



А.А. Климук, Т.Л. Калита, Л.Л. Брежнев

*Московский государственный университет технологий и управления
им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Москва, Российская
Федерация*

ДЕЙСТВИЕ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА *LAMINARIACOLAX AECIDIOIDES* НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ АФРИКАНСКОГО КЛАРИЕВОГО СОМА *CLARIAS GARIEPINUS*

Аннотация. Изучено действие 5 и 15 % водного экстракта бурой водоросли *Laminariacolax aecidioides* на биохимические показатели крови молоди *Clarias gariepinus*. Показано, что содержание фракций фукоиданов (около 12 %) было сравнимо с его концентрацией в талломах макроводорослей, поэтому предложена возможность использования *L. aecidioides* в качестве альтернативного источника этих полисахаридов. Оценка влияния экстракта на биохимические параметры крови клариевого сома выявила позитивное влияние 5 % экстракта на состояние печени, почки и углеводного обмена рыб, тогда как более высокие концентрации экстракта (15 %) нарушали работу этих органов, что сопровождалось отклонением от нормы АСТ, щелочной фосфатазы и креатинина.

Ключевые слова: водный экстракт, фукоидан, моносахара, биохимические показатели крови, *Laminariacolax aecidioides*, *Clarias gariepinus*

Anastasia A. Klimuk, Tatyana L. Kalita, Leonid L. Brezhnev

Moscow State University of Technologies and Management (FCU), Moscow, Russian Federation

EFFECT OF LAMINARIACOLAX AECIDIOIDES WATER EXTRACT ON BIOCHEMICAL BLOOD INDICATORS OF AFRICAN CATFISH CLARIAS GARIEPINUS

Abstract. The effect of 5 and 15 % water extracts of the brown algae *Laminariacolax aecidioides* on the biochemical blood parameters of juveniles



Clarias gariepinus was studied. It was shown the content of fucoidan fractions (about 12 %) was comparable with its concentration in macroalgae thalli. Therefore, the possibility of using *L. acidioides* as an alternative source of these polysaccharides was proposed. An assessment of the effect of the extract on the biochemical parameters of the blood of catfish revealed a positive effect of 5 % of the extract on the state of the liver, kidney and carbohydrate metabolism of fish, while higher concentrations of the extract (15 %) disrupted the functioning of these organs, which was accompanied by a deviation from the norm of AST, alkaline phosphatase and creatinine.

Keywords: water extract, fucoidan, monosaccharides, biochemical parameters, *Laminariocolax acidioides*, *Clarias gariepinus*

Введение. Водные экстракты различных групп водорослей содержат большое число биологически активных веществ, действие которых очень широкое, начиная от стимуляции роста, урожайности, улучшения качества плодов высших растений [1], и, заканчивая смягчением действия абиотического стресса на растения [2] и животных [3].

Чаще всего экстракты в промышленном масштабе производят из представителей бурых макроводорослей порядков Laminariales и Fucales. Их экстракты проявляют антиоксидантную (связывание свободных радикалов на уровне клеток) [4], антимикробную [5], пребиотическую (стимуляция микробиоты кишечника рыб) [6], противоопухолевую [7], антигликемическую (ингибируют воздействие на α -глюкозидазы) [8], и др. активность. Действие экстрактов зависит от качества и количества входящих в них компонентов, их структуры, степени полимеризации [9], от элюента [10] и технологии экстракции [11, 12]. В водных экстрактах бурых водорослей преобладают фракции фукоиданов и ламинаранов (β -1,3-1,6-глюканов [13], а также в высоких долях отмечены флоротаннины и фукоксантин [14]. В этом отношении очень интересно исследование А.В. Скрипцовой (2017) [15], в котором показано, что нитчатые бурые водоросли из порядка Ectocarpales рода *Streblonema* синтезируют те же биологически активные вещества, что и традиционно-используемые виды бурых макроводорослей. Здесь просматриваются очень перспективное направление использования нитчатых эктокарповых водорослей для получения полисахаридов необходимого количества и нужного качества в промышленных масштабах с использованием биореакторов за короткий срок и с наименьшими финансовыми затратами по сравнению с использованием макрофитов. Эти нитчатые водоросли, часто являясь эндо- и экзофитами, показывают



очень высокие темпы роста, феноменальные адаптационные способности и огромный репродуктивный потенциал. Поэтому в данной работе, мы исследовали действие водного экстракта одного из представителей порядка Ectocarpales, эндофита ламинариевых водорослей — *Laminariocolax aecidioides*, встречающийся повсеместно в северном полушарии [16–19].

Также следует отметить, что в настоящее время водоросли, особенно микроскопические (*Spirulina* spp., *Chlorella* spp.), охотно внедряют в рецептуры кормов для различных животных, включая корма индустриальной аквакультуры. Учитывая, что постоянно ведутся работы по внедрению в аквакультуру новых видов, например, сейчас проводятся исследования по адаптации Африканского клариевого сома в рыбоводные хозяйства средней полосы России, то оценка действия экстракта на этот вид была бы очень актуальной. Поэтому исследование действия водного экстракта *Laminariocolax aecidioides* изучали на молоди Африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*), измеряя 11 показателей крови.

Основная часть. Исследования проводились на инфраструктурных ресурсах уникальной научной установки (УНУ) НТИРФ Рег №3662433 «Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии» — Универсальном мультипрофильном стенде аквабиотехнологий и в экспериментальной инновационной лаборатории «Фитоэкологических аквабиотехнологий» факультета биотехнологий и рыбного хозяйства МГУТУ им. Разумовского (ПКУ).

