

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУСПЕНЗИЙ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ХЛОРЕЛЛА И СПИРУЛИНА ДЛЯ БИОСТИМУЛЯЦИИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Е. С. Белокурова , И. А. Панкина , С. В. Волкова 

ORCID

Белокурова Е. С. [0000-0003-3102-7313](https://orcid.org/0000-0003-3102-7313)Панкина И. А. [0000-0002-5981-2076](https://orcid.org/0000-0002-5981-2076)Волкова С. В. [0009-0007-1925-9126](https://orcid.org/0009-0007-1925-9126)

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29,
e-mail: belokurova_es@spbstu.ru

Поступила в редакцию 04.02.2025, принята в печать 24.03.2025

Исследованы биостимулирующие свойства микроводорослей *Chlorella vulgaris* Beijerinck и *Arthrospira platensis* на семенах мягкой яровой пшеницы сорта Лада и ячменя пивоваренного сорта Скарлетт. При этом использованы суспензии микроводорослей, выращенных в лабораторных ферментерах. Проращивали семена в соответствии с требованиями ГОСТ, в чашках Петри при температуре 20 ± 2 °C. Динамику их прорастания оценивали по количеству проклюнувшихся зерен через 24 ч, по энергии прорастания и жизнеспособности. Полученные результаты свидетельствуют о том, что обработанные образцы имели более высокие показатели по энергии прорастания и жизнеспособности (в среднем на 5–7%), чем образцы этих семян, но замоченные и пророщенные в водопроводной воде. Обнаружено фунгистатическое действие растворов микроводорослей. В зернах пшеницы наблюдалось незначительное (до 2%) снижение очагов поражения плесневыми грибами. В зернах ячменя, замоченных и пророщенных в растворах микроводорослей, не выявлено микромицетов, а в зернах, замоченных в водопроводной воде, обнаружены споры мицелиальных грибов, которые активизировались при замачивании семян.

Ключевые слова: микроводоросли, *Chlorella vulgaris* Beijerinck, *Arthrospira platensis*, семена, проращивание, пшеница, ячмень пивоваренный, микромицеты.

USING CHLORELLA AND SPIRULINA MICROALGAE SUSPENSIONS FOR BIOSTIMULATION OF GRAIN SEEDS GERMINATION

Е. С. Belokurova, I. A. Pankina, S. V. Volkova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
195251, St. Petersburg, Politekhnikeskaya St., 29,
e-mail: belokurova_es@spbstu.ru

The biostimulating properties of *Chlorella vulgaris* Beijerinck and *Arthrospira platensis* microalgae were studied on the seeds of soft spring wheat Lada and brewing barley Scarlett. A solution of microalgae grown in laboratory fermenters was used for the study. The seeds were germinated in accordance with GOST requirements in Petri dishes at a temperature of 20 ± 2 °C. The dynamics of seed germination was assessed by the number of seeds that hatched after 24 hours, by the germination energy and viability. The results have shown that the treated seed samples had higher rates of germination energy and seed viability than the untreated seeds soaked and germinated in tap water. At the same time, the solution of *Chlorella vulgaris* Beijerinck was more effective than the solution of *Arthrospira platensis*. A fungistatic effect of the microalgae solutions was manifested as a significant decrease in mold lesions in the wheat seeds. Micromycetes were not detected in barley seeds soaked and germinated in the microalgae solutions, while in seeds soaked in tap water, spores of mycelial fungi were present and activated when the seeds were soaked.

Keywords: microalgae, *Chlorella vulgaris* Beijerinck, *Arthrospira platensis*, seeds, germination, wheat, brewing barley, micromycetes.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время многие промышленные сельхозпроизводители используют стимуляторы, которые активизируют всхожесть посевного материала, корнеобразование и рост. Эти процессы влияют на устойчивость растения к заболеваниям и урожайность продукции растениеводства. Стимуляторы роста растений по происхождению

принято подразделять на две группы: природные и синтетические. К природным стимуляторам роста растений относятся фитогормоны, к синтетическим – их аналоги. Искусственные фитогормоны получают в лабораторных или производственных условиях методом выделения их из различных природных объектов. Чаще всего источниками фитогормонов служат мицелиальные грибы, водоросли, торф. К

препаратам на базе синтетических фитогормонов могут добавлять химические вещества, идентичные природным по основным свойствам (Яхин, 2014).

