

Обзорная статья / Review article  
УДК 330.15: 574.05  
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-117-131

Статья публикуется в авторской редакции

## Экологический императив в развитии национальной экономики: повышение потенциала микроводорослей

Виктор В. Мелихов<sup>1</sup>, Людмила Н. Медведева<sup>1,2</sup>, Мария В. Фролова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Волгоград, Россия

<sup>2</sup>Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия

### Контактное лицо

Людмила Н. Медведева, доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией экономических исследований ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»; 400002 Россия, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9.  
Тел. +79044010010  
Email [na.medvedeva2012@yandex.ru](mailto:na.medvedeva2012@yandex.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3650-2083>

### Формат цитирования

Мелихов В.В., Медведева Л.Н., Фролова М.В. Экологический императив в развитии национальной экономики: повышение потенциала микроводорослей // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 3. С. 117-131. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-117-131

Получена 17 марта 2020 г.

Прошла рецензирование 19 мая 2020 г.

Принята 29 июня 2020 г.

### Резюме

**Цель.** Изучить методологические основы повышения потенциала микроводорослей в национальной экономике, как одного из экологических императивов в освоении новых природных ресурсов для будущих поколений.

**Материал и методы.** Исследование проведено на основе контент-анализа российских и зарубежных научных публикаций, материалов, полученных в ходе экспедиционно-экспериментальных и социологических исследований. Для более полного раскрытия темы использовался кластерно-когнитивный подход и экономико-математическое моделирование.

**Обсуждение.** Согласно императивам зеленой экономики экологические технологии станут лидирующими в развитии мировой экономики. Важнейшим стимулом, открывающимся перед предпринимателями на экологическом рынке, станет растущий спрос со стороны потребителей, требования со стороны правительств. К перспективным направлениям можно отнести более широкое применение микроводорослей, в части включения их в линейку полезных для здоровья человека продуктов питания; кормовой добавки в животноводстве, птицеводстве, рыбоводстве; субстанции для оздоровления водоемов и очистки от разливов нефти. Важным остается вопрос повышения потенциала микроводорослей, как продукта и производства, на региональном уровне на основе когнитивно-кластерного подхода. Сложным, в технологическом и техническом плане, остается вопрос получения живой биомассы микроводорослей в количестве необходимом для насыщения мирового и национального рынков. Обосновать предпринимательские решения по открытию производств из микроводорослей могут экономико-математические модели и социологические исследования, и также экспертные заключения. Многообещающие перспективы для предпринимательского инвестирования, из-за высокой ценности метаболитов, имеют микроводоросли *Chlorella vulgaris* и *Spirulina platensis*.

**Заключение.** Повышение потенциала микроводорослей является стратегическим ресурсом в развитии национальной экономики, поскольку в условиях изменяющегося климата, пандемий, загрязнения окружающей среды, недостатка продуктов питания и затрудненного доступа к чистой воде, производство биопродуктов и иммуностимулирующих препаратов с каждым годом увеличивается. Необходимо принятие законодательно-нормативных актов и организационных мер, направленных на стимулирование инвестиционной активности фондов и предпринимателей по налаживанию производства продуктов из микроводорослей в разных отраслях экономики. Международные коллаборации, промышленные предприятия, космические агентства (Роскосмос и НАСА) активно ведут исследования по использованию микроводорослей в качестве инструмента переработки отходов жизнедеятельности человека на космической станции, источника поступления кислорода и продуктов питания. Важным остается вопрос создания кластеров, применения механизма государственно-частного партнерства для повышения рентабельности производства биопродуктов из микроводорослей в различных отраслях и секторах экономики на макро-, мезоуровне.

### Ключевые слова

Мировая экосистема, императивы национальной экономики, экологическая устойчивость, зеленые технологии, потенциал микроводорослей, альголизация водоемов, кормовая добавка, региональный кластер, экономико-математическое моделирование, предпринимательский потенциал.

© 2020 Авторы. Юг России: экология, развитие. Это статья открытого доступа в соответствии с условиями Creative Commons Attribution License, которая разрешает использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.

The article is published in author's edition

# An environmental imperative in the development of the national economy: increasing the potential of microalgae

Viktor V. Melikhov<sup>1</sup>, Lyudmila N. Medvedeva<sup>1,2</sup> and Maria V. Frolova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd, Russia

<sup>2</sup>Volzhsky Polytechnic Institute, (Branch) Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

## Principal contact

Lyudmila N. Medvedeva, Doctor of Economic Sciences, Professor, Leading Researcher and Head, Laboratory of Economic Research, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture; 9 Timirjazeva St, Volgograd, Russia 400002. Тел. +79044010010

Email [milena.medvedeva2012@yandex.ru](mailto:milena.medvedeva2012@yandex.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3650-2083>

## How to cite this article

Melikhov V.V., Medvedeva L.N., Frolova M.V. An environmental imperative in the development of the national economy: increasing the potential of microalgae. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 3, pp. 117-131. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-117-131

Received 17 March 2020

Revised 19 May 2020

Accepted 29 June 2020

## Abstract

**Aim.** To study the methodological basis for increasing the potential of applications of microalgae in the national economy, as one of the environmental imperatives in the development of new natural resources for future generations.

**Materials and Methods.** The research was conducted on the basis of content analysis of Russian and foreign scientific publications and materials obtained in the course of expeditions and experimental and sociological research. The cluster-cognitive approach and economic-mathematical modeling were used for a more complete exposition of the topic.

**Discussion.** According to imperatives of the green economy, environmental technologies will become leading factors in the development of the world economy. The most important incentive for entrepreneurs in the environmental market will be growing the demand of consumers and of governments. Promising areas include the use of microalgae in the production of foods beneficial to human health, feed additives in animal husbandry, poultry farming and fish farming, substances for improving water quality in reservoirs and the clean-up of oil spills. The issue of increasing the potential of microalgae at the regional level on the basis of a cognitive cluster approach is most relevant. The procurement of live microalgae biomass in amounts necessary to thoroughly supply world and national markets remains challenging in both technological and technical terms. Economic and mathematical models and sociological research, as well as the opinions of experts, allow us to justify business decisions in opening microalgae production facilities. Microalgae *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* present promising prospects for entrepreneurial investment due to the high value of their metabolites.

**Conclusion.** The increase in production and applications of microalgae is of major strategic potential in the development of the national economy, as the manufacture of bio-products and immune-stimulating drugs increases every year in response to climate change, pandemics, environmental pollution, food shortages and difficulties in accessing clean water. It is necessary to adopt legislative and regulatory instruments and organizational measures aimed at stimulating the investment of funding entities and entrepreneurs in the production of microalgae products in various sectors of the economy. International collaborations, industrial enterprises and space agencies (e.g. Roscosmos and NASA) are actively conducting research into the use of microalgae for the processing of organic waste in human living facilities in space as a source of both oxygen and food. The issue of creating clusters and applying mechanisms of public-private partnership aimed at increasing the profitability of bio-product manufacture from microalgae in various industries and sectors of the economy at the macro-and meso-level remains relevant.

## Key Words

Global ecosystem, imperatives of the national economy, environmental sustainability, green technologies, potential of microalgae, algolisation of reservoirs, feed additive, regional cluster, economic and mathematical modeling, entrepreneurial potential.

## ВВЕДЕНИЕ

Экологический императив в развитии национальной экономики ставит в центр внимания человека, который имеет право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой, и науку, которая должна определять вектор развития мировой экосистемы в интересах каждого живущего на Земле. Русский ученый В.И. Вернадский в своих трудах обращал внимание, что «под влиянием научной мысли и человеческого труда биосфера переходит в новое состояние – ноосферу», и что ученому «даны интуиция, вдохновение – основа величайших научных открытий», и что порой, «в оставленном стороне материале, идут, может быть, самые *важные нити великих идей*, которые для него неизбежно остаются закрытыми и невидимыми, так как он имеет дело с неоконченным – может быть с бесконечным – процессом развития или раскрытия человеческого разума» [1]. Современная наука во многих своих проявлениях существенно отличается от того времени, в котором творил В.И. Вернадский, однако, трудно не согласиться с его утверждением, что: «...красной нитью, в истекшем столетии проходит рост науки в развитии научного мировоззрения» [1]. Развивая гипотезу В.И. Вернадского о ноосфере российские ученые во главе с Н.Н. Моисеевым разработали математическую модель биосферы, «...для получения информации о возможном состоянии биосферы вследствие крупномасштабных воздействий на нее Человека» [2]. Открытия, сделанные в области информационных технологий, позволили расширить базы данных, которыми пользовался Н.Н. Моисеев при построении модели, и достаточно логично подвели человечество к новому этапу развития – ноономической экономике [3]. На качественные изменения в технологиях, сокращение роли материальных факторов производства и возрастание роли человеческого капитала обращали внимание: Бехтель [4], Г.Ю. Жеребилов [5], С.Д. Бодрунов [3]. По мнению М. Росо и W. Bainbridge NBICS-конвергентные технологии должны помочь перевести мировую экономику в иной вектор развития, при котором факторы материального производства уступят место зеленым технологиям, способным удовлетворить потребности человечества, обеспечить использование новых потенциальных ресурсов, в числе которых микроводоросли и цианобактерии, обладающие многообещающими перспективами в области прикладной биотехнологии [6]. Величайший прогресс в развитии человеческого общества не может продолжаться «без глобальных шагов по снижению экологических рисков и сокращению неравенства» [7]. Решающее значение в этом плане имеет аргументированное обсуждение перспектив развития мировой экономики, допустимого уровня истощения природных ресурсов, активного поиска источников пополнения продовольствия и воды, сокращения парниковых газов. Однако до сих пор, значительная часть достижений научно-технического прогресса продолжают оставаться неэкологичными, что порой приводит к необратимым процессам в живой природе: загрязнению вод Мирового океана, сокращению площади лесов, опустыниванию пахотных земель, исчезновению многих видов животных и растений. Ученые подсчитали, что ежегодно на одного жителя Земли извлекается и перемещается 50 тонн природного сырья,

расходуется 3,6 кВт энергии, создается 2 тонны продуктов, образуется 48 тонн отходов, увеличивается пространство жизнеобеспечения человека до 11,5 га, что при росте населения Земли в недалеком будущем будет трудно выполнимо [7]. Более 100 лет затрачивает природа, чтобы отточить «живые технологии», человеку на разработки новых технологий и техники, которые в большинстве своем не являются природоподобными, требуется около 3 лет.