Объект исследования. *Laminariocolax aecidioides* — это эндофитная бурая нитчатая водоросль рода Ectocarpales (Chordariaceae), была выделена из талломов бурой водоросли *Undaria pinnatifida* в июне 2018 г. (залив Петра Великого, Японское море, Россия) [16]. Штаммы водоросли хранятся в Морском биобанке Биоресурсной коллекции ННЦМБ ДВО РАН и были любезно переданы А.В. Скрипцовой для изучения в лабораторию «Фитоэкологических аквабиотехнологий» УНУ факультета Биотехнологий и рыбного хозяйства МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ).

Экспериментальный рацион. Для получения водного экстракта из водоросли *L. aecidioides*, 100 грамм живых водорослей экстрагировали дистиллированной водой (водоросли — дист. вода, 1:5 г/мл) в течение 8 ч при комнатной температуре, а затем нагревали и выдерживали при 80 °С в течение 30 мин на водяной бане. Горячий экстракт фильтровали и охлаждали по методике Вафина Л. Х., Подкорытова А. (2009).



Далее приготовленный экстракт вводили в опытные корма путем распыления и высушивания при температуре 40 °С до первоначальных значений влажности и хранили при температуре 4 °С в герметичных контейнерах не более 1 недели. Использовали концентрации 5 % и 15 % на 100 г. корма (5 мл экстракта/95 г корма; 15 мл экстракта/85 г корма,). Контрольную группу кормили коммерческим кормом без внесения экстракта.

В качестве основы рациона был взят коммерческий комбикорм фирмы Sorrens (Нидерланды) (гранулированный комбикорм Sorrens Intensiv 3 мм). Постановка эксперимента. Сеголетки африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*), всего в эксперименте было задействовано 30 рыб (78.29±22.8 г, 19.9±1.75 см) выращивались в экспериментальных группах по 10 особей в рыбоводных емкостях по 1000 л Универсального мультипрофильного стенда аквабиотехнологий УНУ, при этом обеспечивались условия — рН 7.0-7.5, t=26-28°C, L:D=12:12. Длительность эксперимента составила 60 дней. Было сформировано три опытные группы: 1 группа — контроль, 2 группа — 10 сомов кормили 5 % обогащенным экстрактом, и 3 группа, 10 сомов — 15% добавление экстракта. После недельной адаптации, рыб кормили два раза в день в 10:00 и 18:00. Суточная норма кормления составляла 4,0 % от биомассы выращиваемых рыб.

Условия выращивания *Laminariacolax acididioides*: температура 10 С, освещенность 25 мкЕ/м² с⁻¹, фотопериод L:D = 12:12, еженедельная смена искусственной морской среды (обогащенная ES Провазоли) [20]. Биохимический анализ сыворотки крови. Для проведения биохимического анализа крови из каждой опытной и контрольной групп брали по три особи клариевого сома без видимых повреждений. Перед забором крови рыб анестезировали гвоздичным маслом в концентрации 0,05 %. Образцы крови (1 мл) брали из хвостовой вены.

Анализ сыворотки крови провели в начале и в конце эксперимента, который включал в себя определение биохимических маркеров состояния печени (общий белок, альбумин, глобулин, аспартатаминотрансфераза (АСТ) и аланинаминотрансфераза (АЛТ) щелочная фосфатаза), почки (мочевина, креатинин) и углеводного обмена в организме рыб (глюкоза, лактатдегидрогеназа (ЛДГ). АСТ, АЛТ, креатинин и мочевину в сыворотке определяли при помощи биохимического анализатора CS-T240 (Китай) с использованием готовых реактивов (наборов), поставляемых компанией Spinreact Co (Испания) следуя инструкциям произ-



водителя. Уровни глюкозы в крови (ммоль/л) измеряли с использованием ферментных наборов, полученных от Bio-Merieux (Франция) [21]. Общий белок и альбумины сыворотки определяли согласно Doumas и др. (1981) [22] и Reiner (2012) [23], а содержание глобулинов рассчитывали математически.

Определение полисахаридного состава *Laminariocolax aecidioides*. Количественное определение фукоидана осуществлялось спектрофотометрическим методом Dische (модифицированным) [24]. Метод основан на цветной реакции фукозы с L-цистеином и серной кислотой, позволяющий определять легкорастворимые фракции фукоидана с высоким содержанием фукозы и сульфатных групп [25]. Согласно работе Гурулевой с соавторами (2005) [11], при использовании этого метода определяется только легкорастворимая в разбавленных кислотах часть фукозосодержащих полисахаридов. Поэтому содержание фукоидана, найденное таким способом, как правило, ниже, чем содержание, рассчитанное из выхода фукозы при гидролизе биомассы. Для определения фукоидана в биомассе водоросли выход фукозы домножали на 2, исходя из условного среднего содержания фукозы в фукане, равного 50% [13].

Для определения концентрации моносахаров в эндофите пользовались стандартными методиками спектрофотометрического определения сахаров с антроновым реактивом [26]. Метод основан на расщеплении сложных углеводов до моносахаров (в случае с бурыми водорослями, расщепление ламинаранов (β -1,3-1,6 глюканов) до глюкозы, соединенной β -1,3-связью) [27] с последующей их дегидратацией и образовании гидроксиметилфурфуrolа, образующего при реакции с антроном комплексное соединение сине-зеленого цвета. Интенсивность окраски прямо пропорциональна содержанию сахаров в пробе.