Хлорелла – род одноклеточных водорослей, относимый к отделу *Chlorophyta*. По внешнему виду хлорелла имеет сферическую форму размером от 2 до 10 мкм в диаметре, без жгутиков. Поскольку хлоропласты хлореллы содержат хлорофилл, она окрашена в ярко-зеленый цвет. В суспензии микроводоросли присутствуют живые клетки хлореллы, способные к размножению, а также различные водорастворимые продукты метаболизма, которые накапливаются в культуральной среде при ее выращивании (Лукьянов и др., 2013; Safi et al., 2014).

Arthrospira platensis – это сине-зеленая цианобактерия, которая размножается при щелочном pH. Спирулина – сине-зеленая водоросль – применяется в традиционной медицине для профилактики аллергических заболеваний, лечения анемий. Более 60% ее веса составляет белок, сбалансированный по незаменимым аминокислотам. В состав спирулины входят также жирные кислоты, витамины и минеральные соли, что способствует формированию иммуномодулирующего и антиоксидантного действия, проявлению тонизирующего эффекта и регуляции обмена веществ (Soni et al., 2017).

На скорость роста микроводорослей и накопление ими продуктов метаболизма большое влияние оказывают биохимический состав питательной среды и условия протекания процесса культивирования: pH, температура, освещенность. Научные исследования последних лет, проведенные в

разных странах, свидетельствуют о том, что в своем составе клетки микроводорослей содержат белки, углеводы, липиды, полиненасыщенные жирные кислоты, витамины, пигменты. Ввиду такого богатого состава они часто служат пищевыми добавками в питании людей, животных, птиц и рыб (Белокурова и др., 2020). Микроводоросли применяют и в качестве удобрения для растений, с целью обогащения почвы и достижения высоких урожаев, для очистки водоемов, сточных вод и в качестве индикатора качества воды. На протяжении последних лет активно изучают процесс использования микроводорослей в качестве источника биотоплива (Beer et al., 2009). Опубликованы исследования, посвященные использованию спирулины и ее ингредиентов в качестве ранозаживляющего средства (Choi et al., 2017). Очевиден тот факт, что микроводоросли и получаемая из них биомасса считают уникальным объектом для широкого спектра применения, как в экологических аспектах, так и в продовольственных, косметических, фармацевтических (Gunes et al., 2017; Pereira et al., 2018; Ovando et al., 2018; Ferro et al., 2019).

Обзор литературных источников показал, что в XXI веке биомасса микроводорослей очень востребована в различных областях. Возможности их использования в тех или иных отраслях промышленности изучал Лукьянов и соавторы (Лукьянов и др., 2013). Культивирование микроводорослей с целью дальнейшего применения накопленной биомассы или продуктов метаболизма, имеющих важное народно-хозяйственное значение, показано на рисунке 1.

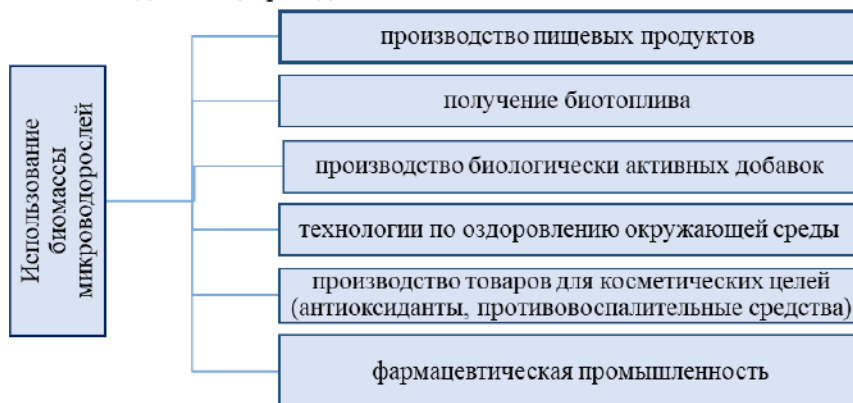


Рис. 1. Использование микроводорослей в разных отраслях промышленности

Главный потребитель биомассы микроводорослей – сельское хозяйство. В частности, хлорелла и спирулина входят в состав различных премиксов, БАД, предназначенных для комбикормов (Becker et al., 2004). В растениеводстве указанные микроводоросли применяют реже, особенно в нашей стране. Это связано прежде всего с тем, что пока в Российской Федерации (РФ) их выращивают в небольших количествах, а потребности рынка покрываются в основном поставками из Китая. Тем не менее во многих исследованиях современных российских ученых речь идет о культивировании различных микроводорослей в промышленных масштабах (Blinkova et al., 2001; Лукьянов и др., 2013; Мещерякова, 2013).