В международных докладах все больше присутствуют понятия: «зеленая промышленность» (green industry), «зеленые рынки» (green markets), «зеленая занятость» (green jobs). Первые упоминания о будущей общественной формации – зеленой экономике (green economy) встречаются «Проекте зеленой экономики» (Blueprint for a Green Economy, Pearce et al, 1989), материалах конференции «Рио-2012» [8, 9, 10]. На сегодняшнем этапе развития в научном сообществе сформировалось несколько подходов в установлении критериев зеленой экономики. Первый – зеленая экономика представляет платформу для роста благосостояния людей и снижения экологических рисков (Программа ООН по окружающей среде); второй – зеленая экономика это стратегия, которая опирается на экологический прогресс, требующий сокращения выбросов углекислого газа, уменьшения использования углеродного сырья (документ ЭСКАТО); третий – зеленая экономика это мир инноваций, формирующий новый IT-образ жизни (ОЭСР); четвертый подход связывает развитие зеленой экономики с использованием широкого спектра природных ресурсов (например, насекомых и микроводорослей в качестве продуктов питания и основы для получения новых лекарств). «Зеленая экономика – это экономика, обеспечивающая долгосрочное повышение благосостояния человека, сокращение неравенства, дающая возможность будущим поколениям избежать рисков обеднения окружающей среды» [11]. Эколог Герман Дейли достаточно образно обрисовал путь человечества к зеленой экономике: «это путь от экономики пустого мира, где созданный человеком капитал был невелик, а природный имелся в сверхизобилии, к экономике насыщенного мира, где все будет обстоит наоборот» [12].

Инновационные решения, на основе бережливого отношения к природным ресурсам, объединяются под общим названием – «зелёные технологии» (green technologies). Основные области применения зеленых технологий в мировой экономике – производство энергии из возобновляемых источников, снижение вредных выбросов в атмосферу, развитие устойчивых ландшафтов, поиск новых источников питания, бережливое отношение к водным ресурсам, экологизация научно-технического прогресса [13; 14]. К 2050 году, по прогнозам ФАО ООН, население Земли должно подойти к численности – 9 млрд человек, что потребует значительно увеличить производство продуктов питания, введения в оборот новых площадей орошаемых и осушаемых земель, поиска новых источников белка [15; 16]. Одно из перспективных исследований, признаваемое мировым научным сообществом, получение белка, масел и необходимых микроэлементов для фармации из насекомых и микроводорослей. Первые положительные

практики уже есть: британская компания Agri Protein построила в ЮАР предприятие по ежедневному производству 7 тонн кормовой муки, 3 тонн жира из насекомых и водорослей. Корпорация Big Cricket Farms (США) на площадке бостонского стартапа Six Foods спроектировала завод по производству и переработке насекомых (сверчков) на протеин. В Китае и Японии компании производят продукты из микроводорослей, в числе которых: биоэтанол, биодизель и биоводород. В США и Израиле микроводоросли используются для биоремедиации сточных вод, удаления пестицидов в растениеводстве. Огромное биоразнообразие и различие в биохимическом составе делают микроводоросли источником для получения биопродуктов с высокой коммерческой ценностью. Многообразие исследований, проводимых российскими учеными, подтверждают перспективность применения микроводорослей в национальной экономике [17]. Так, учеными из Дагестана (Россия) обоснована целесообразность крупномасштабного промышленного производства микроводорослей для сельского хозяйства, пищевой и фармацевтической промышленности в масштабах республики [18]. В Курской сельскохозяйственной академии доказана эффективность применения микроводорослей в растениеводстве, посевах зерновых.

Науке известно более 25 тыс. видов микроводорослей, но в коммерческих целях используется не столь много – 17. К наиболее перспективным относятся: *Dunaliella tertiolecta*, *Nannochloropsis oculata*, *Isochrysis galbana*, *Euglena gracilis*, *Tetraselmis suecica*, *Diacronema vlikianum*, *Porphyridium cruentum*, *Cryptothecodinium cohnii*, *Schizochytrium sp.*, *Nannochloropsis oculata*, *Phaeodactylum tricornerum*, *Nitzschia sp.*, *Dunaliella salina*, *Haematococcus pluvialis*, *Porphyridium cruentum*, *Haematococcus pluvialis*, *Cryptothecodinium cohnii*, *Dunaliella salina*, *Spirulina (Arthrospira) platensis* [19]. Первые эксперименты по промышленному использованию микроводорослей – получению масел, проводились в Германии в середине XX века, пик исследований пришелся на период первого энергетического кризиса, когда из микроводорослей стали получать биоэтанол [20].

Почему сегодня, в XXI веке, микроводоросли вновь оказались в центре внимания ученых и предпринимателей? Ответ не настолько прост, как может показаться на первый взгляд, и на то есть несколько причин. Первая, отмечалось ранее – значительный рост населения и возрастающая потребность в белке. Вторая – способность микроводорослей быстро размножаться, обитать в любой экосистеме (воде, воздухе, почве), усваивать солнечную энергию, выделять кислород, проявлять секвестрацию. Третья – наличие в их составе большого количества белков, углеводов, витаминов, микро- и макроэлементов (железа, йода, калия, селена, жирных кислот Омега-3), столь необходимых для живых организмов. Четвертая – биологические и инженерные разработки последнего времени сделали получение биомассы микроводорослей экономически выгодной [16; 19-21]. Многофункциональные исследования по биологии и применению микроводорослей проводятся компаниями: Cyanotech (Гавайи, США), Vision (США), Manufacturing Co. (Тайвань), Cognis (Австралия), Algatechnologies, Ltd. (Израиль), Roquette Klötze GmbH &

Co KG (Клетце, Германия), Asta REAL AB (Густавсберг, Швеция), Algatech (Кетура, Израиль). В 2014 году в Корею создан научно-исследовательский центр биомассы микроводорослей (ABC) с инвестициями более 200 миллионов долларов. Результаты научных исследований по микроводорослям представлены в трудах зарубежных ученых: М. Андерсон, П. М. Глиберт, Дж. М. Буркхолдер, А. Баттервик, И. Лупач, А. Мюллер-Фуэга, К. Дж. Седер, Дж. Ф. Таллинг, Р. Дж. Шилдс, Т. Kamezaki, О. Takimura, Н. Wang, Y. Yamaoka, X. Zeng; ученых стран-участников ЕврАзЭС: И. Абдулагатов, В. Белянин, Н. Богданов, Л. Гамко, Ю. Кожевников, Т. Король, А. Котинский, М. Куницын, В. Мелихов, С. Мельников, Н. Политаева, А. Скичко, С.Хрущев, А. Шубаков и др.

Исследования показали, что отдельные виды и штаммы микроорганизмов обладают столь уникальными свойствами, что трудно найти подобных аналогов среди других живых организмов. Микроводоросли *Chlorella vulgaris*, *Senecococcus elongatus* в большом количестве продуцируют: тиамин, рибофлавин, фолиевую кислоту; микроводоросль *Spirulina platensis* синтезирует йодсодержащие соединения – тироксин и трийодтиронин; микроводоросли родов *Nostoc* и *Microcystis* способны накапливать в большом количестве витамины группы B12 [19-24]. В качестве кормовых добавок в животноводстве используются: *Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum*, *Spirogyra*, *Scenedesmus*, *Nostoc*, *Navicula*, *Nitzschia*; в мелиорации земель – *Scenedesmus spinosa* [24-29]. Перспективной для очистки природных и сточных вод – *Chlorella vulgaris* [29]. В городах очистка сточных вод с помощью бактерий и микроводорослей позволяет удешевить процесс и добиваться высокого качества очищенной воды, например в биокомплексах «Евробийон» с системой биологической фильтрации [30]. В российских научных публикациях приводятся данные, подтверждающие эффективность использования *Chlorella vulgaris* для очистки водоемов от пятен нефти. Атомарный кислород, выделяемый хлореллой, окисляет длинные цепочки гидрофильных углеводов, входящих в состав нефтепродуктов, образуя гидрофобные обрывки радикалов нефтепродуктов, которые оседают на дно водоемов, подвергаются дальнейшему разложению с помощью нефтеперерабатывающих бактерий. Часть нефтяного загрязнения хлорелла переводит в комплексное водорастворимое соединение, которое потом разрушающееся экстрагирующими растворителями (толуол, CCl<sub>4</sub>). После вселения хлореллы в водоем на поверхности воды не обнаруживается радужная пленка нефтепродуктов [31]. В работах Академика РАН Кружилина И.П. приводятся доказательства, что в результате высокого антропогенного воздействия изменяется естественный статус природных водоемов, период естественного самоочищения за счет жизнедеятельности организмов растягивается во времени и не достигает желаемого результата, что требует применения интенсивных биологических мелиораций [32].