Для сравнения полученных концентраций полисахаридов *L. aecidioides* дополнительно провели исследование содержания фукоиданов и моносахаров в сухих образцах водорослей порядка Fucaceae: *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* пользуясь методиками, описанными выше.

Статистическая обработка. Определение нормальности распределения численных данных осуществлялось при помощи теста Колмогорова-Смирнова. Сравнение содержания моносахаров в водоросли, биохимических параметров и оценка достоверности различий опытных и контрольных групп выполнена с помощью t-критерия Стьюдента.



Влияние различных концентраций экстракта на параметры крови оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) для независимых переменных. Вероятность ошибки $p < 0,05$ считали достаточной для вывода о статистической значимости различий полученных данных. Обработка полученных в ходе экспериментальных исследований данных производилась с использованием StatSoft, Inc. Statistica V. 12.

Спектрофотометрическое определение содержания фракций фукоиданов и моносахаров. Анализ содержания фракций фукоидана показал, что процентное содержание фукозо-содержащих полисахаридов, определенное спектрофотометрическим способом, в *L. aecidioides* (Ectocarpales) имеет схожие значения с представителями фукусовых — *F. evanescens* и *A. nodosum*, и составляет 12 % от биомассы сухой водоросли (табл. 1).

Таблица 1. Содержание фракций фукоидана и моносахаров
Table 1. Content of fucoidan and monosaccharides fractions

Классификация водоросли	Фукоидан, %	Моно-сахара, мг/мл
Класс Phaeophyceae Порядок Ectocarpales Сем. Chordariaceae Вид <i>Laminariocolax aecidioides</i>	12±11,2	0,144±0,03*
Класс Cyclosporophyceae Порядок Fucales Сем. Fucaceae Вид <i>Fucus evanescens</i>	15,3±6,0	0,2±0,02
Класс Phaeophyceae Порядок Fucales Сем. Fucaceae Вид <i>Ascophyllum nodosum</i>	13,24±2,1	0,2±0,002

Примечание. * — достоверно отличается от контроля при $p < 0,05$

Содержание моносахаров (глюкозы), в тканях *L. aecidioides* было в 1.4 раза ($p < 0,05$) ниже по сравнению с концентрациями в талломах макрофитов (*F. evanescens* и *A. nodosum*) (табл. 1).

Изучение полисахаридного состава *Laminariocolax aecidioides* показало, что содержание фракций фукоиданов (около 12 %) было сравнимо с его концентрацией в талломах макроводорослей, традиционно используемых в промышленности. Так, фукус (*Fucus evanescens*) содер-



жит в среднем около 10 % фукоидана [28]. А дальневосточные промысловые водоросли порядка *Laminariales* содержат от 0,6 до 6,5 % фукоидана [29, 30]. Наибольшее содержание этого полисахарида, по данным М. И. Билан с коллегами (2014) было обнаружено в небольшой пластинчатой тихоокеанской бурой водоросли *Punctaria plantaginea* (19,2 %) [31]. На основе этих данных мы рассматриваем возможность использования *Laminariacolax aecidioides* в промышленном масштабе для получения таких биологически активных веществ.

Оценка влияния водного экстракта *L. aecidioides* на биохимические параметры крови *Clarias gariepinus*. Результаты биохимического анализа сыворотки крови сомов представлены в таблице 2. Биохимические маркеры состояния печени: было зарегистрировано достоверное снижение активности аспарагиновой аминотрансферазы (АСТ) в крови группы сомов с добавлением 15 % экстракта в 2,14 раза ($p < 0,05$) к концу эксперимента (60 суток).

Наблюдалось достоверное снижение концентрации щелочной фосфатазы в крови рыб, питавшихся кормом с добавлением 5 % экстракта — в 2,17 раза ($p < 0,05$) к концу эксперимента по сравнению с контрольными показателями. Другие биомаркеры: АЛТ, общий белок крови, альбумин, глобулин и их соотношение не отличались от контрольных показателей на протяжении эксперимента.

Биохимические маркеры состояния почки (мочевина и креатинин) были в пределах физиологической нормы на протяжении эксперимента.

Биохимические маркеры углеводного обмена. Глюкоза в группах 5 и 15 % достоверно была снижена к 60 суткам эксперимента в 1,28 и 1,5 раза ($p < 0,05$) соответственно. Наименьшее значение глюкозы в крови отмечено у особей, группе которых задавали корм с 15 % экстракта в течение 60 суток, и составляло 3,2 ммоль/л.

Уровень лактатдегидрогеназы (ЛДГ) в сыворотке крови рыб не изменялся на протяжении эксперимента.

Анализ биохимических параметров крови сомов говорит о благоприятном воздействии экстракта на физиологическое состояние рыб в концентрации 5 %, что выражалось в отсутствии отклонений работы печени, почек и нормализации углеводного обмена. При добавлении 15 % экстракта в корма наблюдались нарушения в работе этих органов, что сопровождалось отклонением от нормы таких показателей как АСТ, щелочная фосфатаза, креатинин. Во всех вариантах опыта наблюдалось



низкое содержание альбуминов в сыворотке крови, что, как правило, связывают с напряженностью пластического обмена и с действием стрессовых факторов, понижающих адаптационные возможности организма рыб [32]. Среди возможных стрессовых факторов, мы полагаем, можно рассматривать плотность посадки и внутривидовые взаимоотношения рыб.

