

На правах рукописи

Абакумова Наталья Викторовна

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БИОПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ
МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ
ПОЧВА-РАСТЕНИЕ**

Специальность 1.5.15 – Экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Красноярск – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Кураченко Наталья Леонидовна

Официальные оппоненты: **Зубкова Татьяна Владимировна**,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Елецкий государственный университет
имени И.А. Бунина», заведующий кафедрой
агротехнологий, хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции»

Горбунова Светлана Юрьевна,
кандидат биологических наук, Федеральное
государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Институт
биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
старший научный сотрудник отдела биотехнологии и
фиторесурсов

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Курский федеральный аграрный научный
центр»

Защита состоится «04» июня 2026 г. в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 99.0.134.02 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» и Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» по адресу: 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50, тел.: +7(391)243-45-12, e-mail: ds99013402@ksc.krasn.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках ФИЦ КНЦ СО РАН и ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ и сайтах: <http://ksc.krasn.ru>, <https://www.kgau.ru>.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2026 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Ульянова
Ольга Алексеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Продовольственная и экологическая проблемы в списке глобальных угроз человечеству имеют наибольшее влияние на стратегические планы развития большинства государств. Недостаток продовольствия на планете усугубляется глобальными изменениями в биосфере. Внедрение методов биологизации, направленных на восстановление плодородия почв - решение проблемы. Альгологические препараты позволяют осуществить комплексный подход к проблеме восстановления почвы и эффективности сельскохозяйственного производства.

Микроводоросли *Chlorella* и *Arthrospira* считаются наиболее перспективными благодаря высокой пищевой ценности, широкой толерантности к изменениям внешней среды и продуцентной роли в экосистеме (Шалыго, Мельников, 2009; Abreu et al., 2023). Агроэкологическая оценка препаратов на основе микроводорослей и изучение возможностей их применения при возделывании сельскохозяйственных культур с целью повышения продукционного потенциала системы почва-растение является актуальным исследованием. Необходимо выявление эффективных видов; развитие технологий для масштабного культивирования; оценка форм препаратов и сроков внесения, эффекта от альголизации почв в различных климатических зонах.

Степень разработанности темы исследования. Установлено, что водоросли способны улучшать физико-химический режим почв и повышать содержание органического вещества в них и водоудерживающую способность (Голлербах, 1969). Развиваясь на поверхности почв в массовых количествах, микроводоросли могут поглощать большое количество минеральных солей, что предохраняет их от вымывания из почвы, так как после отмирания клеток эти вещества становятся доступными для корней высших растений (Лукьянов, Стифеев, 2014). Позитивное влияние *Chlorella* и *Arthrospira* на рост, развитие, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции показано многими исследователями (Abreu et al., 2023; Доброжан и др., 2014; Тренкеншу, 1999; Лукьянов, 2008). Рынок биомассы микроводорослей в мире ежегодно увеличивается. При этом менее 5 % от общего объема произведенных микроводорослей используется в сельском хозяйстве (Abreu et al., 2023). Необходимо решение ряда проблем в этом направлении: выявление наиболее эффективных видов, штаммов и их сочетания; развитие технологий для масштабного экономически эффективного культивирования; выбор дешевых и безопасных носителей, а также оценка форм препаратов и сроков внесения; оценка пролонгированного эффекта от альголизации почв в различных климатических зонах и экологической безопасности.

Цель исследования - оценка влияния биопрепаратов на основе микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis* на плодородие почв и повышение продуктивности сельскохозяйственных культур.

Основные задачи исследования:

1. Разработать технологию получения биопрепаратов на основе инокулята микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis*.
2. Оценить действие форм биопрепаратов на продуктивность овощных культур в лабораторных и полевых условиях.
3. Исследовать влияние сроков применения биопрепаратов на основе *Chlorella vulgaris* на свойства агроценоза и урожайность яровой пшеницы.
4. Оценить эффективность применения форм биопрепаратов на основе микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis* на систему почва-растение при возделывании яровой пшеницы.

5. Определить влияние абиотических факторов на продуктивность яровой пшеницы при применении биопрепаратов на основе микроводорослей.

Научная новизна исследования. Разработаны экспериментальные формы биопрепаратов с микроводорослями в виде суспензии *Chlorella vulgaris*, сухой формы (гранула) *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis*. Получены новые материалы, подтверждающие ростостимулирующую роль микроводорослей и возможности их применения при возделывании сельскохозяйственных культур. Впервые в условиях Красноярской лесостепи оценено действие сроков и форм применения биопрепаратов на основе микроводорослей на изменение основных показателей плодородия агрочернозема и повышение урожайности яровой пшеницы.