В докладе «Глобальный рынок аквакультуры 2018-2022 годах» ежегодный CAGR продуктов аквакультуры прогнозируется на уровне – 4,46%. Рынок продаж аквакультуры к 2025 году должен достичь –224,2 млрд\$ США (рост 38%) [33-35]. Видовое разнообразие водорослей и микроводорослей в Российской Федерации достаточно высоко (1/10 всего мирового биоразнообра-

зия), однако, использование в экономике незначительное. В Интернете имеются сведения о двух заводах в Архангельске и на Сахалине по переработке водорослей, трех десятках малых предприятий по выращиванию *Chlorella vulgaris* и *Spirulina platensis*. В отчете по развитию аквакультуры, подготовленным Минсельхозом России, в соответствии с Федеральными законами: от 2 июля 2013 г. №148-ФЗ «Об аквакультуре (рыбоводстве)», от 20 декабря 2004 г. №166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов», раздела о применении микроводорослей не представлено, однако в «Технологической платформе БиоТех2030» в разделе «Биоиндустрия и биоресурсы» представлена информация о перспективных научных исследованиях, в числе которых: оптимизация процессов накопления биомассы микроводорослей, адаптированных к районным климатическим условиям; применение безотходных биотехнологий на основе микроводорослей в установках замкнутого водоснабжения с тепличным выращиванием растений и интенсивным ведением аквакультуры; разработка технологии получения больших объемов биомассы микроводорослей с широким спектром применения; создание в растениеводстве цианобактериальных консорциумов, способствующих оптимизации микробиологических процессов в ризосфере сельскохозяйственных культур, особенно в аридных почвенно-климатических условиях; получение белково-витаминных добавок к кормам, повышающих усвояемость основного корма, иммунный статус организма и выживаемость молоди; усовершенствование технологий получения в промышленных масштабах пищевых концентратов, БАДов, безопасных натуральных красителей, антиоксидантов и веществ, входящих в состав лекарственных средств [36; 37].

*Цель исследования* – изучить методологические подходы повышения потенциала микроводорослей в национальной экономике, как одного из экологических императивов в освоении новых природных ресурсов для будущих поколений.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на основе контент-анализа российских и зарубежных научных публикаций, материалов, полученных в ходе экспедиционно-экспериментальных исследований. Для более полного раскрытия темы использовался кластерно-когнитивный подход и экономико-математическое моделирование. Для определения перспектив включения микроводорослей в «Тарелку здорового питания» применялся инструментарий социологических исследований (анкетирование, моделирование прогнозных значений, «мозговой штурм»). Исследование проводилось с участием студентов 2-4 курсов инженерно-экономического факультета Волжского политехнического института (филиал) ВолГТУ (Волжский, Россия). Заключение об эффективности использования штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 в оздоровлении водных экосистем строилось на доказательной базе, полученной в ходе экспедиции на Волгоградское водохранилище (Россия). Степень загрязнения водоема, состояние фитопланктона, концентрация растворенного кислорода, объемы биомассы зеленых и синезелёных водорослей определя-

лись общепринятыми методами и с помощью спутниковой фотофиксации. Степень влияния штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 на экосистему заливов определялась с помощью «индекса желательности». Эффективность применения суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 в животноводстве и птицеводстве основывалась на данных размещенных в российских и зарубежных публикациях, результатах эксперимента на перепелах породы «Московский белый гигант» в КФХ Карповой Т.И. (Волгоградская область, Россия). Эмпирическую базу исследования составили: международные и российские законодательные акты, информационно-справочные материалы отраслевых министерств и ведомств, отчеты о деятельности предпринимательских структур, научные статьи, размещенные в базах РИНЦ, Web of Sciences, Scopus, Cloud Shell, а также результаты научных исследований, проводимых в ФГБНУ ВНИИОЗ (Волгоград, Россия) в период с 2006 по 2020 годы.

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обоснование использования микроводорослей в национальной экономике целесообразно начать с экскурса в историю вопроса. Человечество использует микроводоросли в качестве продуктов питания с середины XVI века. Суспензии и экстракт из *Chlorella vulgaris* используются в пищу в Японии, Корее, США. В Малайзии и Китае применение нашли микроводоросли: *Arthrospira platensis*, *Arthrospira maxima*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Dunaliella salina*, *Nostoc pruniforme* [38-40]. Возрастающий интерес населения к рациональному питанию и здоровому образу жизни, особенно в условиях пандемии, обуславливает появление на рынке новых продуктов, в том числе из микроводорослей [41-42]. Во Франции объем производства пробиотических продуктов и изделий, содержащих биологически активные ингредиенты с микроводорослями, вырос в 350 раз. Учеными Гарвардской школы общественного здравоохранения (США), которые разработали «Тарелку здорового питания», изучается вопрос использования микроводорослей в качестве пищевых добавок (рис.1) [42].

Результаты социологических исследований, проведенных среди студентов Волжского политехнического института (Волжский, Россия), по включению в «Тарелку здорового питания» продуктов из микроводорослей, показали: что 12% из числа опрошенных готовы попробовать продукты из микроводорослей (из этого числа 38% отдали предпочтение смузи из *Chlorella vulgaris*); регулярно употреблять в пищу готовы – 1,2% от числа опрошенных. Большинство студентов, принявших участие в опросе, не имеют стойких представлений о микроводорослях, относят к их числу: ламинарию (морскую капусту). Самыми известными микроводорослями были названы: *Chlorella vulgaris* и *Spirulina platensis* (показали 76% от числа опрошенных). Представления о микроводорослях все больше входят в информационное пространство современной молодежи, однако до реального включения их в рацион питания, достаточно далеко, и одна из причин: отсутствие налаженного российского производства продуктов из микроводорослей, маркетинговой пропаганды по их применению.

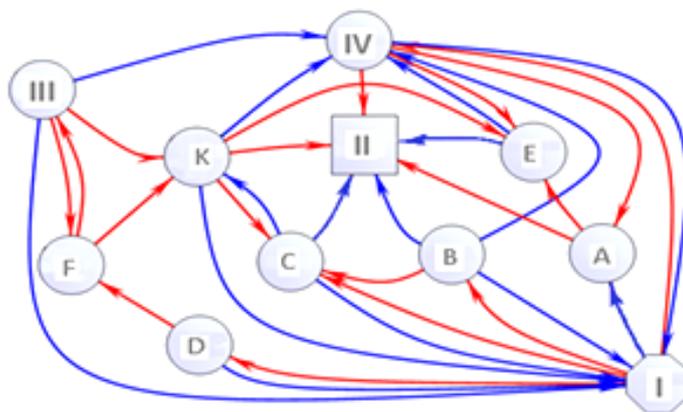


**Рисунок 1.** Структура «Тарелки здорового питания» с включёнными продуктами из микроводорослей (сухой порошок *Chlorella vulgaris*)

**Figure 1.** The structure of the "Healthy Eating Plate" with products made of microalgae (dry powder of *Chlorella vulgaris*)

Для обоснования потенциала микроводорослей на региональном уровне (организации постоянного производства и создании торговой площадки B2B индустрии микроводорослей) на региональном уровне применялись методы экономико-математического моделирования. Построенная на основе данных о: количестве субъектов МСП (по годам), состоянии почвы и водоемов (степень загрязнения), объеме производства продуктов из микроводорослей (кг), логистики продаж продуктов из микроводорослей (км/кг), потреблении продуктов из микроводорослей на 1 чел (кг/год) и отраслевом потреблении (кг/год), развитости инфраструктуры поддержки МСП, уровни спроса на продукты из микроводорослей (на основе социологических исследований), количестве населения придерживающегося здорового

образа жизни (чел), количестве внедренных инноваций. При построении когнитивной карты регионального кластера «Потенциал микроводорослей» брался во внимание тот факт, что в Российской Федерации усиливается внимание к развитию малого и среднего бизнеса (приняты пять федеральных программ, позволяющие начинающим предпринимателям на основе разработанного бизнес-плана получить грант или льготный кредит) [43; 44]. Когнитивная карта регионального кластера представлена ребрами, обозначающими положительное или отрицательное влияние вершин-факторов на развитие предпринимательской инициативы. Оценка каждого фактора производилось с помощью матрицы идентичности (рис. 2).



