

Применение микроводорослей в технологии пищевых композиций функциональной направленности

DOI

Доктор технических наук, профессор **Л.В. Донченко** – Директор Научно-исследовательского института биотехнологии и сертификации продуктов питания Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина (ФГБОУ ВО «КубГАУ»), Научно-исследовательский институт биотехнологии и сертификации продуктов питания;

Кандидат технических наук, доцент **О.Е. Битютская** – заведующая кафедрой «Технологии продуктов питания» Керченского государственного морского технологического университета (ФГБОУ ВО «КГМТУ»);

Доктор технических наук, профессор **Н.В. Сокол** – заместитель заведующего кафедрой технологии хранения и переработки растениеводческой продукции Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (ФГБОУ ВО «КубГАУ»);

Кандидат биологических наук, доцент **Л.И. Булли** – доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Керченский государственный морской технологический университет (ФГБОУ ВО «КГМТУ»);

Л.М. Есина – Заведующая сектором технологии переработки водных биоресурсов отдела «Керченский» Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (АзНИИРХ)

Кандидат наук госуправления **Н.Ф. Мазалова** – доцент кафедры технологии продуктов питания;

О.В. Никитенко – заведующая учебной лабораторией – кафедра технологии продуктов питания – Керченский государственный морской технологический университет (ФГБОУ ВО «КГМТУ»)

THE USE OF MICROALGAE IN THE TECHNOLOGY OF FUNCTIONAL FOOD COMPOSITIONS

Doctor of Technical Sciences, Professor **L.V. Donchenko** – Director of the Research Institute of Biotechnology and Food Certification of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin” / (FSBEI HE Kuban SAU), Research Institute of Biotechnology and Food Certification; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **O.E. Bityutskaya** – Head of the Department of Food Technology of the Kerch State Marine Technological University (KSMTU); Doctor of Technical Sciences, Professor **N.V. Sokol** – Professor, Deputy Head of the Department “Technologies of storage and processing of crop products” Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin” (FSBEI HE Kuban SAU); Candidate of Biological Sciences, Associate Professor **L.I. Bulli** – Associate Professor of the Department of Food Technology, Kerch State Marine Technological University (KSMTU); **L.M. Esina** – Head of the Sector of Technology for Processing Aquatic Bioresources of the Kerch Department of the Azov-Black Sea Branch of the VNIRO Federal State Budgetary Educational Institution (AzNIIRH) Candidate of Sciences of Public Administration **N.F. Mazalova** – Associate Professor of the Department of “Food Technology” Kerch State Marine Technological University (KSMTU); **O.V. Nikitenko** – Head of the Educational Laboratory of the Department – Department of “Food Technology” Kerch State Marine Technological University (KSMTU)

Search of innovative approaches in development of health food products rich in essential food nutraceuticals is becoming increasingly important in the modern world. Microalgae as a source of biologically active compounds have shown a high potential to meet the needs of the population from a therapeutic, prophylactic and environmental point of view. The article analyzes the main nutraceuticals of microalgae (*Arthrospira platensis* (cyanobacterium), *Dunaliella salina*, *Diacronema lutheri*, *Tetraselmis viridis*), formulates food compositions of functional orientation with their use (food seasoning for minced fish and jelly concentrate), recommendations for use in health-improving diets were given

Ключевые слова:

микроводоросли, цианобактерии, аквакультура, нутрицевтики, функциональные пищевые ингредиенты

Keywords:

microalgae, cyanobacteria, aquaculture, nutraceutical, functional food ingredients

@ niibiotechn@mail.ru; olha989306@yandex.ru; sokol_n.v@mail.ru; L_bulli@mail.ru; esina_L_m@azniirkh.ru; mazalovanf@gmail.com; txm.kafedra@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

К 2050 г. количество производимого в настоящее время продовольствия для удовлетворения потребности ожидаемого населения в 9,8 млрд человек должно удвоиться [1]. В настоящее время примерно один миллиард человек потребляет недостаточно белка; кроме того, по прогнозам, традиционных источников белка будет недостаточно [2]. Белки животного происхождения по-

требляются в большем количестве, чем растительные, однако, учитывая обостряющиеся экологические и этические проблемы, апогей популярности вегетарианства и веганства, спрос на растительный белок в мире постоянно увеличивается. Тенденцию усиливает ссылка ЮНЕП (United Nations Environment Program) на зоонозное происхождение большинства эпидемий и пандемий. Согласно заявлению Исполни-

тельного директора ЮНЕП Ингер Андерсен: «... COVID-19 нанес серьезный ущерб здоровью человека, обществу и экономике во всех уголках мира. Это зоонозное заболевание, которое передается от животных к человеку. Оно может быть худшим, но оно не является первым. Мы уже знаем, что 60 процентов известных инфекционных заболеваний человека и 75 процентов новых инфекционных заболеваний имеют зоонозное происхождение» (Программа ООН по окружающей среде, июль 2020 г.). Микроводоросли, как источники белка и биологически активных соединений, продемонстрировали высокий потенциал для удовлетворения потребностей населения в устойчивом снабжении продовольствием; с экологической и лечебно-профилактической точки зрения обладают рядом преимуществ по сравнению с другим используемым сырьем. Следует отметить, что «микроводоросли» не являются

В современном мире все большую актуальность приобретает поиск инновационных подходов к разработке оздоровительных пищевых продуктов, богатых эссенциальными пищевыми нутриентами. Микроводоросли, как источник биологически активных соединений, продемонстрировали высокий потенциал для удовлетворения потребностей населения с лечебно-профилактической и с экологической точек зрения. В статье проведен анализ основных нутриентов микроводорослей (*Arthrospira platensis* (цианобактерия), *Dunaliella salina*, *Dicranema lutheri*, *Tetraselmis viridis*), предложены рецептуры пищевых композиций функциональной направленности с их применением (пищевая приправа для рыбных фаршей и концентрат киселя), даны рекомендации к употреблению в оздоровительных рационах питания.

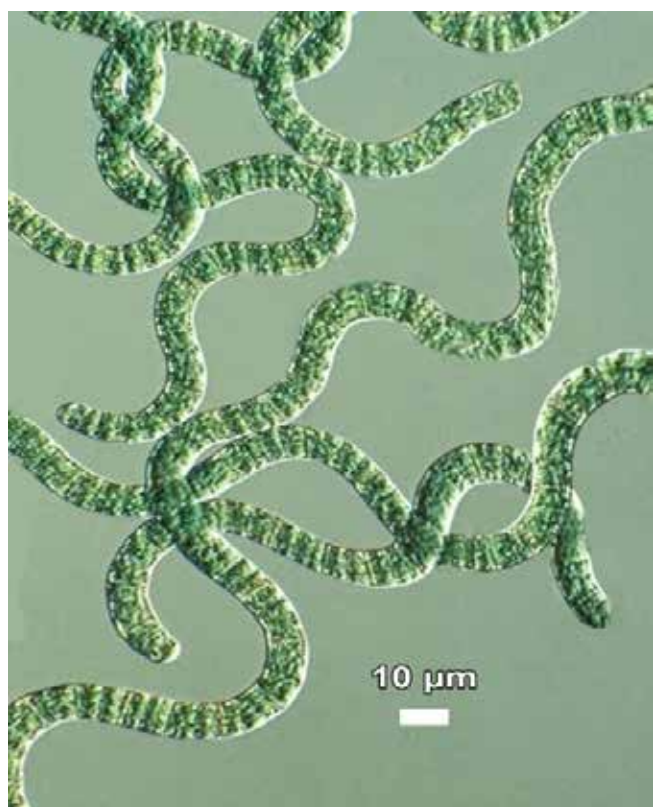


Рисунок 1. Цианобактерия *Arthrospira platensis* Gomont (1892) (сентябрь, 2022)

Figure 1. Cyanobacteria *Arthrospira platensis* Gomont (September, 2022)

ся таксономическим термином, это, скорее, понятие функционально-экологическое. В качестве последнего оно тождественно понятию «одноклеточные/монадные окислительные фототрофы» [1; 3]. Первыми окислительными фототрофами на Земле были сине-зеленые водоросли – цианобактерии, их относят к филу *Cyanobacteria*, домену (мегагруппе) *Eubacteria*. Все остальные микроводоросли (окислительные фототрофы) относятся к домену *Eucarya* (эукариот) [3; 4].