Ряд исследователей полагают, что применение микроводорослей в растениеводстве улучшает рост растений, оказывает положительное влияние на развитие корневой системы, стимулирует более активный процесс цветения и бутонизации, умеренно повышает урожайность, увеличивает время цветения для декоративных растений, при этом срезанные цветы дольше хранятся, лучше транспортируются (Стифеев и др., 2013; Лукьянов и др., 2013; Доброжан и др., 2014). В России выращивают много зерновых культур, поэтому проводят исследования по применению биостимуляторов на зерновых культурах (Вакуленко, 2013).

Вместе с тем использование микроводорослей инициирует развитие полезной микрофлоры в почве.

Обладая антибиотическими свойствами, они подавляют патогенную микробиоту. Существуют сведения о том, что применение микроводорослей сохраняет в почве основные микроэлементы (азот, фосфор, калий, магний, медь), а также удаляет из нее соединения тяжелых металлов, пестициды и радионуклиды (Metting et al., 1986).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Актуальность исследования обусловлена тем, что в течение последних лет большое внимание уделяют биологизации земледелия с помощью внесения в почву микробиологических препаратов. При переводе сельского хозяйства на принципы биологизации нужно решить множество вопросов. Главными из них остаются воспроизводство плодородия почвы на основе преимущественного применения природных факторов, модификация системы мер по защите посевов от вредных объектов, максимальная реализация потенциала агротехнических ресурсов продуктивности и ряд других.

Особенно широкое применение в растениеводстве нашей страны получили одноклеточные прокариотические микроорганизмы, в частности азотфиксирующие ризобактерии и препараты на их основе. Одноклеточные эукариотические микроорганизмы в России пока не слишком распространены.

Цель настоящего исследования – изучить возможность использования суспензий микроводорослей в качестве стимуляторов роста при проращивании семян мягкой яровой пшеницы сорта Лада и ячменя пивоваренного сорта Скарлетт.

Объектами исследования послужили семена наиболее распространенных в России зерновых культур, таких как пшеница и ячмень пивоваренный. Нами исследованы семена мягкой яровой пшеницы сорта Лада и ячменя пивоваренного сорта Скарлетт. Пшеница сорта Лада относится к среднеспелым сортам, включена в Государственный реестр селекционных достижений РФ по Северо-Западному, Центральному и Волго-Вятскому регионам. Ее основное преимущество – быстрый срок созревания и низкая чувствительность к типу почвы. Включена в список ценных по качеству сортов. Хлебопекарные качества мягкой яровой пшеницы сорта Лада характеризуют как хорошие, общая хлебопекарная оценка – 4 балла.

Яровой ячмень пивоваренный сорта Скарлетт включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ по Центральному региону. Это очень устойчивый тип пивоваренного ячменя, с отличными солодовенными и пивоваренными качествами. До настоящего времени самый распространенный и самый востребованный сорт в России. По площадям возделывания занимает первое место.

В качестве ростостимулирующих организмов использованы микроводоросли *Chlorella vulgaris* Beijerinck и *Arthrospira platensis*. Штамм микроводоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijerinck) выбран случайно; обнаружен в естественных условиях обитания на территории РФ, в

Архангельской области. Принятые в работе обозначения: образец 1 – семена, пророщенные на водопроводной воде; образец 2 – семена, пророщенные с использованием суспензии микроводоросли *Chlorella vulgaris* Beijerinck; образец 3 – семена, пророщенные с использованием суспензии микроводоросли *Arthrospira platensis*.

Рассмотрим методы исследования. В частности, использованы водные суспензии микроорганизмов, в которых мы провели замачивание семян и проращивание в соответствии с требованиями ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Контрольными служили образцы, замоченные и пророщенные в водопроводной воде. Принятые в работе обозначения: образец 1 – семена, замоченные в водопроводной воде; образец 2 – семена, замоченные в суспензии *Chlorella vulgaris* Beijerinck; образец 3 – семена, замоченные в суспензии *Arthrospira platensis*.