**Рисунок 2.** Обобщенная когнитивная карта взаимодействия факторов, определяющих функционирование кластера «Потенциал микроводорослей»

I – региональная экономика; II – предпринимательство; III – экология; IV – ресурсы; A – инвестиции; B – инновации; C – покупательская способность населения; D – культура питания населения; F – логистика и сбыт; K – система поддержки МСП; E – информационные ресурсы (Интернет)

**Figure 2.** Generalized cognitive map of interaction of the factors that determine the functioning of the "Microalgae Potential" cluster

I – regional economy; II – enterprise; III – ecology; IV – resources; A – investments; B – innovations; C – consumer purchasing power; D – food culture of the population; F – logistics and sales; K – support system for SMEs; E – information resources (Internet)

При построении математической модели регионального кластера «Потенциал микроводорослей» использовались данные по объемам инвестиций и производству, полученной доходности бизнеса, движению денежных

средств (доходов и расходов) [45]. При построении кластера использовались следующие обозначения:  $u_k$  – объем производства по  $k$ -му виду продукции из микроводорослей, тыс. т;

$q_k$  – прогнозный спрос на продукцию  $k$ -го вида в стоимостном выражении, рублей;

$V_k$  – проектная производительность основных производственных фондов по  $k$ -му продукту, рублей;

$T_k$  – срок службы основных производственных фондов  $k$ -го вида, лет;

$P_k$  – стоимость единицы продукции  $k$ -го вида, рублей;

$T$  – период, год.

Инвестиции в приобретаемые основные производственные фонды  $k$ -го типа обозначены:

$$x_k = c_k m_k, \quad (k = 1, \dots, n) \quad (1)$$

где  $x_k$  – приобретаемые основные производственные фонды  $k$ -го типа, руб.;

$c_k$  – среднегодовая стоимость основных производственных фондов  $k$ -го вида продукции из микроводорослей, руб.;

$m_k$  – количество приобретаемых основных производственных фондов для производства  $k$ -го вида продукции из микроводорослей, ед.;

Выручка от продажи продукции  $k$ -го типа:

$$x_{nk} = P_k m_k y_k, \quad (k = 1, \dots, n) \quad (2)$$

где  $x_{nk}$  – выручка, руб.

Выпуск продукции  $k$ -го вида, который может быть функцией  $y_k(t)$  времени  $t$ .

$$y_k(t) = \frac{x_{nk}}{P_k m_k}, \quad (k = 1, \dots, n) \quad (3)$$

Суммарные инвестиции в приобретение основных производственных фондов, руб., составят:

$$X = \sum_{k=1}^n x_k, \quad (4)$$

где  $X$  – суммарные инвестиции, руб.

Суммарная выручка от реализации по всем видам продукции из микроводорослей составит:

$$R = \sum_{k=1}^n P_k m_k y_k, \quad (5)$$

где  $R$  – суммарная выручка, руб.

Фонд оплаты труда, определяемый как заданный процент  $\beta$  выручки от реализации  $R$  всей продукции, выразим из (6):

$$F = \beta R, \quad \text{руб.} \quad (6)$$

Сумму амортизационных отчислений за период планирования  $T$  по всем видам основных производственных фондов выразим:

$$Am = T \sum_{k=1}^n \frac{c_k m_k}{T_k}, \quad (7)$$

$Am$  – сумма амортизационных отчислений, руб.

Эффективность  $k$ -го вида основных производственных фондов может оцениваться безразмерным отношением:

$$\delta_k = \frac{P_k V_k}{c_k}, \quad (8)$$

где  $\delta_k$  – относительный показатель эффективности по  $k$ -го вида основных производственных фондов.

Чистая прибыль после налогообложения, которую получают предприниматели кластера, выглядит следующим образом:

$$W = (1 - \alpha_3)(R - (Am + F(1 + \alpha_4) + X + z)), \quad (9)$$

где  $\alpha_3$  – ставка налога МСП;

$\alpha_4$  – ставка отчислений с фонда оплаты труда на обязательное страхование;

$z$  – суммарные материальные затраты, определяемые в виде заданного процента от общих затрат деятельности кластера, руб.

С учетом приведенных выше обозначений, прибыль выглядит так:

$$W = (1 - \alpha_3)[- \sum_{k=1}^n q_k x_k + (1 - \beta) \sum_{k=1}^n x_{nk}], \quad (10)$$

где  $q_k = T/T_k$ .

Для наглядности в записи были введены безразмерные параметры:

$$\gamma_k = \alpha_3 \frac{T}{T_k} - 1, \quad (k = 1, \dots, n); \quad (11)$$

$$\sigma_k = \alpha_3 \frac{T}{T_k} = \gamma_k + 1; \quad (12)$$

$$\gamma = (1 - \alpha_3)(1 - \beta) \quad (13)$$

Эффективность (собственные средства) кластера «Потенциал микроводорослей» можно представить в виде:

$$D_S = A_m + W \quad (14)$$

или, с учетом введенных обозначений,

$$D_S = \sum_{k=1}^n \gamma_k x_k + \gamma \sum_{k=1}^n x_{nk}. \quad (15)$$

Зависимость (14) является линейной относительно переменных  $x_k$  и  $x_{nk}$ .

Если выполняется условие  $D_S \geq 0$ , то кластер «Потенциал микроводорослей» будет являться эффективным. Данные, собранные по регионам Южного федерального округа, позволили определить:  $D_S = 0,017$ . Низкое значение показателя свидетельствует о имеющихся нереализованных возможностях. Важным для развития новых видов бизнеса (организация производства биопродуктов) является оценка состояния предпринимательства на региональном уровне. Предпринимательский потенциал можно оценить с помощью методов экономико-математического моделирования. Для оценки потенциала предпринимательства применяется общая формула:

$$P_{\text{предпринимательский}} = P_{\text{личностный}} + P_{\text{материально-технический}} + P_{\text{инвестиционный}} + P_{\text{инновационный}} \quad (16),$$

а каждый компонент рассчитывается отдельно. Например, материально-технический компонент рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{материально-технический}} = W \frac{M_x}{n}, \quad (17)$$

где  $W$  – коэффициент весомости на основе экспертных оценок;

$M_x$  – элементы, формирующие материально-технический потенциал;

$n$  – количество элементов.

На основе экспертных оценок, данных социологических опросов на программах для ЭВМ была рассчитана емкость предпринимательского потенциала для налаживания производства продуктов из микроводорослей в Волгоградской области – 7,63%, что свидетельствует о нереализуемых возможностях. Учеными ФГБНУ ВНИИОЗ (Волгоград, Россия) совместно с учеными Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва) разрабатывается имитационно – моделирующий комплекс, который позволит изменить ситуацию и предоставить предпринимателям на основе компиляции данных из модулей: «Водные ресурсы», «Вид водорослей», «Территория», «Погодные условия», «Тех-

нология», «Производство», «Инвестиции», «Логистика», «Персонал», «Инновации» поливариантный прогноз организации производства и реализации продуктов из микроводорослей по отраслям на определенный период. Открытым остается вопрос, какие микроводоросли и в каких отраслях экономики могут составить потенциал для развития и здесь многое зависит от ученых, их инновационных разработок.

Одна из наиболее известных населению и востребованных предпринимателями – микроводоросль *Chlorella vulgaris*. Была описана датским микробиологом М. Бейжерником еще в XVII веке. К настоящему времени известны семь планктонных штаммов микроводоросли: *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111, *Chlorella vulgaris* BIN, *Parachlorella nurekis* 1904 KIEG, *Chlorella kessleri* ARW, *Chlorella kessleri* NF, *Chlorella vulgaris* GKO, *Chlorella sorokiniana* FAT, которые обладают рядом полезных свойств для организации производства: свободным парением и равномерным распределением в водоемах [46; 47]. Ученые ФГБНУ ВНИИОЗ (Волгоград, Россия) с 2006 года в сотрудничестве с научными и коммерческими организациями, сельскохозяйственными

ми и рыбопроизводными хозяйствами создают доказательную базу правомерности применения штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 в национальной экономике [26; 48]. Представленные в статье материалы, по использованию штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 получены в результате многолетних исследований. Использование микроводорослей в оздоровлении водоемов, изучалось в ходе экспедиции на Волгоградское водохранилище, имеющего многоцелевое хозяйственное значение. Ежегодно из-за эффекта «цветение воды», вызывающего гибель рыб и животных, трудности при заборе воды для питьевых и хозяйственных нужд, региональная экономика несет убытки. Эффект «цветения воды» создают быстроразмножающиеся синезеленые водоросли: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* и одним из способов очищения водоемов является биологическая мелиорация (альголизация) [29; 48]. В таблицах 1, 2 представлены результаты исследований: состояние заливов Волгоградского водохранилища; объемы вселяемой суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 на станциях.