Ещё менее 70 лет назад микроводоросли в контексте оздоровительного питания упоминались редко. В отличие от макрофитов почти ни один вид из микроводорослей не может быть собран в естественных популяциях в достаточном количестве; требуются технологии культивирования и сбора урожая биомассы для дальнейшего промышленного использования. Единственными микроводорослями, для которых существуют исторические свидетельства до 1900 г. о приеме их человеком в качестве пищи, являются цианобактерии рр. *Nostoc* и *Arthrospira* (= *Spirulina*). Наиболее известной и широко используемой в пищевой и кормовой промышленности является цианобактерия *Arthrospira platensis* Gomont, 1892 (= *Spirulina platensis* (Gomont) Geitler, 1925) [4]. Спирулина отличается высокой продуктивностью и пищевой ценностью, характеризуется «...типично белковой направленностью биосинтеза, содержит до 75% белка, имеет большие размеры клеток (до 500 мкм)» [5], является объектом культивирования, причем, при выращивании за счет изменения состава питательной среды, корректируется химический состав микроводоросли. Согласно недавнему рыночному отчету, опубликованному Credence Research, ожидается, что к 2023 г. мировой рынок спирулины будет демонстрировать среднегодовой темп роста 10% в текущем периоде и к 2026 г. будет оцениваться почти в 2000 млн долл. США из-за таких факторов как более широкое применение спирулины в косметике или недавнее одобрение фикоцианина в качестве естественного синего красителя для пищевых продуктов [6]. В России сегодня потребителю предлагается широкий ассортимент спирулины и БАД на ее основе от разных производителей: БАД Спирулина Splatensis (Китай), БАД Спирулина ВЭЛ (Индия), Elite Spirulina (Монголия), Long life (Китай), Now Spirulina (США), Спирулина Алтэя, Altavita, ВЭЛ+селен (Россия) и др.; с повышенным содержанием микроэлементов выпускают таблетированную «Спирулину-Сочи НЦ-ВК» (ООО «Агро-Виктория», Россия), предлагают спирулину, законсервированную фруктозным сиропом «Спирулина Альга» и в виде экстракта с фруктозой «Рамикс» (НПО «Биосоль» МГУ, Россия) и другие.

Перспективными объектами культивирования являются и такие микроводоросли как *Chlorella vulgaris* Beijerinck, 1890, *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco, 1905, *Haematococcus pluvialis* Flotow, 1844, *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen) R. E. Norris, Hori & Chihara, 1980 (= *Platymonas viridis* Rouchijajnen, 1966), *Diacronema lutheri* (Droop) Bendif & Véron, 2011 (= *Pavlova lutheri* (Droop) J. C. Green, 1975, = *Monochrysis lutheri* Droop, 1953), *Isochrysis galbana* Parke, 1949. Указанные микроводоросли являются ценным источником разнообразных нутрицевтиков и имеют статус GRAS (Generally Recognized as Safe – FDA) [6], их применяют для профилактики и лечения широкого круга заболеваний; тем не менее, некоторые из этих свойств еще должны быть подтверждены серьезными клиническими испытаниями. Использование биомассы микроводорослей или ее производных метаболитов стало инновационным подходом к разработке оздоровительных пищевых продуктов.

Цель исследований – изучение пищевой ценности и разработка пищевых композиций функциональной направленности с применением микроводорослей (*Arthrospira platensis* (цианобактерия), *Dunaliella salina*, *Diacronema lutheri*, *Tetraselmis viridis*).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Культуры микроводорослей *D. salina*, *D. lutheri*, *T. viridis*, *A. platensis* были предоставлены ФИЦ ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН из собственной коллекции. Выращивание микроводорослей проводили в 2022 г. в лабораторных условиях ФГБОУ ВО «КГМТУ», обеспечивающих альгологическую чистоту культуры, в стеклянных баллонах (10-литровых) [7], колбах, полиэтиленовых одноразовых пакетах с постоянной аэрацией с помощью компрессоров. *Arthrospira platensis* выращивали в открытых стеклянных аквариумах (среда Zarrouk). Среда

готовили на фильтрованной и трижды термически пастеризованной, при 75-80°C, морской воде. Для приготовления питательной среды использовали химически чистые соли макро- и микроэлементов, согласно прописи [8]. Для наращивания инокулята применяли среду Гольдберга в модификации Кабановой, затем для интенсивного культивирования водорослей – более концентрированную среду Конвея с корректированием в процессе выращивания азота, фосфора и серы [8]. Культуру микроводоросли *D. salina* выращивали на модифицированной питательной среде, разработанной Shaish с соавторами [9]. Модификация заключалась в добавлении морской соли до концентрации в растворе 120 г/дм³. Изменение продукционных показателей биомассы водоросли, в зависимости от условий выращивания, изучали по динамике её абсолютных величин приростов.

При определении концентрации клеток микроводорослей использовали камеру Горяева и микроскопы Биолам ЛОМО, LCD Micro (объективы: x20, x40), фотосъемку проводили с помощью трихinelлоскопа с электронным выводом изображения «СТЕЙК V вар.3» (увеличение 10-200).

В условиях эксперимента, в период с мая по октябрь, в интенсивной культуре *A. platensis* плотность биомассы составляла 2,5 г/л (8,0% влаги). Концентрация *D. salina* в суспензии составляла 20-40 млн клеток в 1 мл (продуктивность культуры – 0,5-0,7 г а.с.в./л). При интенсивном режиме выращивания (с подачи CO₂) концентрация суспензии *D. lutheri* составляла 400-700 млн кл./мл (продуктивность – 0,5-1,0 г а.с.в./л). Продуктивность, выращенной нами культуры микроводоросли *T. viridis*, достигала 0,4-0,6 г а.с.в./л.

Исследования химического состава проводили с применением стандартных методов, принятых в комплексном химическом анализе: общее содержание азотистых веществ – по методу Кьельда-

Таблица 1. Микроводоросли и их биологически активные соединения /
Table 1. Microalgae and their biologically active compounds

Микроводоросли	Биологически активные соединения	Источник
<i>Arthrospira platensis</i> Gomont, 1892	Фикобилипротеины: фикоцианин, аллофикоцианин	[17, 18, 19]
	ПНЖК: γ-линоленовая, α-линоленовая, линолевая, стеарионовая, эйкозапентаеновая, докозагексаеновая и арахидоновая	[20, 21]
	Хлорофилл a, b	
	Витамины и каротиноиды: B1, B2, B3, B6, B9, B12, C, D и E, β-каротин, лютеин, астаксантин	[6, 22, 23]
<i>Dunaliella salina</i> (Dunal) Teodoresco, 1905	Сульфатированные полисахариды	[24]
	Витамины и каротиноиды: β-каротин, хлорофилл a и b, astaxanthin, зеаксантин, кантаксантин, фитон, фитофлюен, криптоксантин, витамины A, D, E, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₆ , B ₉ , C	[6, 20, 22, 25, 26]
	ПНЖК: α-линоленовая кислота, олеиновая кислота, эруковая кислота	[20, 22]
	Фитостеролы: брассикастерин, цитостерол, сигмастерол	[6, 27]
	Фенольные соединения: α- и β-ионона, неофитадиен, фитол	[28, 29]
<i>Diacronema lutheri</i> (Droop) Bendif & Véron, 2011	Минеральные вещества: селен, железо, магний	[30]
	Витамины и каротиноиды: витамин B ₂ , PP, β-каротин	[20, 21]
<i>Tetraselmis viridis</i> (Rouchijajnen) R. E. Norris, Hori & Chihara, 1980	ПНЖК: линолевая, α-линоленовая кислота, докозагексаеновая кислота, эйкозапентаеновая кислота, арахидоновая	
	Витамины и каротиноиды: витамин C, β-каротин	[31]
	Производные ароматических углеводов: фенолкарбоновые кислоты	[32]
	ПНЖК: линолевая кислота, эйкозапентаеновая кислота, γ- и α-линоленовая кислота, олеиновая кислота, арахидоновая кислота	[21]
	Органические кислоты	[33]
	Экзополисахариды	[31]

ля с применением автоазотоанализатора фирмы FOSS; минеральных веществ – гравиметрически, после сжигания при температуре 600-700°C, состав макро- и микроэлементов – методом капиллярного электрофореза; определение аминокислот – методом капиллярного электрофореза Капель 205M; жирнокислотный состав – методом газо-жидкостной хроматографии ГХ Кристалл 2000M. Оценку биологической ценности белков проводили по методу Н.Н. Mitchell & R.J. Block [10], в соответствии с которым рассчитывается показатель аминокислотного сгора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многочисленные биологически активные соединения микроводорослей, являющихся объектом исследования, по своему биохимическому составу и физиологической активности дополняют друг друга (табл. 1).