Исследование проведено в течение двух этапов. На начальной стадии выращивали выбранные культуры микроорганизмов. Культивирование микроводорослей *Chlorella vulgaris* Beijerinck и *Arthrospira platensis* осуществляли периодическим способом в стеклянных фитобиореакторах объемом 1 л. Для поступления смеси газов в биореакторы применены аквариумные воздушные компрессоры. При культивировании уровень поддерживаемой температуры был равен 26 ± 2 °C. Для процесса фотосинтеза микроводорослей необходимо искусственное освещение, которое в данном случае нами проведено с помощью светодиодных ламп. Фотопериод составлял 16:8 ч (день/ночь) (Мещерякова, 2013; Левчук и др., 2021). В процессе культивирования определяли концентрацию азотсодержащих веществ и фосфатов колориметрическим методом и показатель активности водородных ионов в растворе на приборе pH-150МИ. По окончании процесса pH составил 6,5–7,0; концентрации азотсодержащих и фосфорсодержащих ионов: NO_3^- 6–8 мг л⁻¹, PO_4^{3-} 3–5 мг л⁻¹ соответственно.

На втором этапе исследования выполнено проращивание семян. В ходе эксперимента зерна очищали от механических и органических примесей, отсчитывали пять раз по 100 зерен из фракции чистых, которые помещали на фильтровальную бумагу, в чашках Петри, и смачивали водопроводной водой или подготовленными суспензиями. Проращивание проведено при постоянной температуре 20 ± 2 °C. В процессе проращивания осуществляли учет семян, проросших через 24 ч, через 72 ч и после 120 ч. Данный опыт проведен в трех повторностях.

Установлено, что пшеница и ячмень пивоваренный относятся к зерновым культурам, семена которых прорастают несколькими зародышевыми корешками, образуя так называемую вилку. Поэтому при подсчете к числу нормально проросших относили семена, имеющие не менее двух нормально развитых корешков размером более длины семени и росток размером не менее половины его длины с просматривающимися первичными листочками, занимающими не менее половины длины

колеоптиля. У ячменя длину ростка учитывали по его части, которая вышла за пределы цветковых чешуй.

При замачивании и проращивании семян зерновых культур повышается влажность, и в таких условиях активизируются эпифитные микроорганизмы. Наиболее опасны споры плесневых грибов, которые могут использовать питательные вещества зерна и вызывать порчу семенного материала. При поражении семян микромицетами снижаются их показатели качества. Пораженное зерно может оказывать отрицательное влияние на другие семена, вызывая их порчу. Многие микроорганизмы в качестве продуктов метаболизма способны вырабатывать антибиотики или другие биологически активные вещества, например органические кислоты, которые оказывают отрицательное влияние на рост и

развитие микромицетов. Поэтому в данном случае нами проведен учет семян, пораженных плесневыми грибами.

Достоверность научных результатов подтверждена достаточным объемом экспериментальных исследований с использованием современных методов статистической обработки данных, выполненной с применением программного пакета Microsoft Office Excel 2021.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты о количестве семян, проклюнувшихся через 24 ч, об энергии прорастания и о жизнеспособности пшеницы представлены в виде диаграммы на рисунке 2, ячменя пивоваренного – на рисунке 3.