**Таблица 1.** Характеристика заливов Волгоградского водохранилища, на которых были размещены станции наблюдения ФГБНУ ВНИИОЗ, 2017 год

**Table 1.** Characteristics of bays of Volgograd reservoir where observation stations of FSBSI VNIIOZ were placed, 2017

Заливы Bays	Расположение Location	Площадь, га Area, ha	Длина, км Length, km
<b>Экспериментальные заливы для проведения альголизации</b> Experimental bays for conducting algalisation			
<b>Ерзовский</b> Yerzovsky	правобережное right bank	87	3,2
<b>Дубовский</b> Dubovsky	правобережное right bank	34	2,3
<b>Балыклейский</b> Balyklei	правобережно right bank	1550	13
<b>Еруслановский</b> Ulanovsky	левобережное left-bank	6660	31
<b>Контрольные заливы без проведения альголизации</b> Control bays where algalisation not conducted			
<b>Красные отмели</b> Red shoals	правобережное right bank	1780	17
<b>Яблоновский</b> Yablonsky	левобережное left-bank	52	2,8

Примечание: га – гектар; км – километр; м – метр  
Note: ha. – hectare; km – kilometre; m – metre

Исследование доказало, что в заливах снизилась концентрация биогенных элементов, уменьшилось количество соединений азота и фосфора в 2,3-3,5 раза, биогенов – в 1, 3 раза. Расчетный «индекс желательности» составил – 0,71, что подтверждает положительное влияние штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 на жизнедеятельность водохранилища (рис. 3).

В научных публикациях, посвященных предотвращению «цветения воды» с помощью штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111, указывается, что технология альголизации на крупных водных объектах до конца не изучена, мало данных о перемещении водных пластов с микроводорослями под воздействием вихревых потоков. В лабораториях Москвы, Казани, Омска и Волгограда (ФГБНУ ВНИИОЗ) проводятся исследования

по биологии и получения биомассы *Chlorella vulgaris* в промышленных объемах (рис. 4) [48].

Во многих странах мира проводятся исследования по получению биомассы *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 в открытых и закрытых фитобиореакторах [47; 49] (рис. 5).

Известно, что продуктивность открытых систем по получению биомассы микроводорослей в 2 раза ниже, чем в закрытых. Кроме того, в закрытых фитобиореакторах чистота, получаемой суспензии достигает более высоких показателей. Одним из препятствий к промышленному производству микроводорослей является высокая стоимость получаемой биомассы, на которую влияют тарифы на электроэнергию, стоимость ингредиентов питательной среды [50]. Большие по размеру автоматизированные фитобиореакторы могли бы

давать значительные объемы биомассы микроводорослей по более низкой себестоимости, однако, несовершенство технологии не позволяет этого добиться (на определенной стадии может начаться процесс массовой гибели клеток) [50]. В последние годы ФГБНУ ВНИИОЗ (Волгоград, Россия) получил патенты на полезную модель открытого фитобиореактора по выращива-

нию хлореллы и способ водоподготовки [51; 52]. В стадии проектирования находится установка «ВНИИОЗ-БИОМАХ» для размножения микроводорослей в закрытом режиме, которая разрабатывается с участием ученых Волгоградского государственного технического университета, государственного НИИ озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга.

**Таблица 2.** Объемы суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111, вселяемой в заливы Волгоградского водохранилища в ходе эксперимента, 2017год

**Table 2.** Volumes of suspension of the *Chlorella vulgaris* strain IFR N C-111 injected into bays of Volgograd reservoir during the experiment, 2017

Наименование заливов Name of bays	Внесение штамма <i>Chlorella vulgaris</i> ИФР № С-111, литр The introduction of a strain of <i>Chlorella vulgaris</i> IGF N C-111, litre						
	Март March	Апрель April	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September
<b>Экспериментальные заливы / Experimental bays</b>							
<b>Ерзовский</b> Yerzovsky	20	20	40	60	60	60	-
<b>Дубовский</b> Dubovsky	20	20	20	40	40	20	-
<b>Балыклейский</b> Balyklei	40	100	60	100	60	60	40
<b>Еруслановский</b> Ulanovsky	100	100	100	100	100	60	40
<b>Контрольные заливы / Control bays</b>							
<b>Красные отмели</b> Red shoals	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Яблонный</b> Yablonsky	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



**Рисунок 3.** Состояние водной среды в Балыклейском заливе Волгоградского водохранилища (июль-сентябрь, 2017)  
а – пленка из разлагающихся синезеленых водорослей в заливе (июль, 2017)

б – состояние воды в заливе (сентябрь, 2017)

**Figure 3.** State of the water environment in Balyklei Bay of Volgograd reservoir (July-September, 2017)

а – film of decomposing blue-green algae in the bay (July, 2017)

б – state of water in the bay (September, 2017)

Одной из отраслей применения микроводорослей является сельское хозяйство. Эффективность применения штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 в птицеводстве изучалась ФГБНУ ВНИИОЗ в хозяйствах Юга России [53]. Оценка полезности применения микроводоросли в перепеловодстве изучалась на породе «Московский белый гигант» в КФХ Карповой Т.И. (Волгоградская область, Россия). Проводились исследования по объемам применяемой суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111, привесам птицы перепела при добавлении в корм микроводоросли, количеству выводимых перепелов на 100 штук голов взрослой птицы, сохранности

птицы в первые две недели жизни, состоянии кровеносной и пищеварительной систем. Хороший эффект был получен при кормлении перепелов с добавлением суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 из расчета: 500 мл на 10 литров воды (или 5 мл на 1 голову птицы): увеличение живой массы произошло на 15%, выход готовой продукции на 2,9%. Люминесцентная микроскопия содержимого желудочно-кишечного тракта показала полную усвояемость микроводорослей организмом птицы; биохимические показатели крови подтвердили повышение иммунитета [54] (рис. 6).



**Рисунок 4.** Исследования по биологии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 ФГБНУ ВНИИОЗ; вселение штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 в залив Волгоградского водохранилища, 2017

**Figure 4.** Research on the strain biology of *Chlorella vulgaris* IFR no. C-111 FSBSI VNIIOZ; introduction of the strain of *Chlorella vulgaris* IFR no. C-111 into bay of Volgograd reservoir, 2017



**Рисунок 5.** Завод по переработке микроводорослей в Исландии, открытый водоем для культивирования хлореллы, вместимостью 300 тонн, Национальный университет Чэн Кунг, Тайвань, КНР.

**Figure 5.** Microalgae processing plant in Iceland, open water reservoir for growing *Chlorella*, 300 tons capacity, National Cheng Kung University, Taiwan, China.



**Рисунок 6.** Яйца и перепела 5-ти дневного возраста, полученные в ходе эксперимента по применению суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111, 2019 год

**Figure 6.** Eggs and quails of 5-day age obtained during experiment in the use of a suspension of the *Chlorella vulgaris* strain IFR no. C-111, 2019

Проведенные данные раскрывают возможности для расширения линейки продуктов из микроводорослей, введения новых стандартов в различных отраслях экономики, как на национальном, так и региональном уровне [23; 31].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возрастающий теоретический интерес человечества в отношении одноклеточных фотосинтезирующих организмов (микроводорослей) обусловлен рядом объективных причин: ростом населения, сокращением при-

родных ресурсов, обеспечивающих существование человека на Земле, изменением климата, являющегося следствием увеличения углекислого газа в атмосфере, усилением антропогенной нагрузки на природные ландшафты (введением в оборот новых земель, уменьшением плодородия почвы, загрязнением природных водоемов в том числе и нефтехимическими соединениями), снижением иммунитета и появлением новых возбудителей болезней, приводящих к пандемиям. Практический интерес к микроорганизмам обусловлен тем, что они являются источником органических веществ и

условием, обеспечивающим восстановление природных и искусственных водоемов. На мировом рынке технически осуществимо и хорошо коммерциализируется производство микроводорослей в качестве кормовых добавок для животных и птицы; концентратов для пищевой, фармацевтической, косметической, энергетической промышленности. Исследования, проводимые в ФГБНУ ВНИИОЗ (Волгоград, Россия), расширяют возможности применения микроводорослей, в том числе *Chlorella vulgaris*, в перепеловодстве, прудовом рыболовстве и оздоровлении водных экосистем на региональном уровне. Учитывая возрастающую потребность человечества в белке и экологически чистой среде обитания, значительный объем публикаций о микроводорослях, индексируемых на платформах РИНЦ, Scopus, Web of Science (более 1000 за последние пять), можно спрогнозировать рост предпринимательского внимания к биопродуктам. Для повышения потенциала микроводорослей требуется законодательная инициатива не только на национальном или региональном уровне, разговор может идти о глобальных масштабах, например, ООН.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта N 19-14 505-73\19.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