Таблица 2. Изменения биохимических показателей крови *Clarias gariepinus*

Table 2. Changes in blood biochemical parameters of *Clarias gariepinus*

Параметр	Период экспозиции, сут.	Норма [32]	Опытные группы		
			Контроль	5%	15%
АСТ ед/л	1	83–570	119±37,1	108,1±6,8	125,3±39,5
	60		123,2±45,9	114,1±11,3	58,4±1,4
АЛТ ед/л	1	32–70	62,1±22,5	45,8±1,5	64,7±29,4
	60		41,6±17,8	39,3±14,1	39,9±13,1
Щелочная фосфатаза ед/л	1	3–25	44,7±9,3	45,7±9,5	36,3±9,0
	60		14,3±11,6	21,0±8,9	30,3±11,7
Общий белок г/л	1	25–40	35,9±2,6	32,3±5,3	35,9±3,4
	60		32,1±0,5	20,3±14,2	30,7±2,1
Альбумин г/л	1	14–17	12,1±0,9	11,0±1,0	11,3±0,5
	60		12,3±1,1	11,5±1,8	10,9±0,9
Глобулин г/л	1	н/д	23,8±1,7	21,3±4,3	24,6±2,9
	60		19,8±1,0	18,8±1,4	19,7±1,5
Соотношение альбумин/глобулин	1	н/д	0,5±0,004	0,5±0,07	0,5±0,04
	60		0,6±0,09	0,6±0,05	0,6±0,04
Мочевина ммоль/л	1	н/д	1,9±0,1	1,7±0,1	3,8±3,6
	60		1,6±0,2	1,2±0,3	1,1±0,3
Креатинин мл-моль/л	1	6–12	24,3±3,1	18,5±6,9	20,6±12,5
	60		2,2±2,2	7,3±7,4	5,7±5,3
Глюкоза ммоль/л	1	1–20	8,2±0,8	5,5±0,4	4,8±0,6
	60		4,9±1,3	4,3±0,6	3,2±0,0
ЛДГ ед/л	1	н/д	193,0±82,6	173,0±48,2	132,7±27,3
	60		193,6±64,9	147,7±20,5	112,7±17,0

Примечание. Результаты представлены в виде средних значений ± стандартное отклонение, н/д — нет данных



Аналогичные результаты были получены при внесении фукоидана в корма красного морского леща *Pagrus major* (в концентрации 0,2 и 0,4 %), что привело к снижению АСТ в крови рыб и нормализации работы печени [33]. Кроме того, кормление фукоиданом влияло на метаболизм рыб, снижая уровень глюкозы в крови у взрослых *Danio rerio* [34], что наблюдалось нами уже после 1 суток кормления экстрактом *Laminariocolax aecidioides* и оставалась неизменной в течение эксперимента — около 5 ммоль/л что было в пределах нормы для сомов (1–20 ммоль/л, цит. по Пронина, Корягина, 2015 [32]).

Выводы.

1. В результате исследования концентраций полисахаридов было выявлено, что содержание фракций фукоиданов в нитчатой водоросли *Laminariocolax aecidioides* составляет около 12 % от биомассы сухой водоросли, следовательно, можно использовать эндофит в качестве альтернативного источника биологически активных полисахаридов.

2. Изучение действия 5 и 15 % водного экстракта в кормах на биохимические показатели крови молоди *Clarias gariepinus* показало, что внесение 5 % экстракта оказало благоприятное воздействие на состояние печени, почки и углеводного обмена рыб, при этом добавление 15 % экстракта в корма сопровождалось негативным откликом организма сомов в виде отклонений от нормы АСТ, щелочной фосфатазы и креатинина.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках проекта Межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования» и проводились на инфраструктурных ресурсах уникальной научной установки (УНУ) НТИРФ Рег №3662433 «Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии» — Универсальном мультипрофильном стенде аквабиотехнологий и в экспериментальной инновационной лаборатории «Фитоэкологических аквабиотехнологий».

Acknowledgment. The research was carried out within the framework of the project of the World-class Interregional Scientific and Educational Center “Russian Arctic: new materials, technologies and research methods” and was carried out on the infrastructure resources of the unique scientific installation (UNU) of the NTIRF Reg No. 3662433 “Scientific Research Complex of advanced technologies of aquaculture and hydroecology” — a universal multi-profile stand of aquabiotechnology and in experimental innovative laboratories of “Phytoecological aquabiotechnologies”.