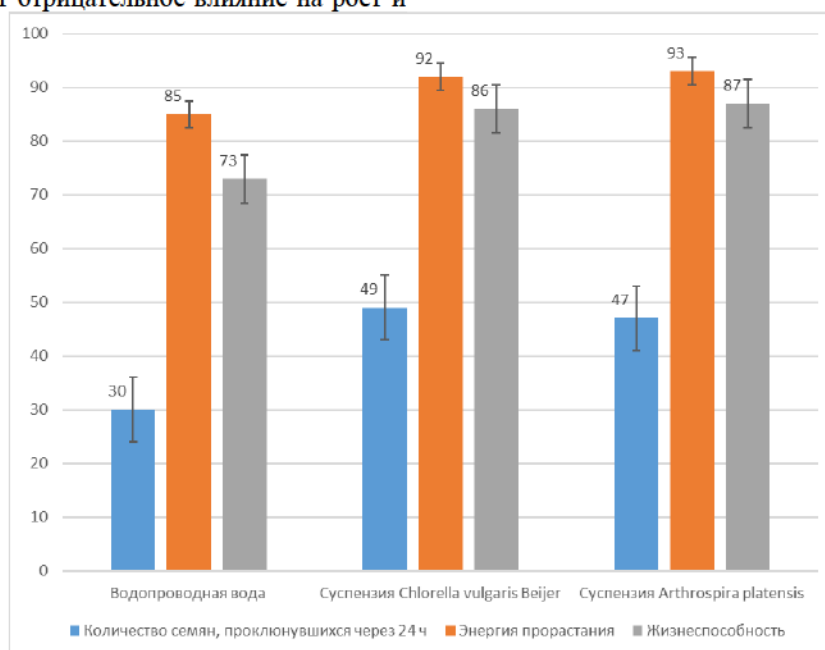


Рис. 2. Результат обработки зерен пшеницы суспензиями микроводорослей

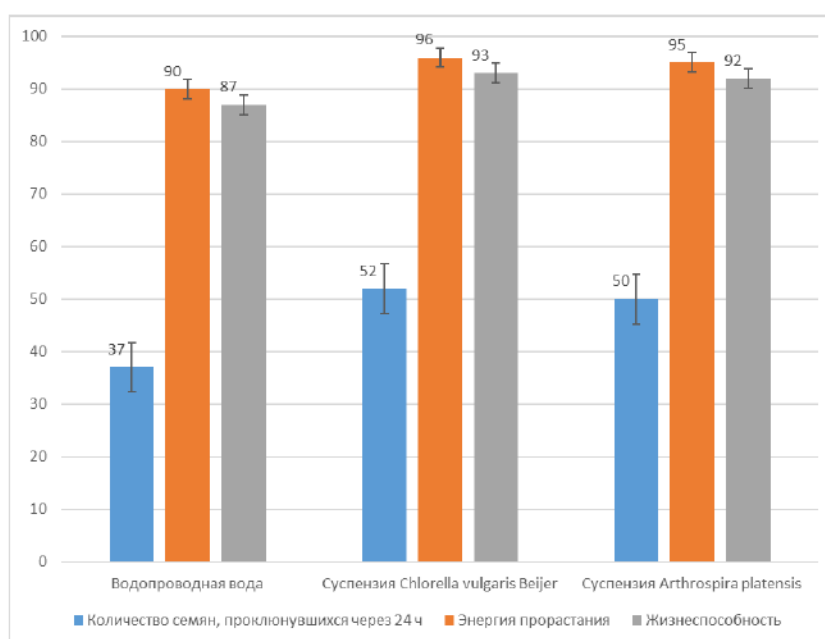


Рис. 3. Результат обработки зерен ячменя пивоваренного суспензиями микроводорослей

Анализ полученных данных показывает, что семена пшеницы сорта Лада оказались чувствительны к обработке их суспензиями микроводорослей. Зерна, замоченные в растворах с клетками микроводорослей, начали интенсивнее прорастать. Различия в показателях энергии прорастания и жизнеспособности для семян, обработанных указанными суспензиями, были незначительными, в пределах 1%. Полагаем, это связано с наличием биологически активных веществ как в клетках микроводорослей, так и в продуктах метаболизма, выделяемых микроводорослями и содержащихся в культуральной жидкости.

Анализ представленных на рисунке 3 данных свидетельствует о том, что семена ячменя пивоваренного сорта Скарлетт также положительно отреагировали на обработку их суспензиями микроводорослей. Обнаружено, что суспензия *Chlorella vulgaris* Beijerinck оказалась более эффективной, чем суспензия *Arthrospira platensis*. Это можно объяснить тем, что семена проращивали при температуре 20 ± 2 °C. Микроводоросль хлорелла более приспособлена к низким температурам, а спирулина культивируется при более высоких температурах. По результатам многочисленных лабораторных исследований установлено, что она хорошо растет при $33\text{--}35$ °C.

Сравнительный анализ рисунков 2 и 3 позволяет сделать вывод о том, что суспензии микроводорослей на семена ячменя пивоваренного оказали более значимое влияние, чем на семена пшеницы, в среднем на 5–7% по показателю энергии прорастания и показателю жизнеспособности. Положительное влияние на рост и развитие зародыша семян зерновых культур происходит ввиду присутствия в суспензиях микроводорослей множества биологически активных веществ, которые служат регуляторами роста и развития: ауксины и гиббереллины, фенольные соединения, природные стероиды, витамины, аминокислоты; активаторы клеточного деления (цитокинины) (Demorais et al., 2015).