Research was funded by RFBR, project number 19-14 505-73\19.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вернадский В.И. Избранные труды по истории науки. М.: Наука, 1981. 360 с.
2. Моисеев Н.Н. Экология человечества глазами математика. М.: Молодая гвардия, 1988. 254 с.
3. Бодрунов С.Д. Ноономика: концептуальные основы новой парадигмы развития // Известия Уральского государственного экономического университета. 2019. N 20. С. 5-12. DOI: 10.29141/2073-1019-2019-20-1-1
4. Бехтель М. Будущее труда. Размышления, взгляды, перспективы. М.: Институт имени Гёте, 2000. 267 с.
5. Жеребилов Г.Ю. Соборная собственность как основа ноономики. Портал Проза.ру. URL: <https://www.proza.ru/2017/04/06/1130> (дата обращения: 03.02.2020)
6. Roco M., Bainbridge W. Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science // Kluwer Academic Publishers (currently Springer) Dordrecht, The Netherlands. 2003. 482 p.
7. Доклад о человеческом развитии 2011. Устойчивое развитие и равенство возможностей: лучшее будущее для всех. Пер. с англ.; ПРООН. М.: Издательство «Весь Мир», 2011. 188 с.
8. Pearce D.W., Markandya A., Barbier E. Blueprint for a Green Economy. Earthscan Publications Limited, 120 Pentonville Road, London NI 9JN, UK, 1989. 192 p.
9. Будущее, которого мы хотим // Итоговый документ Конференции ООН. Рио-де-Жанейро. 2012. URL: <http://www.uncsd2012.org/> (дата обращения: 20.12.2019)
10. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable

Development and Poverty Eradication // UNEP. 2011. URL: <http://www.unep.org/greenconomy> (дата обращения: 15.02.2020)

11. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth // UNEP. 2011. URL: [http://www.gci.org.uk/Documents/Decoupling\\_Report\\_English.pdf](http://www.gci.org.uk/Documents/Decoupling_Report_English.pdf) (дата обращения: 11.10.2019)
12. Daly H. Economics in a Full World // Scientific American. 2005. V. 293. Iss. 3. 100 p. DOI: 10.1038/scientificamerican0905-100
13. Melikhov V.V., Novikov A.A., Medvedeva L.N., Komarova O.P. Green technologies: The basis for integration and clustering of subjects at the regional level of economy // Integration and Clustering for Sustainable Economic Growth. Contributions to Economics. 2017. P. 365-382. DOI: 10.1007/978-3-319-45462-7\_37
14. Колбачев Е.Б., Медведева Л.Н., Балакай Г.Т., Пахомова А.А., Роскошная А.С., Белых Д.В. Применение форсайт-технологий в обосновании развития мелиорации с использованием ресурсосберегающих и энергоэффективных технологий // Вестник Южно-Российского государственного технического университета. Серия: Социально-экономические науки. 2018. N 3. С. 24-37. DOI: 10.17213/2075-2067-2018-3-24-37
15. Grossmann L., Hinrichs J., Weiss J. Cultivation and downstream processing of microalgae and cyanobacteria to generate protein-based technofunctional food ingredients // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. V. 60. Iss. 17. P. 2961-2989. DOI: 10.1080/10408398.2019.1672137
16. Dineshbabu G., Goswami G., Kumar R., Sinha A., Das D. Microalgae-nutritious, sustainable aqua- and animal feed source // Journal of Functional Foods. 2019. V. 62. P. 23-31. DOI: 10.1016/j.jff.2019.103545
17. Мелихов В.В. Научные продукты всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия // Орошаемое земледелие. 2018. N 4. С. 6-7.
18. Абдулагатов И.М., Алхасов А.Б., Догеев Г.Д., Тумалаев Н. П., Алиев Р.М., Бадавов Г.Б., Алиев А.М., Салихова А.С. Микроводоросли и их технологические применения в энергетике и защите окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 1. С. 166-183. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-166-183
19. Andrade L.M., Andrade C.J., Dias M., Nascimento C.A.O., Mendes M.A. *Chlorella* and *Spirulina* microalgae as sources of functional foods, nutraceuticals, and food supplements; an overview // MOJ Food Process Technol. 2018. V. 6. N 1. P. 45-58. DOI: 10.15406/mojfpt.2018.06.00144
20. Caporgno M.P., Mathys A. Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits // Front. Nutr. 2018. V. 5. P. 58-63. DOI: 10.3389/fnut.2018.00058
21. Клячко-Гурвич Г.Л., Семененко В.Е. Физиолого-биохимические аспекты направленного получения ценных метаболитов в условиях интенсивной культуры водорослей // Труды Московского общества испытателей природы. 1966. N 24. С. 154-159.
22. Политаева Н.А., Смятская Ю.А., Трухина Е.В., Атаманюк И., Кузнецова Т. А. Культивирование биомассы микроводоросли *Chlorella* в климатических условиях Санкт-Петербурга // Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. 2017. С. 150-152.

23. Котинский А.В., Чернухина Г.В., Донченко Г.В., Паливода О.М., Костенко Ю.В., Степаненко С.П., Паливода К.О. Влияние солей йода и кобальта на содержание биологически активных веществ в биомассе спирулины // Укр. біохім. журн. 2004. Т. 76. N 2. С. 112-116.
24. Фролова М.В., Московец М.В., Птицына Л. А., Торопов А.Ю. Суспензия хлореллы как биостимулятор в кормлении молодняка крупного рогатого скота // Аграрно-пищевые инновации. 2019. N 2 (6). С. 34-39. DOI: 10.31208/2618-7353-2019-6-34-39
25. Shchedrin V.N., Vasilyev S.M., Kolganov A.V., Medvedeva L.N., Kupriyanov A.A. Meliorative institutional environment: The area of state interests // Espacios. 2018. V. 39. N 12. 28 p.
26. Фролова М.В., Московец М.В., Птицына Л.А., Торопов А.Ю. Особенности влияния штамма *Chlorella vulgaris* ИФР N C-111 на качество воды в прудовом рыбоводстве // Орошаемое земледелие. 2019. N 3. С. 46-49.
27. Мелихов В.В., Фролова М.В., Зибаров А.А., Московец М.В. Экологическая оценка современной биотехнологии улучшения качества поливной воды для агроландшафтов Волго-Донского междуречья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. N 3 (55). С. 94-101. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-03-11
28. Li K., Liu Q., Fang F., Luo R., Lu Q., Zhou W., Huo S., Cheng P., Liu J., Addy M., Chen P., Chen D., Ruan R. Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A review // Bioresource Technology. 2019. V. 291. N 121934. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121934
29. Король Т.С., Мартынов Д.Ю., Новиченко А.И., Новиков А.В., Сумарукова О.В., Лапидовский М.В. Исследование возможности использования микроводоросли *Chlorella vulgaris* в технологических процессах обеззараживания и доочистки сточных вод // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. N 8. С. 34-40.
30. Starovoytov M.K., Medvedeva L.N., Kozenko K.Y., Starovoytova Y.M., Lukyanov G.I., Timoshenko M.A. Rational environmental management: The platform for integration and optimization of resources // Contributions to Economics. 2017. N 9783319454610. P. 347-363. DOI: 10.1007/978-3-319-45462-7\_36
31. Семенов Ю.В., Харламова Т.А., Бодров А.В. Использование микроводоросли – хлореллы для биологической очистки воды от загрязнений нефтепродуктами // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. N 11. С. 168-171.
32. Кружилин И.П., Богданов И.П. Использование штамма *Chlorella vulgaris* для биологической реабилитации сточных вод и загрязненных водоемов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009. N 6. С. 37-38.
33. Глебова И.А., Пономарев А.К., Шатохин М.В. Место России на мировом рынке водорослей // Дельта науки. 2019. N 1. С. 13-15.
34. Никифоров-Никишин А.Л., Шатохин М.В. Развитие мирового рынка аквакультуры // Дельта науки. 2019. N 1. С. 4-6.
35. Отчеты о маркетинговых исследованиях – Отраслевой анализ: Глобальный рынок аквакультуры 2018-2022 гг. URL: <https://www.technavio.com> (дата обращения: 23.01.2020)
36. Федеральный закон «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 02.07.2013 N 148-ФЗ (ред. от 27.12.2019). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_148460/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148460/) (дата обращения: 01.02.2020)
37. Федеральный закон «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 20.12.2004 N 166-ФЗ (ред. от 06.12.2011) URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_50799/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50799/) (дата обращения: 01.12.2019)
38. Odjadjare E.C., Mutanda T., Olaniran A.O. Potential biotechnological application of microalgae: a critical review // Critical Reviews in Biotechnology. 2017. V. 37. Iss. 1. P. 37-52. DOI: 10.3109/07388551.2015.1108956
39. Lagrange V., Whitsett D., Burriss C. Global market for dairy proteins // Journal of Food Science. 2015. V. 80 (S1). P. 16-22. DOI: 10.1111/1750-3841.12801
40. Koyande A.K., Chew W.K., Rambabu K., Tao Y., Chu D-T., Show P-L. Microalgae: A Potential alternative to health supplementation for humans // Food Science and Human Wellness. 2018. V. 8. Iss. 1. P. 16-24. DOI: 10.1016/J.FSHW.2019.03.001
41. Molino A., Iovine A., Casella P., Mehariya S., Chianese S., Cerbone A., Rimauro J., Musmarra D. Microalgae Characterization for Consolidated and New Application in Human Food, Animal Feed and Nutraceuticals // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2018. V. 15. Iss. 2436. DOI: 10.3390/ijerph15112436
42. Минина В., Иванова М., Ганскай Е. Здоровое питание в повседневной жизни россиян // Журнал социологии и социальной антропологии. 2018. N 21 (4). С. 182-202. DOI: 10.31119/jssa.2018.21.4.8
43. Федеральный закон «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» от 24.07.2007 N 209-ФЗ (последняя редакция). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_52144/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52144/) (дата обращения: 03.02.2020)
44. Медведева Л.Н., Ковалев С.П., Медведев А.В. Молодежное предпринимательство в России: основания для выделения бизнес-групп // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Москва, 2017. С. 790-794.
45. Rogachev A., Antamoshkina E. Mathematical modeling of the food-security level using a fuzzy cognitive approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. N 403 012181. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012181
46. Кожевников Ю.А., Чирков В.Г., Щекочихин Ю.М. Культивирование и переработка микроводорослей // Вестник ВИЭСХ. 2015. N 1(18). С. 81-84.
47. Богданов Н.И. Экологические аспекты использования планктонной хлореллы // Материалы II Международной научной конференции «Глобальные экологические проблемы: локальное решение», Москва, 2019. С. 8-11.
48. Медведева Л.Н., Фролова М.В., Московец М.В., Медведев А.В. Внедрение природосберегающих технологий – экологический императив в развитии регионов // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2019. Т. 21. N. 4. С. 126-140. DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2019.4.13
49. Chang J.S., Show P.L., Ling T.C., Chen C.Y., Ho S.H., Tan C.H., Nagarajan D., Phong W.N. 11-Photobioreactors. Cur-

