiculosus*. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 189. — P. 162–168. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.02.035>.

6. Li Y., Zheng Y., Zhang Y., Yang Y., Wang P., Imre B., Won A. C. Y., Hsieh Y. S. Y., Wang D. Brown Algae Carbohydrates: Structures, Pharmaceutical Properties, and Research Challenges. *Marine drugs*, 2021, 19 (11). — P. 620. <https://doi.org/10.3390/md19110620>
7. Ponce N. M. A., Stortz C. A. A Comprehensive and Comparative Analysis of the Fucoidan Compositional Data Across the Phaeophyceae. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11. — P. 556–312. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.556312>.
8. Dobrin A., Balbino S., Zori'c Z., Pedisic S., Kovacevic D. B., Garofulic I. E., Dragovic-Uzelac V. Review Advanced Technologies for the Extraction of Marine Brown Algal Polysaccharides, *Mar. Drugs* 2020, 18. — P. 168
9. Sun Q.-L., Li Y., Ni L.-Q., Li Y.-X., Cui Y.-S., Jiang S.-L., Xie E.-Y., Du J., Deng F., Dong C.-X. Structural characterization and antiviral activity of two fucoidans from the brown algae *Sargassum henslowianum*. *Carbohydrate Polymers*, 2020, 229. — P. 115487. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115487>.
10. Zvyagintseva T. N., Usoltseva R. V., Shevchenko N. M., Surits V. V., Imbs T. I., Malyarenko O. S., Besednova N. N., Ivanushko L. A., Ermakova S. P. Structural diversity of fucoidans and their radioprotective effect. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 273. — P. 118–551. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118551>.
11. Lim S. J., Wan Aida W. M., Schiehser S., Rosenau T., Böhmendorfer S. Structural elucidation of fucoidan from *Cladosiphonokamuranus* (Okinawa mozuku). *Food Chemistry*, 2019, 272. — P. 222–226. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.034>.
12. Ajisaka K., Yokoyama T., Matsuo K. Structural Characteristics and Antioxidant Activities of Fucoidans from Five Brown Seaweeds. *Journal of Applied Chemistry*, 2016, 63. — P. 31–37.
13. Хильченко С. Р., Запорожец Т. С, Звягинцева Т. Н. Фукоиданы бурых водорослей: влияние элементов молекулярной архитектуры на функциональную активность. *Антибиотики и химиотерапия*, 2018, 63. — P. 9–10.
14. Getachew A. T., Holdt S. L., Meyer A. S., Jacobsen C. Effect of Extraction Temperature on Pressurized Liquid Extraction of Bioactive Compounds from *Fucus vesiculosus*. *Marinedrugs*, 2022, 20 (4). — P. 263.

15. *Клочкова Н.Г., Березовская В.А.* Водоросли камчатского шельфа распространение, биология, химический состав. Владивосток: Издательство «Дальнаука», 1997. — С. 136.

16. *Seng J. L., Wan M. W. A.* Extraction of Sulfated Polysaccharides (Fucoidan) From Brown Seaweed. *Seaweed Polysaccharides*, 2017, 3. — P. 27–46.

17. *Kim S.-H., Choi D.-S., Athukorala Y.* Antioxidant Activity of Sulfated Polysaccharides Isolated from *Sargassum fulvellum*. *Journal of Food Science & Nutrition*, 2007, 12. — P. 65–73.

**Бабич О.О.** — доктор технических наук, доцент, директор научно-образовательного центра «Прикладная технология». Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград. E-mail: OOBabich@kantiana.ru.

**Хижинская С.В.** — студент, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград. E-mail: post@kantiana.ru.

**Кроль О.В.** — кандидат химических наук, научный сотрудник, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград. E-mail: okrol@kantiana.ru.

**Мальков Д.И.** — аспирант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград. E-mail: d.malkov161@mail.ru.

**Babich O.O.** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the scientific and Educational center “Applied Technology”. I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad. Email: OOBabich@kantiana.ru.

**Khizhinskaya S.V.** — student, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad. Email: post@kantiana.ru.

**Krol O.V.** — Candidate of Chemical Sciences, Researcher, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad. Email address: okrol@kantiana.ru

**Malkov D. I.** — postgraduate student, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad. E-mail: d.malkov161@mail.ru.