Сине-зеленая водоросль (цианобактерия) *Arthrospira platensis* Gomont, 1892 (сем. Microcoleaceae) является всемирным лидером среди растений по своему составу и свойствам (рис. 1,2). Известны способы получения обогащенной биомассы спирулины цинком, хромом, селеном [11-13], а также – способы выделения фикоцианина и фикобилипротеинов [14-16]. Фикоцианин, выделенный из цианобактерий, является водорастворимым, нетоксичным флуоресцентным белком с сильными антиоксидантными, противовоспалительными и противоопухолевыми свойствами. На основе фикоцианина разработан новый термостабильный препарат с антиоксидантными свойствами, благодаря наличию в его

составе антиоксидантного энзима супероксиддисмутазы (СОД) и фикоцианина белкового пигмента со способностью нейтрализовать негативное воздействие свободных радикалов. Важным является тот факт, что антиоксиданты, полученные из натуральных источников, являются более эффективными по сравнению с синтезированными химическим путем [15, 16].

Еще одной особенностью биохимического состава спирулины является значительное содержание сульфатированных полисахаридов, отличающихся высокой биологической активностью: они оказывают угнетающее действие на РНК- и ДНК-содержащие вирусы, обладают селективным ингибирующим действием на вирус иммунодефицита человека, противомикробной, антикоагулянтной, осморегулирующей активностью. Сульфатированные полисахариды, наряду с гликопротеидами, являются основой противоопухолевых препаратов, получаемых из водорослей [24; 31].

Сушеная спирулина (рис. 2) используется в качестве улучшителей свойств теста, продлевает сроки хранения, а также повышает качество готовых хлебобулочных изделий, их биологическую ценность [34; 35], в пивоварении спирулина применяется как препарат для интенсификации брожения [36], в молочной промышленности с участием спирулины получают безалкогольный лечебно-профилактический напиток, показанный при гастроэнтерологических заболеваниях и расширяющий ассортимент лечебных напитков на основе молочной сыворотки (в данном случае спирулина используется в виде наполнителя) [37].

В отличие от *A. platensis*, произрастающей в пресной и солоноватоводной среде, следующие три вида являются представителями морской биоты.

Dunaliella salina (Dunal) Teodoresco, 1905 – галофильная микроводоросль (класс Chlorophyceae) (рис. 3), способная синтезировать целый ряд соединений (табл. 1), среди которых особый интерес вызывает группа каротиноидов, обладающих антиоксидантной активностью; высокая концентрация β -каротина (до 60-70% общего содержания) обуславливает оранжево-красный оттенок одноклеточной водоросли и защищает от интенсивного света [30]. Благодаря богатому составу каротиноидов, *D. salina* используется в качестве биологически активной добавки как общеукрепляющее и профилактическое средство [38]. К особенностям строения микроводоросли и, как следствие, легкой перевариваемости, следует отнести отсутствие клеточной стенки, в этом случае от осмотического давления клетки, произрастающую в условиях повышенной



Рисунок 2. Измельченная сине-зеленая водоросль *A. platensis* Gomont (1892)

Figure 2. Crushed blue green *Alga A. platensis* Gomont (1892)

Таблица 2. Содержание макронутриентов микроводорослей /

Table 2. Macronutrient content of microalgae

Объект исследований	Массовая доля, %, среднее \pm SD; n = 3		
	белка	липидов	углеводов
<i>Arthrospira platensis</i>	58,2 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	24,2 \pm 0,4
<i>Dicranema lutheri</i>	30,2 \pm 0,4	33,2 \pm 0,1	16,7 \pm 0,4
<i>Tetraselmis viridis</i>	19,2 \pm 0,3	38,0 \pm 0,1	10,0 \pm 0,1
<i>Dunaliella salina</i>	34,0 \pm 0,2	22,8 \pm 0,1	18,2 \pm 0,2

Таблица 3. Аминокислотный состав белка *A. platensis* /
Table 3. Amino acid composition of the protein *A. platensis*

Название аминокислоты	Содержание, г/100 г белка	Содержание в идеальном белке, г/100 г (ФАО/ВОЗ, 2013)	Аминокислотный скор, %
Валин	5,6	4,0	140
Изолейцин	3,8	3,0	127
Лейцин	8,4	6,1	138
Лизин	5,4	4,8	113
Метионин + Цистин	2,3 + 0,4	2,3	117
Треонин	5,7	2,5	228
Триптофан	1,0	0,66	152
Фенилаланин + Тирозин	4,5 + 3,9	4,1	205
Гистидин	3,5	1,6	219
Аланин	5,2	-	-
Аргинин	5,6	-	-
Аспарагиновая кислота	9,1	-	-
Глицин	5,6	-	-
Глутамин	12,7	-	-
Серин	4,6	-	-
Таурин	2,6	-	-
Биологическая ценность, %	53,0		
Коэффициент утилитарности аминокислотного состава, $U, U \rightarrow 1$		0,7	
Показатель сопоставимой избыточности, σ_c		10,2	

солености (до 10%), защищает высокое содержание глицерина [39].

Фитостеролы микроводорослей и *D. salina*, в частности, известны благодаря их способности снижать уровень холестерина ЛПНП (более чем на 15%) и способствовать здоровью сердечно-сосудистой системы [40]. Кроме того, сообщалось, что фитостеролы участвуют в противовоспалительной и антиатерогенной, противораковой и антиоксидантной активности [41] и могут обеспечивать защиту от расстройств нервной системы, таких как аутоиммунный энцефаломиелит, боковой амиотрофический склероз или болезнь Альцгеймера [27].

Биологические функции фенольных соединений, также присутствующих в микроводорослях, очень разнообразны, обладают антиоксидантной, противовоспалительной, антимикробной активностью, замедляют прогрессирование некоторых видов рака и снижают риск сердечно-сосудистых заболеваний, нейродегенеративных заболеваний и диабета [6; 28; 42].

D. salina нашла применение в пищевой промышленности, например, при разработке рецептур желе-мармелада. Внесение спиртового экстракта микроводоросли не только повышает антиоксидантную активность мармелада, но и придает ему изумрудно-зеленую окраску и позволяет исключить применение искусственных красителей [30].