**Список использованных источников**

1. Mostafa M. M. Water extracts of *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* enhance tomato (*Solanum lycopersicum* L.) tolerance against saline water irrigation / M. M. Mostafa, D. M. Hammad, M. M. Reda, Abo El-Khair B. El-Sayed // *Biomass Conv. Bioref.* 2023. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04460-x>.
2. Enan S. A. A. M. Impact of foliar feeding with alga extract and boron on yield and quality of sugar beet grown in sandy soil / S. A. A. M. Enan, A. M. El-Saady, A. B El-Sayed // *Egypt J of Agron*, 2016, 38(2):319–336. <https://doi.org/10.21608/AGRO.2016.622>.
3. Кушнерова, Н.Ф. Экстракт из бурой водоросли *Laminaria japonica*-перспективный стресс-протекторный препарат / Н.Ф. Кушнерова, С.Е. Фоменко, В.Г. Спрыгин, Т.В. Кушнерова, Ю.С. Хотимченко, Е.В. Кондратьева, Л.А. Другова // *Биология моря* — 2010. 36(№3) — С. 215–220.
4. Zubia, M. Antioxidant and antimicrobial activities of some Phaeophyta from Brittany coasts / M. Zubia, M.S. Fabre, V. Kerjean, K. Le Lann, V. Stiger-Pouvreau, M. Fauchon, E. Deslandes // *Food chemistry*, 2009, 116(3), 693-701 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.025>.
5. Bello, A. Evaluation of genotoxic effects of methanolic extract of brown seaweed *Stoechospermum marginatum* / A. Bello, S. Padmanabhan, R. Thangamalai, K. Laksh-manan, K. Nagarajan // *The Journal of Phytopharmacology*, 2019, 8(5), 226-231. doi: 10.31254/phyto.2019.8504.
6. Журавлева, О.В. Бурые морские водоросли как новые источники пребиотиков / О.В. Журавлева // *Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: Материалы III Национальной научно-технической конференции, Владивосток, 18 декабря 2019 года.* — Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2020. — С. 141–151.
7. Zorofchian M. S. Anticancer and antitumor potential of fucoidan and fucoxanthin, two main metabolites isolated from brown algae / M.S Zorofchian, H. Karimian, R. Khanabdali, M. Razavi, M. Firoozinia, K. Zandi, K. H. Abdul // *Scientific World Journal*, 2014, Jan 2;2014:768323. doi: 10.1155/2014/768323.
8. Moheimanian N. Inhibitory Potential of Six Brown Algae from the Persian Gulf on α -Glucosidase and In Vivo Antidiabetic Effect of *Sirophysalis Trinodis* / N. Moheimanian, H. Mirkhani, J. Sohrabipour, A.R. Jassbi // *Iran J Med Sci.*, 2022, Sep;47(5):484-493. doi: 10.30476/IJMS.2021.91258.2245.
9. Li Y. Extraction and Identification of Phlorotannins from the Brown Alga, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchel / Y. Li, X. Fu, D. Duan, X. Liu, J. Xu, X. Gao // *Mar Drugs*, 2017, Feb 21;15(2):49. doi: 10.3390/md15020049.
10. Sobuj M.K.A. Effect of solvents on bioactive compounds and antioxidant activity of *Padina tetrastratica* and *Gracilaria tenuistipitata* seaweeds collected from Bangladesh / M. K. A. Sobuj, M.A. Islam, M.S. Islam, M.M. Islam, Y. Mahmud, S.M. Rafiqzaman // *Sci Rep.*, 2021, Sep 27;11(1):19082. doi: 10.1038/s41598-021-98461-3.



11. Гурулева, О.Н. Способ получения фукоидана из *Laminaria japonica* Aresch / О.Н. Гурулева, Н.М. Аминина, Т.И. Вишневская // Известия ТИНРО. 2005. — № 143. — С. 327–331.
12. Наумов, И.А. Водоросли — источник биополимеров, биологически активных веществ и субстрат в биотехнологии. Часть 1. Биополимеры клеток тканей водорослей / И.А. Наумов, Е.А. Буркова, З.А. Канарская, А.В. Канарский // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №1.
13. Усов, А.И. Полисахариды водорослей. 55. Полисахаридный состав некоторых бурых водорослей Камчатки / А.И. Усов, Г.П. Смирнова, Н.Г. Ключкова // Биоорганическая химия. — 2001. — Т. 27, № 6. — С. 444–448.
14. Catarino M.D. Phytochemical Constituents and Biological Activities of *Fucus* spp / M.D. Catarino, A.M.S. Silva, S.M. Cardoso // *Mar Drugs*, 2018, Jul 27;16(8):249. doi: 10.3390/md16080249.
15. Skriptsova, A.V. Nitrogen Effect on Water-Soluble Polysaccharide Accumulation in *Streblonema* sp. (Ectocarpales, Phaeophyceae) / A.V. Skriptsova // *Mar Biotechnol*, 2017, 19, 410–419. <https://doi.org/10.1007/s10126-017-9759-3>.
16. Скрипцова, А.В. Первая находка бурой эндофитной водоросли *Laminariocolax aecidioides* (Rosenvinge) A.F. Peters, 1998 в дальневосточных морях России / А.В. Скрипцова, Т.Л. Калита // Биология моря. — 2020.
17. Burkhardt, E. Molecular evidence from nrDNA ITS sequences that *Laminariocolax* (Phaeophyceae, Ectocarpales sensu lato) is a worldwide clade of closely related kelp endophytes / E. Burkhardt, A.F. Peters // *J. Phycol*, 1998, V. 34. P. 682–691.
18. Bruhn, A. Crude fucoidan content in two North Atlantic kelp species, *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata*—seasonal variation and impact of environmental factors / A. Bruhn, T. Janicek, D. Manns, M. Nielsen, T. J. S. Balsby, A.S. Meyer, A.B. Bjerre // *Journal of applied phycology*, 2017, 29, 3121–3137. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1204-5>.
19. Gauna, M.C. Epi-endophytic symbiosis between *Laminariocolax aecidioides* (Ectocarpales, Phaeophyceae) and *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyceae) growing on Argentinian coasts / M.C. Gauna, E.R. Parodi, E.J. Cáceres // *J. Appl. Phycol*, 2009, V. 21. P. 11–18. <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9298-9>.
20. Provasoli, L. Experiments on the resynthesis of symbiosis in *Covoluta roscoffensis* with different flagellate cultures / L. Provasoli, T. Yamasu, I. Manton // *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1968, 48: 465–479.
21. Trinder, P. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor / P. Trinder // *Annals of clinical Biochemistry*. — 1969. — Т. 6. — №. 1. — С. 24–27.
22. Dumas, B.T. A candidate reference method for determination of total protein in serum. I. Development and validation / B.T. Dumas, D.D. Bayse, R.J. Carter, Jr T. Peters, R. Schaffer // *Clinical chemistry*, 1981, 27(10), 1642–1650.
23. Reiner, M. Standard methods of clinical chemistry / M. Reiner // Elsevier, 2012. — Т. 1.