rent Developments in Biotechnology and Bioengineering: Bioprocesses, Bioreactors and Controls. 2017. Chapter 11. P. 313-352. DOI: 10.1016/B978-0-444-63663-8.00011-2

50. Granata T. Dependency of microalgal production on biomass and the relationship to yield and bioreactor scale-up for biofuels: a statistical analysis of 60+ years of algal bioreactor data // *BioEnergy Research*. 2017. V. 10. Iss. 1. P. 267-287. DOI: 10.1007/s12155-016-9787-2

51. Новиков А.Е., Мелихов В.В., Филимонов М.И., Ламскова М.И., Болотин А.Г., Новиков А.А., Каренгина Т.В. Способ водоподготовки. Патент RU 2606779, 2017.

52. Новиков А.Е., Мелихов В.В., Фролова М.В., Московец М.В., Птицына Л.А., Торопов А.Ю. Установка для выращивания хлореллы. Патент RU 191241, 2019.

53. Фролова М.В., Московец М.В., Птицына Л.А., Торопов А.Ю. Хлорелла в рационах перепелов эстонской породы // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2018. N 4 (52). С. 178-184.

54. Медведева Л.Н., Московец М.В., Торопов А.Ю. Медведев А.В. Экопотенциал использования суспензии *Chlorella vulgaris* в перепеловодстве // *Экономика сельского хозяйства России*. 2020. N 5. С. 42-47. DOI: 10.32651/205-42

#### REFERENCES

1. Vernadsky V.I. *Izbrannyye trudy po istorii nauki* [Selected works on the history of science]. Moscow, Nauka Publ., 1981, 360 p. (In Russian)

2. Moiseev N.N. *Ekologiya chelovechestva glazami matematiki* [Ecology of mankind through the eyes of mathematics]. Moscow, Molodaya Gvardiya Publ., 1988, 254 p. (In Russian)

3. Bodrunov S.D. Economy: conceptual framework of a new paradigm of development. *Journal of New Economy*, 2019, vol. 20, pp. 5-12. DOI: 10.29141/2073-1019-2019-20-1-1

4. Bekhtel M. *Budushchee truda. Razmyshleniya, vzglyady, perspektivy* [The Future of work. Reflections, views, perspectives]. Moscow, Goethe Institute Publ., 2000, 267 p. (In Russian)

5. Zherebilov G.Yu. *Sobornaya sobstvennost' kak osnova noonomiki* [Cathedral property as the basis nanomite]. Available at: <https://www.proza.ru/2017/04/06/1130> (accessed 03.02.2020)

6. Roco M., Bainbridge W. *Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*. Kluwer Academic Publishers (currently Springer) Dordrecht, The Netherlands, 2003, 482 p.

7. *Doklad o chelovecheskom razvitiy 2011. Ustoichivoe razvitiye i ravenstvo vozmozhnosti: luchshee budushchee dlya vsekh* [Human development report 2011. Sustainable development and equality of opportunity: a better future for all]. Trans. from the English.; UNDP. Moscow, Whole World Publ., 2011, 188 p. (In Russian)

8. Pearce D.W., Markandya A., Barbier E. *Blueprint for a Green Economy*. Earthscan Publications Limited, 120 Pentonville Road, London NI 9JN, UK, 1989, 192 p.

9. *Budushchee, kotorogo my khotim. Itogovyi dokument Konferentsii OON* [The future we want. Final document of the UN Conference]. Rio de Janeiro, 2012. Available at: <http://www.uncsd 2012.org/> (accessed 20.12.2019)

10. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable

Development and Poverty Eradication. UNEP. 2011. Available at: <http://www.unep.org/greeneconomy> (accessed 15.02.2020)

11. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. UNEP. 2011. Available at: [http://www.gci.org.uk/Documents/Decoupling\\_Report\\_English.pdf](http://www.gci.org.uk/Documents/Decoupling_Report_English.pdf) (accessed 11.10.2019)

12. Daly H. Economics in a Full World. *Scientific American*, 2005, vol. 293, iss. 3, 100 p. DOI: 10.1038/scientificamerican0905-100

13. Melikhov V.V., Novikov A.A., Medvedeva L.N., Komarova O.P. Green technologies: The basis for integration and clustering of subjects at the regional level of economy. *Integration and Clustering for Sustainable Economic Growth. Contributions to Economics*, 2017, pp. 365-382. DOI: 10.1007/978-3-319-45462-7\_37

14. Kolbachev E.B., Medvedeva L.N., Balakai G.T., Pakhomova A.A., Poshushnaya A.S., Belykh D.V. Application of foresight technologies in substantiating the development of land reclamation using resource-saving and energy-efficient technologies. *Vestnik Yuzhno-Rossiiskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. [Bulletin of the South-Russian State Technical University. Series: Socio-economic Sciences]. 2018, no. 3, pp. 24-37. (In Russian)

15. Grossmann L., Hinrichs J., Weiss J. Cultivation and downstream processing of microalgae and cyanobacteria to generate protein-based technofunctional food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, vol. 60, iss. 17, pp. 2961-2989. DOI: 10.1080/10408398.2019.1672137

16. Dineshbabu G., Goswami G., Kumar R., Sinha A., Das D. Microalgae-nutritious, sustainable aqua- and animal feed source. *Journal of Functional Foods*, 2019, vol. 62, pp. 23-31. DOI: 10.1016/j.jff.2019.103545

17. Melikhov V. V. Scientific products of the all-Russian research Institute of irrigated agriculture. *Oroshaemoe zemledelie [Irrigated agriculture]*. 2018, no. 4, pp. 6-7. (In Russian)

18. Abdulgatov I.M., Alkhasov A.B., Dogeev G.D., Tumalaev N.R., Aliev R.M., Badavov G.B., Aliev A.M., Salikhova A.S. Technological application of microalgae in power industry and environmental protection. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 166-183. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-166-183

19. Andrade L.M., Andrade C.J., Dias M., Nascimento C.A.O., Mendes M.A. *Chlorella* and *Spirulina* microalgae as sources of functional foods, nutraceuticals, and food supplements; an overview. *MOJ Food Process Technol.*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 45-58. DOI: 10.15406/mojfpt.2018.06.00144

20. Caporgno M.P., Mathys A. Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. *Front. Nutr.*, 2018, vol. 5, pp. 58-63. DOI: 10.3389/fnut.2018.00058

21. Klyachko-Gurvich G. L., Semenenko V. E. Physiological and biochemical aspects of targeted production of valuable metabolites in conditions of intensive culture of algae. *Trudy Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody [Proceedings of the Moscow society of nature testers]*. 1966, vol. 24, pp. 154-159. (In Russian)