Diacronema lutheri (Droop) Bendif & Véron, 2011 – жгутиковая подвижная микроводоросль (класс Pavlovophyceae), отличается липидной направленностью биосинтеза, особенно способностью к образованию ПНЖК (табл. 1) [43]. Следует отметить,

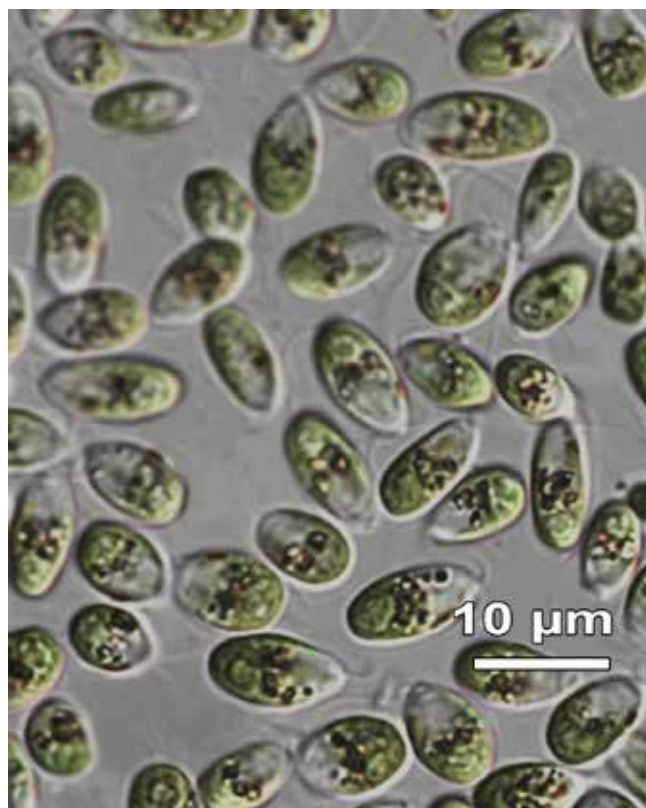


Рисунок 3. *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco (1905) (сентябрь, 2022)

Figure 3. Green microalgae *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco (1905) (September, 2022)

Таблица 4. Жирнокислотный состав липидов микроводорослей /
Table 4. Fatty acid composition of microalgae lipids

Жирные кислоты	Наименование микроводорослей		
	<i>Diacronema lutheri</i> [53]	<i>Tetraselmis sp.</i> [21]	<i>Dunaliella salina</i> [55]
12:0	-	0,01± 0,01	0,37±0,05
14:0	0,3±0,1	0,17 ± 0,05	1,60±0,10
14:1 ω5	0,1±0,1	1,01 ±0,16	0,07±0,01
15:0	0,4±0,1	-	0,09±0,01
15:1 ω5	0,1±0,1	-	0,29±0,01
16:0	28,1 ±3,4	23,29 ±1,0	45,41±0,35
16:1 ω7	4,0±0,6	1,96±0,32	0,25±0,06
16:1 ω 9	17,0±2,3	-	-
16:2 ω 6	0,1±0,1	-	-
16:3	0,2±0,1	3,44±0,18	-
16:4	0,1±0,1	17,16±1,57	-
17:0	0,2±0,1	-	0,19±0,02
17:1 ω7	-	-	-
17:1 ω9	1,8±0,2	-	0,49±0,06
18:0	2,1±1,0	-	1,65±0,43
18:1 ω 7	3,1±0,3	-	-
18:1 ω 9	5,6±1,0	12,11±0,32	11,69±0,06
18:1 ω11	-	-	6,78±0,03
18:2 ω 6	10,6±1,8	12,81±0,57	9,87±0,01
18:3 ω 6 (GLA)	-	0,74±0,06	-
18:3 ω 3(ALA)	10,2 ±3,6	13,99±0,4	21,19±0,10
18:4 ω 3	0,2±0,1	3,62±0,05	-
20:0	0,1±0,1	-	0,11±0,01
20:1 ω 9	-	1,50±0,05	-
20:1 ω 7	0,1±0,1	-	-
20:2 ω 6	0,2±0,1	0,21 ± 0,18	-
20:3 ω 6	0,2±0,1	-	-
20:4 ω 6	следы	-	-
20:4 ω 3	-	1,65±0,12	-
20:5 ω 3	10,1±2,1	6,10±0,49	-
22:4 ω 6	-	-	-
22:0	0,3±0,1	-	-
22:6 ω 3	1,4±0,3	-	-
ΣНЖК	31,5±4,9	23,47±1,01	49,42±0,09
ΣМНЖК	31,8±4,7	16,57±0,71	19,55±0,08
ΣПНЖК	33,3±8,0	59,72±1,53	31,06±0,12
Σ ω3 ЖК	21,9±2,7	25,36±0,73	21,19±0,1
Σ ω6 ЖК	10,9±2,61	13,76±3,95	9,87±0,01
ω6/ω3	0,49	0,54	0,47

что интерес к микроводорослям, как альтернативному источнику ПНЖК, растет, вероятно, из-за отсутствия специфического запаха, неприятного вкуса, токсических соединений, присущих порой традиционному источнику ПНЖК – рыбьему жиру. В сухом веществе клеток *D. lutheri*, в зависимости от условий выращивания, может содержаться от 22 до 40% липидов.

Tetraselmis viridis (Rouchijajnen) R. E. Norris, Hori & Chihara, 1980 – морская зеленая жгутиковая микро-

водоросль (класс Chlorodendrophyceae), богатая белком и высокомолекулярными жирными кислотами (рис. 4). Почти все культивируемые морские виды водорослей содержат в своем составе докозагексаеновую и эйкозапентаеновую жирные кислоты, за исключением *Dunaliella*, у *Tetraselmis* присутствует только эйкозапентаеновая кислота (табл. 1). На основе биомассы *T. viridis* разработана БАД, «...выявлена антиоксидантная активность, обусловленная наличием β-каротина, витамина С, хлорофилла и

органических кислот» [31]. Положительной особенностью строения является отсутствие у ее клеток плотной оболочки [6; 22], благодаря чему культуры *T. chui*, *T. suecica* и *T. tetrahele* широко используются в качестве корма в аквакультуре [44].

Культивирование микроводорослей в основном осуществляется в автотрофном режиме с использованием, в качестве источника, энергии света, однако водоросли могут культивироваться и в гетеротрофных условиях, проявляя при этом антибактериальную активность и пробиотические свойства, которые могут усиливаться при изменении трофических условий. Так, гетеротрофная культура *T. suecica* имеет следующие преимущества перед автотрофной: увеличение выхода экзополисахаридов (ЭПС) (в 4 раза), более высокая антиоксидантная способность ЭПС, в то же время «...концентрация каротиноидов и хлорофиллов а и в значительно снижается (до 12 и 1%, соответственно; $p < 0,05$), что объясняется отсутствием света в гетеротрофных культурах» [45]. Антиоксидантная активность может быть связана с процентным содержанием галактурановой и глюкуроновой кислот, присутствующих в составе ЭПС микроводорослей. Гетеротрофные ЭПС имели в своем составе сульфат, содержание сульфатов и уроновых кислот связывают, согласно Mendiola et al. [46] и Sun et al. [47], с увеличением восстанавливающей способности свободных радикалов [48].

Морские микроводоросли, богатые фитосоединениями, такими как фитостеролы, ПНЖК, каротиноиды, полисахариды, витамины и другими, проявляют выраженные антиоксидантные и антиканцерогенные свойства, что позволяет предложить больше преимуществ при их использовании в качестве возможных натуральных нутрицевтиков для фармацевтической промышленности и функциональных пищевых ингредиентов [45].

Химический состав биомассы микроводорослей представлен в таблице 2. *A. platensis*, выращенная в лабораторных условиях, характеризуется высоким содержанием белка (до 60%), аминокислотный состав включает все незаменимые аминокислоты (табл. 3); наряду с другими аминокислотами в белках спирулины содержится довольно много таурина, эта непротеиногенная серосодержащая аминокислота считается условно необходимой и выполняет разнообразные физиологические функции: участвует в осморегуляции, стабилизации клеточ-



Рисунок 4. Зеленая водоросль *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen) R. E. Norris, Hori & Chihara (1980) (октябрь, 2022)

Figure 4. Green microalgae *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen) R. E. Norris, Hori & Chihara (1980) (October, 2022)

ных мембран, гомеостазе кальция, нейромодуляции, энергетическом метаболизме и др. [49-52].

Результаты анализа жирнокислотного состава свидетельствуют о его значительном различии для культивируемых микроводорослей (табл. 4). С изменением условий среды при культивировании, прежде всего температуры, доля эссенциальных жирных кислот может существенно меняться, и это отражается на их биологической ценности [53; 54].