24. Dische, Z.A specific color reaction of methylpentoses and a spectrophotometric micromethod for their determination / Z. Dische, L.B. Shettles // *Journal of biological chemistry*. — 1948. — Т. 175. — №. 2. — С. 595–603.
25. Усов, А.И. Выделение фракций фукоидана из бурой водоросли *L. sichorioides* Miyabe / А.И. Усов, А.В. Кирьянов // *Биоорг. химия*. — 1994. — Т. 20. — №. 12. — С. 1342–1348.
26. Самылина, И.А. Определение сахаров спектрофотометрическими методами / И.А. Самылина, И.П. Рудакова, Ж.И. Аладышева, С.В. Ковалева // *Фармация*, 2009, (4), 3–5.
27. Звягинцева, Т.Н. Ферментативное превращение ламинаранов в 1→3;1→6-β-D-глюканы, обладающие иммуностимулирующим действием / Т.Н. Звягинцева, Л.А. Елякова, В.В. Исаков // *Биоорганическая химия*. — 1995. — Т. 21. — №. 3. — С. 218–225.
28. Имбс, Т.И. Оптимизация процесса экстракции фукоидана из бурой водоросли *Fucus evanescens*. / Т.И. Имбс, В.И. Харламенко, Т.Н. Звягинцева // *Химия растительного сырья*. — 2012. — № 1. — С. 143–147.
29. Имбс, Т.И. Сравнительное исследование химического состава и противовоспалительной активности водно-этанольных экстрактов бурых водорослей *Laminaria sichorioides*, *Costaria costata* и *Fucus evanescens* / Т.И. Имбс, Н.П. Красовская, С.П. Ермакова, Т.Н. Макарьева, Н.М. Шевченко, Т.Н. Звягинцева // *Биология моря*, 2009, т. 35, № 2, С. 140–146.
30. Skriptsova, A.V. Monthly changes in the content and monosaccharide composition of fucoidan from *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) / A.V. Skriptsova, N.M. Shevchenko, T.N. Zvyagintseva, T. I. Imbs // *J Appl Phycol*, 2010, 22, 79–86. <https://doi.org/10.1007/s10811-009-9438-5>
31. Билан, М.И. Полисахариды водорослей. Сообщение 65. Необычный полисахаридный состав тихоокеанской бурой водоросли *Punctaria plantaginea* / М.И. Билан, Г.П. Смирнова, А.С. Шашков, А.И. Усов // *Известия Академии наук. Серия химическая*. — 2014. — № 2. — С. 522. — EDN SYRKZZ.
32. Пронина, Г.И. Референсные значения физиолого-иммунологических показателей гидробионтов разных видов / Г.И. Пронина, Н.Ю. Корягина // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. — 2015. — №. 4. — С. 103–108.
33. Sony, N.M. The effect of dietary fucoidan on growth, immune functions, blood characteristics and oxidative stress resistance of juvenile red sea bream, *Pagrus major* / N.M. Sony, M. Ishikawa, M.S. Hossain, S. Koshio, S. Yokoyama // *Fish Physiol Biochem*. 2019 Feb;45(1):439-454. doi: 10.1007/s10695-018-0575-0. Epub 2018 Oct 5. PMID: 30291545.
34. Ikeda-Ohtsubo W. Intestinal Microbiota and Immune Modulation in Zebrafish by Fucoidan From Okinawa Mozuku (*Cladosiphon okamuranus*) / W. Ikeda-Ohtsubo, A. López Nadal, E. Zaccaria, M. Iha, H. Kitazawa, M. Kleerebezem, S. Brugman // *Front Nutr*. 2020 Jun 24;7:67. doi: 10.3389/fnut.2020.00067. PMID: 32671088; PMCID: PMC7327095.