При замачивании семян зерновых культур значительно увеличивается влажность, создаются благоприятные условия для роста и размножения различных микроорганизмов из эпифитной микробиоты зерна. В растениеводстве наиболее опасны плесневые грибы, которые могут поражать здоровые растения и вызывать их гибель. Споры грибов часто оказываются на поверхности семян, попадая на них из любых объектов окружающей среды, преимущественно из почвы. При благоприятных условиях, которые созданы при замачивании, споры микромицетов начинают прорастать и вызывают порчу зерна. В процессе проведения экспериментов нами учтено количество семян, пораженных мицелиальными грибами.

В случаях проращивания зерен пшеницы в водопроводной воде и суспензиях микроводорослей

стало очевидным, что суспензия хлореллы и суспензия спирулины ингибировали рост плесневых грибов, их количество уменьшилось с 4 до 2%. Но не все грибы уничтожены.

При проращивании зерен ячменя получен аналогичный результат, но эффект оказался более выраженным, поскольку в зернах, замоченных с применением суспензий микроводорослей, не обнаружено микромицетов. Вместе с тем в семенах, замоченных в водопроводной воде, было около 1% семян с плесневыми грибами. Это можно объяснить тем, что в микроводорослях содержится природный антибиотик хлореллин, уничтожающий патогенную микрофлору (Amaro et al., 2011).

Проведенное исследование позволяет рекомендовать использование суспензий микроводорослей к более широкому применению в промышленном растениеводстве на стадии проращивания семян.

ВЫВОДЫ

Исследованные образцы пшеницы сорта Лада и ячменя пивоваренного сорта Скарлетт показали хорошую чувствительность к обработке их семенного материала суспензиями микроводорослей. У обработанных образцов прослеживаются более высокие показатели энергии прорастания и жизнеспособности (до 5–7%) по сравнению с контрольными образцами. Использование суспензий микроводорослей хлорелла и спирулина на стадии замачивания, проращивания семян пшеницы и ячменя примерно на 2% уменьшило обсемененность зерна микромицетами, что положительно отразилось на скорости прорастания семян. У семян, обработанных суспензиями микроорганизмов, значительно возросла энергия прорастания, достигнув 96%.

Микроводоросль хлорелла штамма *Chlorella vulgaris* Beijerinck успешно развивается при температуре замачивания и проращивания семян зерновых культур, поэтому ее использование для этих целей предпочтительнее. Применение микроводорослей для обработки семенного материала можно рассматривать как один из элементов биологизации земледелия, поскольку живые микроводоросли вместе с посевным материалом попадают в почву, продолжая в ней жизнедеятельность и обогащая ее продуктами метаболизма, среди которых много биологически активных веществ.

Микроводоросль хлорелла штамма *Chlorella vulgaris* Beijerinck наиболее выгодна для отечественных сельхозпроизводителей, так как в нашей стране преобладают климатические пояса с более низкими среднегодовыми температурами. Указанная микроводоросль активно размножается даже в северных широтах, в условиях относительно низких среднегодовых температур почвы, то есть в зонах рискованного земледелия.