«...По данным ООН, каждый человек на планете потребляет в среднем 16 кг рыбы и морепродуктов в год, включая аквакультуру. Среднее содержание ЭПК+ДГК в биомассе рыб и беспозвоночных составляет 2 мг на 1 г (Gladyshev et al., 2009). Отсюда

Таблица 5. Рецепт растительной функциональной пищевой композиции (ФПК) /

Table 5. Recipe of a vegetable functional food composition

Соотношение ингредиентов ФПК, %					
<i>Diacronema luther</i>	<i>Tetraselmis viridis</i>	<i>Dunaliella salina</i>	Кориандр	Мускатный орех	Укроп сушеный
22,5	21,9	14,9	10,5	6,8	23,3

Таблица 6. Пищевая ценность функциональной пищевой композиции /

Table 6. Chemical composition of the functional food composition

Наименование продукта	Массовая доля, %		
	белок	углеводы, вкл. клетчатку	жир
ФПК с микроводорослями	18,4 ± 0,5	19,3 ± 0,2	23,6 ± 0,1

Таблица 7. Рецептуры концентратов киселя, обогащенного спирулиной /
Table 7. Kissel concentrate recipes enriched with spirulina

Наименование компонента	Масса компонента, кг на 100 кг смеси для концентрата киселя со спирулиной					
	яблоком и имбирем	абрикосом	виноградом и яблоком	киви и бананом	топинамбуром	морковью
Концентрат сушеный яблока	8,80	-	3,25	-	5,50	-
Концентрат сушеный абрикоса	-	7,00	-	-	-	-
Концентрат сушеный винограда	-	-	6,05	-	-	-
Концентрат сушеный киви	-	-	-	3,25	-	-
Концентрат сушеный банана	-	-	-	6,05	-	-
Спирулина измельченная	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	35,00
Абрикосы сушеные кусочками	-	5,00	-	-	-	-
Сушеный измельченный имбирь	0,50	-	-	-	0,50	-
Сушеный измельченный топинамбур	-	-	-	-	12,00	-
Сушеная измельченная столовая морковь	-	-	-	-	-	12,00
Сушеная измельченная зелень укропа*	-	-	-	-	0,50	0,30
Сахар белый кристаллический	50,20	47,50	50,20	50,20	-	0,20
Соль пищевая	-	-	-	-	0,30	0,30
Пектин	10,00	10,00	10,00	10,00	15,00	10,00
Овсяное толокно	-	-	-	-	30,70	31,20
Мука льняная	-	-	-	-	5,00	10,50
Лимонная кислота	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

легко подсчитать, что ежесуточное среднее потребление ЭПК+ДПК человеком составляет около 0,1 г» [56]. Рекомендуемое ежесуточное потребление ω -3 для взрослых составляет около 1000 мг, минимальное – 250 мг, для детей с 14 лет значения РСП выше – 1200-1600 мг. Дефицит физиологически важных ПНЖК в питании человечества очевиден.

Нами предложено введение трех микроводорослей в рецептуру растительной функционально-пищевой композиции (ФПК) (табл. 5), сочетание ингредиентов получено с помощью математического моделирования, уточнения, с целью получения приемлемых органолептических характеристик продукта, внесены в результате эксперимента; при разработке модели учитывались значения основных нутриентов и жирно-кислотный состав липидов (соотношение НЖК:МНЖК:ПНЖК и ω 6: ω 3), позволяющее максимально сбалансировать питательность композиции. Выбор таких ингредиентов как зелень сушеного укропа, мускатный орех и кориандр позволили придать ФПК насыщенный аромат и вкус, в то же время их концентрация не придавала резкого избыточного привкуса и запаха готовой продукции.

Для подготовки микроводорослей к введению их в ФПК, полученную биомассу промывали дистиллированной водой, центрифугировали при 5000 об/мин в течение 10-15 мин, отделяли супернатант, осадок (водорослевую массу) высушивали (вакуумная сушка) и измельчали. Содержание морской соли, в сушеных водорослях, не должно превышать 8%.

ФПК предназначена для введения, в количестве 15%, в фаршевые формованные изделия, например, в рыбные хлебцы из хека, минтая, бычка. ФПК

позволит обогатить рыбный фарш легкоусвояемым белком, липидами (ПНЖК 9% общего содержания в липидах), витаминами и углеводами, заменить поваренную соль морской, снизив содержание хлористого натрия – 77,5-97,7% против 99,5-99,7% в поваренной соли. ФПК придает необычный внешний вид готовому кулинарному изделию, окрашивая его в зеленоватый цвет. Энергетическая ценность ФПК составляет 364 кКал/100 г (табл. 6).

Разработан также ассортиментный ряд сухого напитка киселя, обогащенного спирулиной (табл. 7). Употребление 250 мл напитка позволяет восполнить рацион белком (6,0% РСП), железом (12-15% РСП), медью (45% РСП), селеном (1% РСП), витамином В₁ (12% РСП) и В₂. (15% РСП), при СД II рекомендуется напиток со спирулиной и топинамбуром (без сахара). В качестве рекомендации, для улучшения вкуса предлагается введение сухого вина (11 об.%) из расчета 125 мл на 1,0 л напитка.

Введение пектина позволяет придать напитку детоксицирующие свойства и снизить калорийность продукта, по сравнению с традиционным введением крахмала, в 5,7-5,8 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование микроводорослей, в качестве источника ценных биологически активных соединений, в пищевой промышленности сопряжено с некоторыми трудностями, главным образом из-за недостаточно развитых технологий и процессов, связанных с выращиванием и переработкой микроводорослей, что требует, в свою очередь, увеличения инвестирования в исследования и организацию

производства по культивированию и переработке микроводорослей. В последние годы большой интерес вызвала возможность использования микроводорослей и их метаболитов для инновационных нутрицевтиков, функциональных пищевых ингредиентов и обогащающих пищевых композиций.

В работе исследована пищевая ценность водорослей *Dunaliella salina*, *Dicronema lutheri*, *Tetraselmis viridis*, *Arthrospira platensis*, разработаны варианты использования микроводорослей в качестве ингредиентов в пищевых композициях с потенциальной пользой для здоровья. Антиоксидантная, гипотензивная, иммуномодулирующая, противораковая и гепатопротекторная активность некоторых соединений, полученных из микроводорослей, их высокая усвояемость, а также возможность искусственного массового выращивания определяют дальнейший интерес к выбранным объектам исследований.

Работа выполнена в рамках научного проекта «Разработка технологии функциональных пищевых композиций из микро- и макрофитов» (рег. Номер 122082200077-5).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад в работу авторов: **Л.В. Донченко** – идея работы, подготовка заключения, окончательная проверка статьи; **О.Е. Битютская** – подготовка введения, анализ данных, технологическая часть, подготовка статьи; **Н.В. Сокол** – сбор и анализ литературных данных, вопросы апробации, подготовка статьи; **Л.И. Булли** – культивирование микроводорослей, сбор и анализ данных, подготовка статьи; **Л.М. Есина** – вопросы соответствия требованиям безопасности и качества, подготовка статьи; **Н.Ф. Мазалова** – подготовка и анализ базы данных, технологическая часть, подготовка статьи; **О.В. Никитенко** – сбор и анализ данных, подготовка статьи.

The work was carried out within the framework of the scientific project "Development of technology of functional food compositions from micro- and macrophytes" (reg. Number 122082200077-5).

The authors declare that there is no conflict of interest.