**Reference**

1. Mostafa M.M. Water extracts of *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* enhance tomato (*Solanum lycopersicum* L.) tolerance against saline water irrigation / M.M. Mostafa, D.M. Hammad, M.M. Reda, Abo El-Khair B. El-Sayed // *Biomass Conv. Bioref.* 2023. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04460-x>.
2. Enan S. A. A. M. Impact of foliar feeding with alga extract and boron on yield and quality of sugar beet grown in sandy soil / S. A. A. M. Enan, A.M. El-Saad, A. B El-Sayed // *Egypt J of Agron*, 2016, 38(2):319–336. <https://doi.org/10.21608/AGRO.2016.622>.
3. Kushnerova, N.F. Brown algae extract *Laminaria japonica* is a promising stress-protective drug / N.F. Kushnerova, S.E. Fomenko, V.G. Sprygin, T.V. Kushnerova, J. S. Hotimchenko, E. V. Kondrat'eva, L. A. Drugova // *Marine biology* — 2010. 36(№3). P. 215–220 (in Russian).
4. Zubia, M. Antioxidant and antitumoural activities of some Phaeophyta from Brittany coasts / M. Zubia, M.S. Fabre, V. Kerjean, K. Le Lann, V. Stiger-Pouvreau, M. Fauchon, E. Deslandes // *Food chemistry*, 2009, 116(3), 693–701 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.025>.
5. Bello, A. Evaluation of genotoxic effects of methanolic extract of brown seaweed *Stoechospermum marginatum* / A. Bello, S. Padmanabhan, R. Thangamalai, K. Laksh-manan, K. Nagarajan // *The Journal of Phytopharmacology*, 2019, 8(5), 226–231. doi: 10.31254/phyto.2019.8504.
6. Zhuravleva, O.V. Brown seaweed as a new source of prebiotics / O.V. Zhuravleva // *Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring the food security of the Russian Federation: Proceedings of the III National Scientific and Technical Conference, Vladivostok, December 18, 2019.* — Vladivostok: Far Eastern State Technical Fisheries University, 2020. — P. 141–151 (in Russian).
7. Zorofchian M.S. Anticancer and antitumor potential of fucoidan and fucoxanthin, two main metabolites isolated from brown algae / M.S Zorofchian, H. Karimian, R. Khanabdali, M. Razavi, M. Firoozinia, K. Zandi, K.H. Abdul // *Scientific World Journal*, 2014, Jan 2;2014:768323. doi: 10.1155/2014/768323.
8. Moheimanian N. Inhibitory Potential of Six Brown Algae from the Persian Gulf on α -Glucosidase and In Vivo Antidiabetic Effect of *Sirophysalis Trinodis* / N. Moheimanian, H. Mirkhani, J. Sohrabipour, A.R. Jassbi // *Iran J Med Sci.*, 2022, Sep;47(5):484–493. doi: 10.30476/IJMS.2021.91258.2245.
9. Li Y. Extraction and Identification of Phlorotannins from the Brown Alga, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchel / Y. Li, X. Fu, D. Duan, X. Liu, J. Xu, X. Gao // *Mar Drugs*, 2017, Feb 21;15(2):49. doi: 10.3390/md15020049.
10. Sobuj M.K.A. Effect of solvents on bioactive compounds and antioxidant activity of *Padina tetrastrum* and *Gracilaria tenuistipitata* seaweeds collected from Bangladesh / M. K. A. Sobuj, M.A. Islam, M.S. Islam, M.M. Islam, Y. Mahmud, S.M. Rafiqzaman // *Sci Rep.*, 2021, Sep 27;11(1):19082. doi: 10.1038/s41598-021-98461-3.
11. Guruleva O.N. Method for obtaining fucoidan from *Laminaria japonica* Aresch / O.N. Guruleva, N.M. Aminina, T.I. Vishnevskaja // *Izvestiya TINRO*. 2005. № 143. P. 327–331 (in Russian).



12. Naumov I.A. Algae is a source of biopolymers, biologically active substances and a substrate in biotechnology. Part 1. Biopolymers of algal tissue cells / I.A. Naumov, E.A. Burkova, Z.A. Kanarskaja, A.V. Kanarskij // Bulletin of Kazan Technological University. 2015. №1 (in Russian).
13. Usov, A.I. Polysaccharide composition of some brown algae of Kamchatka / A.I. Usov, G.P. Smirnova, N.G. Klochkova // Bioorganic chemistry. — 2001. — T. 27, № 6. — P. 444–448 (in Russian).
14. Catarino M.D. Phycochemical Constituents and Biological Activities of *Fucus* spp / M.D. Catarino, A.M.S. Silva, S.M. Cardoso // Mar Drugs, 2018, Jul 27;16(8):249. doi: 10.3390/md16080249.
15. Skriptsova, A.V. Nitrogen Effect on Water-Soluble Polysaccharide Accumulation in *Streblonema* sp. (Ectocarpales, Phaeophyceae) / A.V. Skriptsova // Mar Biotechnol, 2017, 19, 410–419. <https://doi.org/10.1007/s10126-017-9759-3>.
16. Skripцова, A.V. The first finding of the brown endophytic alga *Laminariocolax aecidioides* (Rosenvinge) A.F. Peters, 1998 in the Far Eastern seas of Russia / A.V. Skripцова, T.L. Kalita // Marine biology. — 2020 (in Russian).
17. Burkhardt E. Molecular evidence from nrDNA ITS sequences that *Laminariocolax* (Phaeophyceae, Ectocarpales sensu lato) is a worldwide clade of closely related kelp endophytes / E. Burkhardt, A.F. Peters // J. Phycol, 1998, V. 34. P. 682–691.
18. Bruhn, A. Crude fucoidan content in two North Atlantic kelp species, *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* — seasonal variation and impact of environmental factors / A. Bruhn, T. Janicek, D. Manns, M. Nielsen, T. J. S. Balsby, A.S. Meyer, A.B. Bjerre // Journal of applied phycology, 2017, 29, 3121–3137. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1204-5>.
19. Gauna M.C. Epi-endophytic symbiosis between *Laminariocolax aecidioides* (Ectocarpales, Phaeophyceae) and *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyceae) growing on Argentinian coasts / M.C. Gauna, E.R. Parodi, E.J. Cáceres // J. Appl. Phycol, 2009, V. 21. P. 11–18. <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9298-9>.
20. Provasoli L. Experiments on the resynthesis of symbiosis in *Covoluta roscoffensis* with different flagellate cultures / L. Provasoli, T. Yamasu, I. Mantou // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1968, 48: 465–479.
21. Trinder P. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor / P. Trinder // Annals of clinical Biochemistry. — 1969. — T. 6. — №. 1. — P. 24–27.
22. Doumas, B.T. A candidate reference method for determination of total protein in serum. I. Development and validation / B.T. Doumas, D.D. Bayse, R. J. Carter, Jr T. Peters, R. Schaffer // Clinical chemistry, 1981, 27(10), 1642–1650.
23. Reiner M. Standard methods of clinical chemistry / M. Reiner // Elsevier, 2012. — T. 1.
24. Dische Z. A specific color reaction of methylpentoses and a spectrophotometric micromethod for their determination / Z. Dische, L.B. Shettles // Journal of biological chemistry. — 1948. — T. 175. — №. 2. — P. 595–603.