Список литературы

- Белокурова Е. С., Левчук О. Р. Перспективы использования *Chlorella vulgaris* в производстве кормов для индустриального рыбоводства. // Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 134–138.
- Вакулenco В.В. Применение регуляторов роста на зерновых культурах // Зерновое хозяйство России. 2013. № 3. С. 36–38.
- Доброжан С. Н., Шалару В. В., Шалару В. М., Стратулат И. И., Семенюк Е. Н. Использование некоторых видов синезеленых азотфиксирующих водорослей в качестве биологического удобрения // Альгология. 2014. Т. 24. № 3. С. 426–429.
- Левчук О. Р., Кузьмина Д. Р. Направленное культивирование микроводоросли *Chlorella vulgaris beijeirinc* // «Биотехнологии и безопасность в техносфере»: сборник материалов Всероссийской конференции. 21–22 апреля 2021. Ч. 1. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. С. 62–64.
- Лукьянов В. А., Стифеев А. И., Горбунова С. Ю. Научно обоснованное культивирование микроводорослей // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 9. С. 55–57
- Мещерякова Ю. В. Культивирование микроводоросли хлореллы // Наука в центральной России. 2013. № 2. С. 56–59.
- Стифеев А. И., Лукьянов В. А., Бессонова Е. А., Косинова Н. В., Ежицкая Ю. А. Агроэкологическая оценка применения микроводоросли хлореллы в АПК // Актуальные проблемы агропромышленного производства: мат. Международной научно-практической конференции (Курск, 25 января 2013 г.). Курск: 2013. С. 51–55.
- Яхин О. И., Лубянов А. А., Яхин И. А. Современные представления о биостимуляторах // Агрохимия. 2014. № 7. С. 85–90.
- Amaro H.M., Guedes A.C., Malcata F.X. Antimicrobial activities of microalgae: an invited review. In: Méndez-Vilas A Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances // Formatex Res. Cent, Spain. 2011. Vol. 1. No. 3. PP. 1272–1280.
- Becker W., Belay A., Ota Y., Miyakawa K., Shimamatsu H. Microalgae in human and animal nutrition. Current knowledge on potential health benefits of Spirulina. // J. Appl. Phycol. 2004. No. 5. PP. 235–241.
- Blinkova L.P., Gorobets O.B., Baturo A.P. Biological activity of Spirulina // Zh Mikrobiol Epidemiol Immunobiol. 2001. Vol. 3. No. 7. Pp. 114–118.
- Choi J. I., Kim M. S., Chun G. Y., & Shin, H. S. (2017). Spirulina extract-impregnated alginate-PCL nanofiber wound dressing for skin regeneration // Biotechnology and Bioprocess Engineering. 2017. Vol. 22. PP. 679–685. <https://doi.org/10.1007/s12257-017-0329-3>
- Demorais M.G., Silva Vaz B.D., Demorais E.G., Vieira Costa J.A. Biologically active metabolites synthesized by microalgae // BioMed Res. Inter. 2015. Vol. 3. No. 15. PP. 65–68.
- Ferro L., Colombo M., Posadas E., Funk C., Muñoz R. Wastewater treatment and biomass generation by Nordic microalgae Growth in subarctic climate and microbial interactions. J. App.Phyc. 2019. V. 31. No. 4. PP. 2299–2310. DOI: 10.1007/s10811-019-1741-1.
- Gunes S., Tamburaci S., Dalay M.C., Gurhan I.D. In Vitro Evaluation of Spirulina Platensis Extract Incorporated Skin Cream with Its Wound Healing and Antioxidant Activities // Pharm. Biol. 2017. Vol. 55. PP. 1824–1832.
- Metting B., Pyne J.W. Biologically active compounds from microalgae // Enzyme and Microb. Technol. 1986. Vol. 18. No. 3. PP. 386–394.
- Ovando C.A., de Carvalho J.C., Vinicius de Melo Pereira G., Jacques P., Soccol V.T., Soccol C.R. Functional Properties and Health Benefits of Bioactive Peptides Derived from Spirulina: A Review. Food Rev. Int. 2018, 34, 34–51.
- Pereira, L. Seaweeds as Source of Bioactive Substances and Skin Care Therapy – Cosmeceuticals, Algothoraphy, and Thalassotherapy. Cosmetics 2018, 5, 68.
- Safi C., Zebib B., Merah O., Pontalier P.Y., Vaca-Garcia C. Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris* // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 35. PP. 265–278. DOI: 10.1016/j.rser.2014.04.007
- Soni R.A., Sudhakar K., Rana R.S. Spirulina – from growth to nutritional product: a review // Trends Food Sci. Technol. 2017. Vol. 5. No. 8. PP. 157–171.

References

- Belokurova Ye. S., Levchuk O. R. Perspektivi ispolzovaniya Chlorella vulgaris v proizvodstve kormov dlya industrialnogo ribovodstva [Prospects for the use of Chlorella vulgaris in the production of feed for industrial fish farming] // V sbornike: Bezopasnost i kachestvo selskokhozyaistvennogo sirya i prodovolstviya. Sbornik statei Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 2020, pp. 134–138
- Vakulenco V. V. Primenenie regulyatorov rosta na zernovikh kulturakh [Application of growth regulators to white straw crops] // Zernovoe khozyaistvo Rossii, 2013, no. 3, pp. 36–38.