Contribution to the work of the authors: **L.V. Donchenko** – the idea of the work, preparation of the conclusion, final verification of the article; **O.E. Bityutskaya** – preparation of the introduction, data analysis, technological part, preparation of the article; **N.V. Sokol** – collection and analysis of literary data, issues of approbation, preparation of the article; **L.I. Bulli** – cultivation of microalgae, data collection and analysis, article preparation; **L.M. Esina** – issues of compliance with safety and quality requirements, article preparation; **N.F. Mazalova** – database preparation and analysis, technological part, article preparation; **O.V. Nikitenko** – data collection and analysis, article preparation.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ / REFERENCES AND SOURCES

1. Caporgno M.P. Trends in Microalgae Incorporation into Innovative Food Products with Potential Health Benefits / Martin P. Caporgno, Alexander Mathys // *Frontiers in Nutrition*. – 2018. – Vol. 5. – Pp. 2-10. DOI: 10.3389/fnut.2018.00058.
2. Production and supply of high-quality food protein for human consumption: sustainability, challenges, and innovations / G. Wu, J. Fanzo, D.D. Miller, P. Pingali, M. Post, J. L. Steiner, A.E. Thalacker-Mercer // *Ann N Y Acad. Sci.* – 2014. – 1321 – Pp.1-19. DOI: 10.1111/nyas.12500.
3. Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования / Под ред. Ю. Н. Токарева, З. З. Финенко, Н. В. Шадрина; НАН Украины, Институт биологии южных морей. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – 454 с.
3. *Microalgae of the Black Sea: problems of biodiversity conservation and biotechnological use* / Edited by Yu. N. Tokarev, Z. Z. Finenko, N. V. Shadrin; NAS of Ukraine, Institute of Biology of the South Seas. – Sevastopol: EKOSI-Hydrophysics, 2008. – 454 p.
4. Guiry M. D. *Algae Base*. Всемирная Электронная публикация / Guiry M. D. & Guiry GM. – Национальный университет Ирландии, Голуэй. – 2020. – URL: <https://www.algaebase.org>.
5. Гнатченко Л. Г. Опыт интенсивного выращивания микроводоросли спирулины (*Spirulina platensis*) / Л. Г. Гнатченко, И. И. Писаревская, А. П. Иванюта // *Труды ЮгНИРО*. – 1994. – Т. 40. – С. 106-110.
5. *Gnatchenko L. G. Experience of intensive cultivation of microalgae spirulina (Spirulina)* / L. G. Gnatchenko, I. I. Pisarevskaya, A. P. Ivanyuta // *Proceedings of YugNIRO*. – 1994. – Vol. 40. – Pp. 106-110.
6. Garcia J.L. Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals / Jose L. Garcia, Marta de Vicente, Beatriz Galan // *Microbial Biotechnology*. – 2017. – Vol. 10. – pp. 1017-1024. URL: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12800>.
7. Sorgebous L.P. Manual of the production and use of live food for aquaculture / L. P. Sorgebous. – Rome : FAO, 1996. – 295 p. (FAO Fisheries Technical Paper; no. 361).
8. Инструкция по массовому разведению морских одноклеточных водорослей и коловраток / Л. В. Спекторова, С. Л. Паньков, Е. С. Проскурина, С. В. Шершов, [и др.]. – М.: ВНИРО, 1986. – 63 с.
8. *Instructions for mass breeding of marine unicellular algae and rotifers* / L. V. Spectorova, S. L. Pankov, E. S. Proskurina, S. V. Shershov, [et al.]. – M.: VNIRO, 1986. – 63 p.
9. Shaish A. Effect of inhibitors on the formation of stereoisomers in the biosynthesis of β -carotene in *Dunaliella bardawil* / A. Shaish, M. Avron & A. Ben-Amotz // *Plant and cell physiology*, 1990. – 31(5). – pp. 689–696. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a077964.
10. Mitchell H.H. Some relationships between the amino acid contents of proteins and their nutritive values for the rat / H. H. Mitchell, R. J. Block // *J. biol. Chem.* – 1946. – 69(4). – pp. 387–91. DOI:10.1093/jn/69.4.387.
11. Пат. 2320195 Российская Федерация, МПК A23J3/20, A23J3/32, C12N1/12, C09B061/00. Способ получения белкового препарата из цианобактерий / Мазо В. К., Гмошинский И. В.; заявитель и патентообладатель: В. К. Мазо. – № 2006118740/13; заявл. 31.05.2006; опубл. 27.03.2008. – Бюл. № 9.
11. Pat. 2320195 Russian Federation, IPC A23J3/20, A23J3/32, C12N1/12, C09B061/00. A method for obtaining a protein preparation from cyanobacteria / Maso V. K., Gmoshinsky I. V.; applicant and patent holder: V. K. Maso. – No. 2006118740/13; application No. 31.05.2006; publ. 27.03.2008. – Byul. No. 9.
12. Пат. 2277124 Российская Федерация, МПК C12N1/12, C12R1/89. Способ получения обогащенной цинком биомассы спирулины (*Spirulina platensis*) [Текст] / Попова Виктория Викторовна (RU), Пронина Наталья Александровна (RU), Налимова Анна Александровна (RU), и [др.]; патентообладатель: Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской Академии Наук (RU). – № 2004136239/13; заявл. 10.12.2004; опубл. 27.05.2006. – Бюл. № 22.
12. Pat. 2277124 Russian Federation, IPC C12N1/12, C12R1/89. A method for obtaining zinc-enriched biomass of spirulina (*Spirulina*) [Text] / Victoria Viktorovna Popova (RU), Natalia Alexandrovna Pronina (RU), Anna Alexandrovna Nalimova (RU) and [others.]; patent holder: K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences (RU). – No. 2004136239/13; application No. 10.12.2004; publ. 27.05.2006. – Byul. No. 22.
13. Пат. 2199582 Российская Федерация, C12N1/12, A61K33/04, A23L1/337, C12N1/12, C12R1/89. Способ получения обогащенной селеном биомассы спирулины (*Spirulina platensis*) / Пронина Н. А., Ковшова Ю. И., Попова В. В., и [др.]; патентообладатель: Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева Российской Ака-