25. Usov A.I. Isolation of fucoidan fractions from the brown alga *L. cichorioides* Miyabe / A.I. Usov, A.V. Kir'janov // *Bioorganic chemistry*. — 1994. — Т. 20. — №. 12. — P. 1342–1348 (in Russian).
26. Samylina, I.A. Determination of sugars by spectrophotometric methods / I.A. Samylina, I.P. Rudakova, Zh. I. Aladysheva, S.V. Kovaleva // *Pharmacia*, 2009, (4), 3–5 (in Russian).
27. Zvjaginceva T.N. Enzymatic conversion of laminarans into 1→3;1→6-β-D-glucans with an immunostimulatory effect / T.N. Zvjaginceva, L.A. Eljakova, V.V. Isakov // *Bioorganic chemistry*. — 1995. — Т. 21. — №. 3. — P. 218–225 (in Russian).
28. Imbs, T.I. Optimization of the fucoidan extraction process from the brown algae *Fucus evanescens* / T.I. Imbs, V.I. Harlamenko, T.N. Zvjaginceva // *Химия растительного сырья*. — 2012. — № 1. — P. 143–147 (in Russian).
29. Imbs, T.I. Comparative study of the chemical composition and antitumor activity of water-ethanol extracts of brown algae *Laminaria cichorioides*, *Costaria costata* and *Fucus evanescens* / T.I. Imbs, N.P. Krasovskaja, S.P. Ermakova, T.N. Makar'eva, N.M. Shevchenko, T.N. Zvjaginceva // *Marine biology*, 2009, т. 35, № 2, P. 140–146 (in Russian).
30. Skriptsova, A.V. Monthly changes in the content and monosaccharide composition of fucoidan from *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) / A.V. Skriptsova, N.M. Shevchenko, T.N. Zvyagintseva, T.I. Imbs // *J Appl Phycol*, 2010, 22, 79–86. <https://doi.org/10.1007/s10811-009-9438-5>
31. Bilan M.I. Polysaccharides of algae. Message 65. Unusual polysaccharide composition of the Pacific brown algae *Punctaria plantaginea* / M.I. Bilan, G.P. Smirnova, A.S. Shashkov, A.I. Usov // *Proceedings of the Academy of Sciences. Chemical series*. — 2014. — № 2. — P. 522 (in Russian).
32. Pronina G.I. Reference values of physiological and immunological parameters of hydrobionts of different species / G.I. Pronina, N.J. Korjagina // *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries*. — 2015. — №. 4. — P. 103–108 (in Russian).
33. Sony N.M. The effect of dietary fucoidan on growth, immune functions, blood characteristics and oxidative stress resistance of juvenile red sea bream, *Pagrus major* / N.M. Sony, M. Ishikawa, M.S. Hossain, S. Koshio, S. Yokoyama // *Fish Physiol Biochem*. 2019 Feb;45(1):439-454. doi: 10.1007/s10695-018-0575-0. Epub 2018 Oct 5. PMID: 30291545.
34. Ikeda-Ohtsubo W. Intestinal Microbiota and Immune Modulation in Zebrafish by Fucoidan From Okinawa Mozuku (*Cladosiphon okamuranus*) / W. Ikeda-Ohtsubo, A. López Nadal, E. Zaccaria, M. Iha, H. Kitazawa, M. Kleerebezem, S. Brugman // *Front Nutr*. 2020 Jun 24;7:67. doi: 10.3389/fnut.2020.00067. PMID: 32671088; PMCID: PMC7327095.

Сведения об авторах

Климук Анастасия Алексеевна — магистр, младший научный сотрудник Экспериментальной лаборатории «Фитозоологических аквакультурных технологий», Факультет Биотехнологий и рыбного хозяйства, Московский государственный универси-



тет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ) (ул. Земляной вал, д. 73, Москва, Российская Федерация). E-mail: klimukanastasia27@gmail.com

Калита Татьяна Львовна — кандидат биологических наук, доцент, и. о. зав. кафедрой «Биологии и биоинформатики» факультета Биотехнологий и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ) (ул. Земляной вал, д. 73, Москва, Российская Федерация). E-mail: t.kalita@mgutm.ru

Брежнев Леонид Леонидович — старший инженер Центра «Аквакультуры» факультета Биотехнологий и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ) (ул. Земляной вал, д. 73, Москва, Российская Федерация). E-mail: brezhnev2011@list.ru

Information about the authors

Anastasia A. Klimuk — Master, Assistant researcher Experimental Laboratory of Phytoecological Aquabiotechnologies, Faculty of Biotechnology and Fisheries. Moscow State University of Technologies and Management K.G. Razumovsky (FCU) (Zemlyanoy Val, 73, Moscow, Russian Federation). E-mail: klimukanastasia27@gmail.com

Tatyana L. Kalita — PhD in Marine Biology, Associate Professor. Acting Head Department of Biology and Bioinformatics Faculty of Biotechnology and Fisheries. Moscow State University of Technologies and Management K.G. Razumovsky (FCU) (Zemlyanoy Val, 73, Moscow, Russian Federation). E-mail: t.kalita@mgutm.ru

Leonid L. Brezhnev — Senior Engineer of the Aquaculture Faculty of Biotechnology and Fisheries. Moscow State University of Technologies and Management K.G. Razumovsky (FCU) (Zemlyanoy Val, 73, Moscow, Russian Federation). E-mail: brezhnev2011@list.ru