- Dobrozhan S. N., Shalaru V. V., Shalaru V. M., Stratulat I. I., Semenyuk E. N. Ispol'zovanie nekotorykh vidov sinezelenykh azotfiksiruyushchih vodoroslej v kachestve biologicheskogo udobreniya [Use of some types of blue-green nitrogen-fixing algae as biological fertilizer] // *Al'gologiya*, 2014, vol. 24, no. 3, pp. 426–429.
- Levchuk O. R., Kuzmina D. R. Napravlennoe kultivirovanie mikrovodorosli *Chlorella vulgaris beijeirick* [Directed cultivation of the microalga *Chlorella vulgaris beijeirick*] // «*Biotehnologii i bezopasnost v tekhnosfere*»: sbornik materialov Vserossiiskoi konferentsii. 21–22 aprelya 2021. Ch. 1. SPb.: POLITEKh-PRESS, 2021. PP. 62–64.
- Lukyanov V. A., Stifeev A. I., Gorbunova S. Yu. Nauchno obosnovannoe kultivirovanie mikrovodoroslei [Scientifically based cultivation of microalgae] // *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi selskokhozyaistvennoi akademii*, 2013, no. 9, pp. 55–57.
- Meshcheryakova Yu. V. Kultivirovanie mikrovodorosli khlorella [Cultivation of microalgae chlorella] // *Nauka v tsentralnoi Rossii*, 2013, no. 2, pp. 56–59.
- Stifeev A. I., Luk'yanov V. A., Bessonova E. A., Kosinova N. V., Ezhickaya Yu. A. Agroekologicheskaya ocenka primeneniya mikrovodorosli hlorelly v APK [Agroecological assessment of the use of microalgae chlorella in the agro-industrial complex] // *Aktual'nye problemy agropromyshlennogo proizvodstva: mat. mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Kursk, 25 yanvarya 2013 g.)*. Kursk, 2013, pp. 51–55.
- Yakhin O. I., Lubyantsov A. A., Yakhin I. A. Sovremennye predstavleniya o biostimulyatorakh [Modern concepts of biostimulants] // *Agrokimiya*, 2014, no. 7, pp. 85–90.
- Amaro H.M., Guedes A.C., Malcata F.X. Antimicrobial activities of microalgae: an invited review. In: Méndez-Vilas A Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances // *Formatex Res. Cent, Spain*. 2011. Vol. 1. No. 3. PP. 1272–1280.
- Becker W., Belay A., Ota Y., Miyakawa K., Shimamatsu H. Microalgae in human and animal nutrition. Current knowledge on potential health benefits of Spirulina. // *J. Appl. Phycol*. 2004. No. 5. PP. 235–241.
- Blinkova L.P., Gorobets O.B., Baturo A.P. Biological activity of Spirulina // *Zh Mikrobiol Epidemiol Immunobiol*. 2001. Vol. 3. No. 7. Pp. 114–118.
- Choi J. I., Kim M. S., Chun G. Y., & Shin, H. S. (2017). Spirulina extract-impregnated alginate-PCL nanofiber wound dressing for skin regeneration // *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 2017. Vol. 22. PP. 679–685. <https://doi.org/10.1007/s12257-017-0329-3>
- Demorais M.G., Silva Vaz B.D., Demorais E.G., Vieira Costa J.A. Biologically active metabolites synthesized by microalgae // *BioMed Res. Inter*. 2015. Vol. 3. No. 15. PP. 65–68.
- Ferro L., Colombo M., Posadas E., Funk C., Muñoz R. Wastewater treatment and biomass generation by Nordic microalgae Growth in subarctic climate and microbial interactions. *J. App.Phyc*. 2019. V. 31. No. 4. PP. 2299–2310. DOI: 10.1007/s10811-019-1741-1.
- Gunes S., Tamburaci S., Dalay M.C., Gurhan I.D. In Vitro Evaluation of Spirulina Platensis Extract Incorporated Skin Cream with Its Wound Healing and Antioxidant Activities // *Pharm. Biol*. 2017. Vol. 55. PP. 1824–1832.
- Metting B., Pyne J.W. Biologically active compounds from microalgae // *Enzyme and Microb. Technol*. 1986. Vol. 18. No. 3. PP. 386–394.
- Ovando C.A., de Carvalho J.C., Vinicius de Melo Pereira G., Jacques P., Soccol V.T., Soccol C.R. Functional Properties and Health Benefits of Bioactive Peptides Derived from Spirulina: A Review. *Food Rev. Int*. 2018, 34, 34–51.
- Pereira, L. Seaweeds as Source of Bioactive Substances and Skin Care Therapy – Cosmeceuticals, Algothrapy, and Thalassotherapy. *Cosmetics* 2018, 5, 68.
- Safi C., Zebib B., Merah O., Pontalier P.Y., Vaca-Garcia C. Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris* // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 35. PP. 265–278. DOI: 10.1016/j.rser.2014.04.007
- Soni R.A., Sudhakar K., Rana R.S. Spirulina – from growth to nutritional product: a review // *Trends Food Sci. Technol*. 2017. Vol. 5. No. 8. PP. 157–171.