- демии Наук (RU). – № 2000126580/13; заявл. 24.10.2000; опубл. 27.02.2003. – Бюл. № 6.
13. Pat. Russian Federation 2199582, C12N1/12, A61K33/04, A23L1/337, C12N1/12, C12R1:89. Method for obtaining selenium-enriched biomass of spirulina (Spirulina) / Pronina N. A., Kovshova Yu. I., V. Popova. V., and [others.]; patent holder: K. A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences (RU). – No. 2000126580/13; application No. 24.10.2000; publ. 27.02.2003. – Byul. No. 6.
14. Береговая Н.М. Способы получения и использования С-фикоцианина (обзор) / Н.М. Береговая // Экология моря. – 2010. – Спец. вып. 80. – С. 12-16.
14. Beregovaya N.M. Methods of obtaining and using C-phycocyanin (review) / N.M. Beregovaya // Ecology of the sea. – 2010. – Spec. issue 80. – Pp. 12-16.
15. Рудик В. Способ получения фикоцианина из *Spirulina platensis* (Nordst.). Geitl. / В. Рудик, В. Бульмага // Альгология. – 2000. – 10, № 2. – С. 350-354.
15. Rudik V. Method of obtaining phycocyanin from *Spirulina platensis* (North America) Geitl. / V. Rudik, V. Bulmaga // Algologiya. – 2000. – 10, № 2. – Pp. 350-354.
16. Пат. 3781 MD, C12N1/12. Способ получения антиоксидантного термостабильного препарата из биомассы цианобактерии *Spirulina platensis* / Рудик В., Бульмага В., Ефремова Н. (MD). – Заявлено 18.03.2008, BOPI nr. 12/2008. Дата выдачи патента 2009.08.31. URL: http://aitt.asm.md/files/tmp/366.384.40_Procedeu_nou_de_obăinere_a_preparatului_antioxidant_rus [1].
16. Pat. 3781 MD, C12N1/12. A method for obtaining an antioxidant thermostable drug from the biomass of cyanobacterium *Spirulina platensis* / Rudik V., Bulmaga V., Efremova N. (MD). - Announced 18.03.2008, BOPI No. 12/2008. The date of issue of the patent is 2009.08.31. URL: http://aitt.asm.md/files/tmp/366.384.40_Procedeu_nou_de_obăinere_a_preparatului_antioxidant_rus [1].
17. Antioxidant and anti-inflammatory properties of C-phycocyanin from blue-green algae C. Romy, J. Armesto, D. Ramirez, R. González, N. Ledon, I. García // Inflamm Res. – 1998. – 47(1). – Pp. 36-41. DOI: 10.1007/s000110050256.
18. Hirata, T. Antioxidant activities of phycocyanobilin prepared from *Spirulina platensis* / T. Hirata, M. Tanaki, M. Ooi, T. Tsunomura, M. Sagakuchi // J. Appl. Phycol. – 2000. – Vol. 3. – Pp. 435-439.
19. Sonani R.R. Recent advances in production, purification and applications of phycobiliproteins / R.R. Sonani, R.P. Rastogi, R. Patel & D. Madamwar // World Journal of Biological Chemistry. – 2016. – 7(1). – Pp. 100-109. – URL: <http://dx.doi.org/10.4331/wjbc.v7.i1.100>. PMID:26981199.
20. Pereira C.S. Phosphoenolpyruvate phosphotransferase system regulates detection and processing of the quorum sensing signal autoinducer-2 / C. S. Pereira, A. J. Santos, M. Bejerano-Sagie, P.B. Correia, J.C. Marques and K. B. Xavier // Mol. Microbiol. – 2012. – 84. – Pp. 93-104. DOI: 10.1111/j.1365-2958.2012.08010.x.
21. Effects of long chain fatty acid synthesis and associated gene expression in microalga *Tetraselmis* sp. / T. C. Adarme-Vega, S. R. Thomas-Hall, D. K. Lim and P. M. Schenk // Mar. Drugs. – 2014. – 12. – Pp. 3381-3398. DOI: 10.3390/md12063381.
22. Bishop W.M. Evaluation of microalgae for use as nutraceuticals and nutritional supplements / W.M. Bishop and H.M. Zubeck // J. Nutr. Food Sci. – 2012. – 2. – Pp. 147. DOI: 10.4172/2155-9600.1000147.
23. Sun M. Phylogeny of the Rosidae: A dense taxon sampling analysis / M. Sun, R. Naeem, J. X. Su, Z. Y. Cao, J. G. Burleigh, P. S. Soltis, D. E. Soltis & Z.D. Chen // Journal of Systematics and Evolution. – 2016. – 54(4). – Pp. 363-391.
24. Разработка методов выделения из гидробионтов БАВ радиозащитного и инсулиноподобного действия: отчет о НИР / ЮгНИРО; рук-ль темы № 12: А.Г. Губанова; исполн.: Г.С. Христоферзен, Л.Я. Полищук, Л.П. Борисова, О.Е. Битютская, и [др.]. – Керчь: Изд-во ЮгНИРО, 1994. – 71 с. – Библиогр.: с. 66-71. – № ГР 78020859. – Инв. Б-814808.
24. Development of methods for isolating radioprotective and insulin-like BAS from hydrobionts: research report / YugNIRO; hand of topic No. 12: A.G. Gubanova; executor: G.S. Khristoferzen, L.Ya. Polishchuk, L.P. Borisova, O.E. Bityutskaya, and [others.]. – Kerch: YugNIRO Publishing House, 1994. – 71 p. – Bibliogr.: pp. 66-71. – No. GR 78020859. – Inv. B-814808.
25. Вержушкина О.А. Аральский штамм микроводоросли *Dunaliella salina* AR-1 как источник биологически активных веществ / О.А. Вержушкина, Е.Н. Баймурзаев, А.К. Тонких // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. – 2022. – 5(95). – URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/1358>.
25. Verushkina O.A. Aral strain of microalgae *Dunaliella Salina* AR-1 as a source of biologically active substances / O.A. Verushkina, E.N. Baymurzaev, A.K. Tonkikh // Universe: chemistry and biology: electron. scientific. journal. – 2022. – 5(95). – URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/1358>
26. Henríquez, V. Carotenoids in microalgae / V. Henríquez, C. Escobar, J. Galarza and J. Gimpel // Subcell Biochem. – 2016. – 79. – Pp. 219-237.
27. Luo X. Advances in microalgae-derived phytosterols for functional food and pharmaceutical applications / X. Luo, P. Su, W. Zhang // Mar Drugs. – 2015. – Vol. 13. – Pp. 4231-4254.
28. Plaza M. Screening for bioactive compounds from algae / M. Plaza, S. Santoyo, L. Jaime, G.-B. Reina, G., M. Herrero, F. J. Señorán, E. Ibáñez // J. Pharm. Biomed. Anal. – 2010. – 51 (2). –Pp. 450-455. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2009.03.016>.
29. Biologically Active Metabolites Synthesized by Microalgae / Michele Greque de Moraes, Bruna da Silva Vaz, Etiele Greque de Moraes, and Jorge Alberto Vieira Costa // BioMed Research Internationa. – 2015. – Article ID 835761. – URL : <https://doi.org/10.1155/2015/835761>.
30. Использование экстракта микроводоросли *Dunaliella salina* в технологии желеино-фруктового мармелада / Е.А. Кузнецова, Я. Бриндза, Е.В. Климова, А.Б. Боровков и другие // Индустрия питания. – 2019. – Т. 4 – №2. – С. 14-17.
30. The use of *Dunaliella Salina* microalgae extract in the technology of jelly-fruit marmalade / E.A. Kuznetsova, Ya. Brindza, E.V. Klimova, A.B. Borovkov and others // Food industry. – 2019. – Vol. 4 – No. 2. – Pp. 14-17.
31. Разработка препарата биологически активной добавки на основе биомассы водоросли *Tetraselmis viridis* / Е.А. Кузнецова, В.А. Гаврилина, Е.В. Климова., Я. Бриндза и другие // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2021. – № 3. – С. 46-50.
31. Development of a preparation of a biologically active additive based on the biomass of *Tetraselmis viridis* algae / E.A. Kuznetsova, V.A. Gavrilina, E.V. Klimova, Ya. Brindza and others // Technology and commodity science of innovative food products. – 2021. – No. 3. – Pp. 46-50.
32. Шальго Н. Медицинские аспекты альгологии / Николай Шальго // Наука и инновации. – 2018. – № 2(180). – С. 20-23. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/meditsinskie-aspekty-algologii/viewer>.
32. Shalygo N. Medical aspects of algology / Nikolay Shalygo // Science and Innovation. – 2018. – № 2(180). – Pp. 20-23. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/meditsinskie-aspekty-algologii/viewer>.
33. Comparative effects of biomass pre-treatments for direct and indirect transesterification to enhance microalgal lipid recovery / Naghdi, F. G., Thomas-Hall S. R., Durairatnam R., Pratt S., Schenk P. M. // ORIGINAL RESEARCH article Front. Energy Res., 04 December 2014. Sec. Bioenergy and Biofuels. – URL: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2014.00057>.
34. Пат. 2450522 Российская Федерация, МПК A21D2/36, A21D8/02. Способ производства хлебобулочных изделий для профилактического питания / Белявская Ирина Георгиевна (RU), Лямин Михаил Яковлевич (RU), Черных Валерий Яковлевич (RU), Гришина Лариса Николаевна (RU); патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государствен-