22. Poletaeva N.A., Svyatskaya Yu.A., Trukhina E.V., Ata-

- manyuk I.Yu., Kuznetsova T.A. Kul'tivirovanie biomassy mikrovdorosli Shlorella v klimaticheskikh usloviyakh Sankt-Peterburga [Cultivation of microalgae *Chlorella* biomass in climatic conditions of Saint Petersburg]. *Nedelya nauki SPbPU. Materialy nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Week of science SPbPU Materials of the scientific conference with international participation]. 2017, pp. 150-152. (In Russian)
23. Kotinsky A.V., Chernukhina G.V., Donchenko G.V., Palivoda O.M., Kostenko Yu.V., Stepanenko S.P., Palivoda K.O. Influence of iodine and cobalt salts on the content of biologically active substances in the biomass of spirulina. *Ukr. biokhim. zhurn* [Ukr. Biochim. Journal]. 2004, vol. 76, no. 2, pp. 112-116. (In Russian)
24. Frolova M.V., Moskovets M.V., Pticyna L.A., Toropov A.Yu. *Chlorella* suspension as a biostimulator in feeding young cattle. *Agrarian and food innovations*, 2019, no. 2 (6), pp. 34-39. DOI: 10.31208/2618-7353-2019-6-34-39
25. Shchedrin V.N., Vasilyev S.M., Kolganov A.V., Medvedeva L.N., Kupriyanov A.A. Meliorative institutional environment: The area of state interests. *Espacios*. 2018, vol. 39, no. 12, 28 p.
26. Frolova M.V., Moskovets M.V., Ptitsyna L.A., Toropov A.Yu. Features of the influence of the *Chlorella vulgaris* strain IFR N C-111 on water quality in pond fish farming. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated agriculture]. 2019, no. 3, pp. 46-49. (In Russian)
27. Melikhov V.V., Frolova M.V., Zibarov A.A., Moskovets M.V. Ecological assessment of modern biotechnology for improving the quality of irrigation water for agricultural landscapes of the Volga-don interfluvies. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.*, 2019, no. 3 (55), pp. 94-101. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-03-11
28. Li K., Liu Q., Fang F., Luo R., Lu Q., Zhou W., Huo S., Cheng P., Liu J., Addy M., Chen P., Chen D., Ruan R. Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A review. *Bioresource Technology*, 2019, vol. 291, no. 121934. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121934
29. Korol T.S., Martynov D.Yu., Novichenko A.I., Novikov A.V., Sumarukova O.V., Lapidovsky M.V. Investigation of the possibility of using microalgae *Chlorella vulgaris* in technological processes of disinfection and post-treatment of wastewater. *Vodochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water purification. Water preparation. Water supply]. 2017, vol. 8, pp. 34-40. (In Russian)
30. Starovoytov M.K., Medvedeva L.N., Kozenko K.Y., Starovoytova Y.M., Lukyanov G.I., Timoshenko M.A. Rational environmental management: The platform for integration and optimization of resources. *Contributions to Economics*, 2017, no. 9783319454610, pp. 347-363. DOI: 10.1007/978-3-319-45462-7\_36
31. Semenov Yu.V., Kharlamova T.A., Bodrov A.V. The use of microalgae-*Chlorella* for biological water purification from oil pollution. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining information and analytical Bulletin]. 2012, no. 11, pp. 168-171. (In Russian)
32. Kruzhilin I. P., Bogdanov I. P. Use of *Chlorella vulgaris* strain for biological rehabilitation of wastewater and polluted reservoirs. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences]. 2009, no. 6, pp. 37-38. (In Russian)
33. Glebova I.A., Ponomarev A.K., Shatokhin M.V. Place of Russia in the world market of algae. *Del'ta nauki* [Delta science]. 2019, no. 1, pp. 13-15. (In Russian)
34. Nikiforov-Nikishin A.L., Shatokhin M.V. Development of the world market of aquaculture. *Del'ta nauki* [Delta science]. 2019, no. 1, pp. 4-6. (In Russian)
35. *Otchet o marketingovykh issledovaniyakh – Otrastlevoi analiz: Global'nyi rynek akvakul'tury 2018-2022 gg.* [Market research reports-Industry analysis: Global aquaculture market 2018-2022]. Available at: <https://www.technavio.com> (accessed 23.01.2020)
36. *Federal'nyi zakon «Ob akvakul'ture (rybovodstve) i o vnesenii izmenenii v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi Federatsii» ot 02.07.2013 N 148-FZ (red. ot 27.12.2019)* [Federal law "On aquaculture (fish farming) and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation " dated 02.07.2013 no. 148-FZ (as amended on 27.12.2019)]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_148460/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148460/) (accessed 01.02.2020)
37. *Federal'nyi zakon «O rybolovstve i sokhranении vodnykh biologicheskikh resursov» ot 20.12.2004 N 166-FZ (red. ot 06.12.2011)* [Federal law "On fishing and conservation of aquatic biological resources" dated 20.12.2004 no 166-FZ (as amended on 06.12.2011)]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_50799/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50799/) (accessed 01.12.2019)
38. Odjadjare E.C., Mutanda T., Olaniran A.O. Potential biotechnological application of microalgae: a critical review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2017, vol. 37, iss. 1, pp. 37-52. DOI: 10.3109/07388551.2015.1108956
39. Lagrange V., Whittsett D., Burris C. Global market for dairy proteins. *Journal of Food Science*, 2015, vol. 80 (S1), pp.16-22. DOI: 10.1111/1750-3841.12801
40. Koyande A.K., Chew W.K., Rambabu K., Tao Y., Chu D-T., Show P-L. Microalgae: A Potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, 2018, vol. 8, iss. 1, pp. 16-24. DOI: 10.1016/J.FSHW.2019.03.001
41. Molino A., Iovine A., Casella P., Mehariya S., Chianese S., Carbone A., Rimauro J., Musmarra D. Microalgae Characterization for Consolidated and New Application in Human Food, Animal Feed and Nutraceuticals. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, vol. 15, iss. 2436. DOI: 10.3390/ijerph15112436
42. Minina V., Ivanova M., Ganskau E. Healthy eating in the context of Russians' everyday life. *The Journal of Sociology and Social Anthropology*, 2018, vol. 21(4), pp. 182-202. DOI: 10.31119/jssa.2018.21.4.8
43. *Federal'nyi zakon «O razvitii malogo i srednego predprinimatel'stva v Rossiiskoi Federatsii» ot 24.07.2007 N 209-FZ (poslednyaya redaktsiya)* [Federal law "On the development of small and medium-sized businesses in the Russian Federation " dated 24.07.2007 no. 209-FZ (last edition)]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_52144](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52144) (accessed 03.02.2020)
44. Medvedeva L.N., Kovalev S.P., Medvedev A.V. Youth entrepreneurship in Russia: grounds for selecting business groups. *Rossiia: tendentsii i perspektivy razvitiya. Ezhegodnik* [Russia: trends and prospects for development. Yearbook]. Moscow, 2017. pp. 790-794. (In Russian)
45. Rogachev A., Antamoshkina E. Mathematical modeling of the food-security level using a fuzzy cognitive approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*,

2019. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012181

46. Kozhevnikov Yu.A., Chirkov V.G., Yu. M. Schekochikhin the Cultivation and processing of microalgae. Vestnik VIESKh [Vestnik VIESH]. 2015, vol. 1(18), pp. 81-84. (In Russian)

47. Bogdanov N.I. Ekologicheskie aspekty ispol'zovaniya planktonnoi khlorelly [Ecological aspects of the use of planktonic *Chlorella*]. *Materialy II Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Global'nye ekologicheskie problemy: lokal'noe reshenie»*, Moskva, 2019 [Materials of the II International scientific conference "Global environmental problems: local solution", Moscow, 2019]. Moscow, 2019, pp. 8-11. (In Russian)

48. Medvedeva L.N., Frolova M.V., Moskovets M.V., Medvedev A.V. Introduction of nature-saving technologies – ecological imperative in the development of regions. *Journal of Volgograd State University. Economics*, 2019, vol. 21, no. 4, pp. 126-140. DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2019.4.13

49. Chang J.S., Show P.L., Ling T.C., Chen C.Y., Ho S.H., Tan C.H., Nagarajan D., Phong W.N. 11-Photobioreactors. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Bioprocesses, Bioreactors and Controls*, 2017, Chapter 11, pp. 313-352. Elsevier Inc. DOI: 10.1016/B978-0-444-63663-8.00011-2

50. Granata T. Dependency of microalgal production on biomass and the relationship to yield and bioreactor scale-up for biofuels: a statistical analysis of 60+ years of algal bioreactor data. *BioEnergy Research*, 2017, vol. 10, iss. 1, pp. 267-87. DOI: 10.1007/s12155-016-9787-2

51. Novikov A.E., Melikhov V.V., Filimonov M.I., Lamskova M.I., Bolotin A.G., Novikov A.A., Karengina T.V. *Sposob vodopodgotovki* [Water treatment Method]. Patent RF, no. 2606779, 2017.

52. Novikov A.E., Melikhov V.V., Frolova M.V., Moskovets M.V., Ptitsyna L.A., Toropov A.Yu. *Ustanovka dlya vyrashchivaniya khlorelly* [Installation for growing *Chlorella*]. Patent RF, no. 191241, 2019.

53. Frolova M.V., Moskovets M.V., Ptitsyna L.A., Toropov A.Yu. *Chlorella* in the diets of quail of the Estonian breed. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp]. 2018, vol. 4 (52), pp. 178-184. (In Russian)

54. Medvedeva L.N., Moskovets M.V., Toropov A.Yu, Medvedev A.V. Ecopotential of use *Chlorella vulgaris* suspension in feeding of quails. *Journal of agricultural Economics of Russia*, 2020, no. 5, pp. 42-47. (In Russian) DOI:10.32651/205-42

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Все авторы участвовали в сборе материала, проанализировали данные, написали рукопись и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие этические проблемы.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors were equally involved in collecting the materials, analysing the data and writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism and other ethical transgressions.

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

Виктор В. Мелихов/ Viktor V. Melikhov <https://orcid.org/0000-0002-8240-3385>

Людмила. Медведева/ Lyudmila N. Medvedeva <https://orcid.org/0000-0002-3650-2083>

Мария В. Фролова/ Maria V. Frolova <https://orcid.org/0000-0003-0778-228X>