- ный университет пищевых производств» (RU). – № 2010148012/13; заявл. 25.11.2010; опубл. 20.05.2012. – URL: <http://ru-patent.info/24/50/2450522.html>.
34. Pat. 2450522 Russian Federation, IPC A21D2/36, A21D8/02. Method of production of bakery products for preventive nutrition / Belyavskaya Irina Georgievna (RU) Lyamin Mikhail Yakovlevich (RU), Chernykh Valery Yakovlevich (Rus.), Grishina Larisa Nikolaevna T. (ru); patent holder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State University of Food Production" (RU). – No. 2010148012/13; application 25.11.2010; publ. 20.05.2012. – URL: <http://ru-patent.info/24/50/2450522.html>.
35. Технология пищевых продуктов функционального назначения: монография / А.А. Мазараки, М.И. Пересычный, М. Ф. Кравченко, и [др.]; под ред. д-ра техн. наук проф. М. И. Пересычного. – 2-е изд. – К.: Киев. нац. торг.-экон. ун-т, 2012. – 1116 с. (украинский язык).
35. Technology of functional food products: a monograph / A.A. Mazaraki, M.I. Peresychny, M. F. Kravchenko, and [others]; edited by Dr. of Technical Sciences prof. M. I. Peresychny. – 2-nd ed. – k.: Kiev. national trade.-ekon. un-t, 2012. – 1116 p. (Ukrainian).
36. Бидихова М. Э. Интенсификация брожения в пивоварении с использованием препарата *Spirulina platensis*: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.18.07) / Бидихова Марина Эльбрус-овна – Москва, 2003. – 182 с.
36. Bidikhova M. E. Intensification of fermentation in brewing using the drug *Spirulina platensis*: abstract. dis. on the job. learned. step. Candidate of Technical Sciences (18.05.07) / Bidikhova Marina Elbrusovna - Moscow, 2003. – 182 p.
37. Пат. 2321272 Российская Федерация, МПК A23L1/337 A23L1/09. Продукт из микроводорослей и способ его получения [Электронный ресурс] / Мишенков Игорь Юрьевич (RU), Балеико Сергей Павлович (RU), Романов Евгений Александрович (RU); патентообладатель: Мишенков Игорь Юрьевич (RU); опубл. 10.04.2010. – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/232/2321272.html>.
37. Pat. 2321272 Russian Federation, IPC A23L1/337 A23L1/09. Microalgae product and method of its production [Electronic resource] / Mishenkov Igor Yuryevich (RU), Baleyko Sergey Pavlovich (RU), Romanov Evgeny Aleksandrovich T. (ru); patent holder: Mishenkov Igor Yuryevich (RF); publ. 10.04.2010. – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/232/2321272.html>.
38. Ланская Л.А. Культивирование водорослей // Экологическая физиология морских планктонных водорослей (в условиях культуры). – Киев: Наукова думка, 1971. – С. 5-21.
38. Lanskaya L.A. Cultivation of algae // Ecological physiology of marine planktonic algae (in culture conditions). – Kiev: Naukova dumka, 1971. – pp. 5-21.
39. Chen B.J. Process development and evaluation for algal glycerol production / B. J. Chen, C. H. Chi // Biotechnol Bioengin. – 1981. – 23. – Pp. 1267-1287. DOI: 10.1002/bit.260230608.
40. St-Onge, M.-P. Consumption of a Functional Oil Rich in Phytosterols and Medium-Chain Triglyceride Oil Improves Plasma Lipid profiles in Men / Marie-Pierre St-Onge, Benoit Lamarche, Jean-Francois Mauger, Peter J. H. Jones // Journal of Nutrition. – No. 133. – Pp. 1815-1820. DOI:10.1093/jn/133.6.1815.
41. De Stefani E. Plant Sterols and Risk of Stomach Cancer: A Case-Control Study in Uruguay / Eduardo De Stefani, Paolo Boffetta, Alvaro L. Ronco, Paul Brennan, Hugo Deneo-Pellegrini, Julio C. Carzoglio & Maria Mendilaharsu // Nutrition and Cancer. – 2000. – Vol. 379(2). – Pp. 140-144. PMID: 11142085.
42. Оксоалкенилзамещенные циклогексены. Ионы, метилионы и ироны с запахами фиалки, малины и ириса / А.Т. Солдатенков, Н.М. Колядина, Ле Туан Ань и [др.] // Основы органической химии душистых веществ для прикладной эстетики и ароматерапии / под ред. А. Т. Солдатенкова. – М.: ИКЦ Академкнига, 2006. – 240 с.
42. Oxoalkenyl substituted cyclohexenes. Ionones, methylionones and ions with the smells of violets, raspberries and iris / A.T. Soldatenkov, N.M. Kolyadina, Le Tuan An and [others] // Fundamentals of organic chemistry of fragrant substances for applied aesthetics and aromatherapy / edited by A. T. Soldatenkov. – M.: ICTS Akademkniga, 2006. – 240 p.
43. Meireles, Luis A. Lipid Class Composition of the Microalga *Pavlova lutheri*: Eicosapentaenoic and Docosaheptaenoic Acids / Luis A. Meireles, Catarina A. Guedes, F. Xavier Malcata // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2003. – 51 (8). – Pp. 2237-41. DOI: 10.1021/jf025952y.
44. Borowitzka M.A. Biology of Microalgae. Chapter 3 / M. A. Borowitzka // Microalgae in Health and Disease Prevention. – ACADEMIC PRESS, 2018. – Pp. 23-72. DOI: 10.1016/B978-0-12-811405-6.00003-7.
45. Geovanna P.-R. Antioxidant and Cytotoxic Effects on Tumor Cells of Exopolysaccharides from *Tetraselmis suecica* (Kyllin) Butcher Grown Under Autotrophic and Heterotrophic Conditions / Parra-Riofrio Geovanna; García-Márquez, Jorge; Casas-Arrojo, Virginia; Uribe-Tapia, Eduardo; Abdala-Díaz, Roberto Teófilo // Mar Drugs. – 2020. – Vol. 18 (11): 534. DOI: 10.3390/md18110534.
46. Mendiola J.A. Screening of functional compounds in supercritical fluid extracts from *Spirulina platensis* / J. A. Mendiola, L. Jaime, S. Santoyo, G. Reglero, A. Cifuentes, E. Ibañez, F. J. Señoráns // Food Chem. – 2007. – Vol. 102. – Pp. 1357-1367. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.06.068.
47. Sun L. Preparation of different molecular weight polysaccharides from *Porphyridium cruentum* and their antioxidant activities / L. Sun, C. Wang, Q. Shi, C. Ma // Int. J. Biol. Macromol. – 2009. – Vol. 45. – Pp. 42-47. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2009.03.013.
48. De Jesus Raposo M.F. Bioactivity and Applications of Polysaccharides from Marine Microalgae / Maria F. de Jesus Raposo, Rui M.S.C. Morais, Alcina M.de Morais // Mar Drug. – 2013. – Vol. 4511(1). – Pp. 233-252. DOI: 10.3390/md11010233.
49. Taurine in health and diseases: consistent evidence from experimental and epidemiological studies / Yukio Yamori, Takashi Taguchi, Atsumi Hamada, Kazuhiro Kunimasa, Hideki Mori, Mari Mori // J Biomed Sci. – 2010. – 17. Suppl 1: S6. DOI: 10.1186/1423-0127-17-S1-S6.
50. Huxtable R. J. Physiological actions of taurine / R. J. Huxtable // Physiol Rev. – 1992. – Vol. 72(1). – Pp. 101-63. DOI: 10.1152/physrev.1992.72.1.101.
51. Seidel, U. Taurine: A Regulator of Cellular Redox Homeostasis and Skeletal Muscle Function / Ulrike Seidel, Patricia Huebbe, Gerald Rimbach // Mol Nutr Food Res. – 2019. – Vol. 63(16): e1800569. DOI: 10.1002/mnfr.201800569.
52. Ito T. The effect of taurine on chronic heart failure: actions of taurine against catecholamine and angiotensin II / Takashi Ito, Stephen Schaffer, Junichi Azuma // Amino Acids. – 2014. – Vol. 46(1). – Pp. 111-9. DOI: 10.1007/s00726-013-1507-z.
53. Фролов А.В. Влияние состава жирных кислот корма на выживаемость, скорость роста и состав липидов *Artemia salina* // В сб. Корма и методы кормления объектов марикультуры. – М.: ВНИРО, 1988. – С. 20-37.
53. Frolov A.V. The effect of the composition of fatty acids of feed on survival, growth rate and lipid composition of *Artemia Salina* // In Sat. Feeds and methods of feeding mariculture objects. – M.: VNIRO, 1988. – Pp. 20-37.
54. Scott A.P. Unicellular algae as a food for turbot (*Scophthalmus maximus* L.) larvae the importance if dietary long-chain polyunsaturated fatty acids / A. P. Scott, C. Middleton // Aquaculture. – 1979. – Vol. 18. – Pp. 227-240. – URL: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(79\)90014-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(79)90014-0).
55. Cakmak Y.S. Biochemical composition and bioactivity screening of various extracts from *Dunaliella salina*, a green microalga / Y. S. Cakmak, M. Kaya, M. A. Ozusaglam // EXCLI Journal – 2014. – Vol. 13. – Pp. 679-690. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4464408>.
56. Гладышев М.И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека / М.И. Гладышев // Journal of Siberian Federal University. Biology. – 2012. – Т. 5. – С. 352-386. – URL: <https://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/9554/Gladyshev.pdf?sequence=1>.
56. Gladyshev M.I. Essential polyunsaturated fatty acids and their food sources for humans / M.I. Gladyshev // Journal of the Siberian Federal University. Biology. – 2012. – Vol. 5. – Pp. 352-386. – URL: <https://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/9554/Gladyshev.pdf?sequence=1>.