Теоретическая значимость работы. Полученные результаты расширяют представление о возможности управления плодородием агрочерноземов земледельческой зоны Красноярского края за счет альголизации. Они являются научной основой для обоснования агротехнологий, замещающих функции природных экосистем и управления их устойчивым функционированием.

Практическая значимость работы. Материалы диссертации служат основой рационального землепользования и позволяют определить агроэкологическую роль микроводорослей в повышении продуктивности системы «почва-растение». Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Агропочвоведение», «Агрохимия» (для направлений 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия») и «Управление плодородием почв», «Устойчивость почв» (для направления 35.04.03 «Агрохимия и агропочвоведение»).

Методология и методы исследования. Методология базировалась на анализе научной литературы отечественных и зарубежных авторов. В работе использованы общепринятые лабораторные и полевые методы исследований, стандартные методы статистической обработки данных.

Защищаемые положения:

1. Формы биопрепаратов в виде суспензии *Chlorella vulgaris* и гранулы *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis* обладают близкой биологической и агроэкологической эффективностью и являются существенным регулятором системы «почва-растение».

2. Биопрепараты на основе микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis* при применении их на сельскохозяйственных культурах обладают ростостимулирующим действием, определяют регулирование агрофизического состояния почв, трансформацию углерода и азота, обеспеченность подвижными элементами питания за счёт усиления минерализационных процессов и повышение продуктивности агроэкосистемы.

Апробация работы. Материалы диссертации опубликованы в 11 научных работах, в том числе в изданиях «Перечня...» ВАК РФ – 2. Результаты исследований представлялись и обсуждались на конференциях: XII, XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные тенденции развития Российской науки» (Красноярск, 2022, 2023); IV Всероссийской конференции молодых ученых АПК (п. Рассвет, 2022); Всероссийской научной конференции VII Докучаевские молодежные чтения «Устойчивость почвенного покрова и продуктивность экосистем» (Красноярск, 2022); Межрегиональной научной конференции VIII Докучаевские молодежные чтения «Устойчивость почвенного покрова и продуктивность экосистем» (Красноярск, 2023); Международной научно-практической конференции «Перовские чтения» (Чита, 2025); XIX Всероссийской студенческой научной конференции «Студенческая наука – взгляд в будущее» (Красноярск, 2024); XX Международной

научно-практической конференции «Актуальные проблемы почвоведения, экологии, земледелия» (Курск, 2025).

Структура диссертационной работы. Диссертация изложена на 274 страницах, включая 33 таблицы, 83 рисунка, 13 приложений. Состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы, который представлен 359 источниками, в том числе 79 на иностранном языке.

Личный вклад автора. Диссертация является результатом исследований автора, проведенных в 2021 - 2024 гг. Автором лично получена большая часть научных результатов. Выполнен анализ отечественной и зарубежной литературы, проведены лабораторные, микрополевые и полевые исследования, статистическая обработка данных и публикации научных материалов. В соавторстве с Т.А. Назаренко, А.М. Ковалем, Д.А. Варгановой, Е.И. Дымченко, Д.Д. Бураком получены результаты по влиянию микроводорослей на содержание гумусовых веществ, гидролизуемых форм азота, реакцию среды, биологическую активность почвы, структурное состояние и режим нитратного азота в агрочерноземе. Материалы по определению действия биопрепаратов на основе культуры микроводоросли *Chlorella vulgaris* на ростовые процессы сельскохозяйственных культур в начальной стадии развития, продуктивность томата и яровой пшеницы интерпретированы совместно с Н.Л. Кураченко; по уреазной активности агрочернозема – совместно с Н.В. Фоминой и Н.Л. Кураченко.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю доктору биологических наук, профессору Н.Л. Кураченко за ценные советы, профессиональные консультации и научную строгость, коллективу кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» за практическую помощь и поддержку на всех этапах выполнения работы.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В главе рассмотрены современные подходы к биологизации земледелия и использованию микроводорослей в этих целях. Приведён анализ экологической роли микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis* (далее *C. vulgaris* и *A. platensis*), и результаты научных исследований по их применению в растениеводстве в качестве удобрений. Подробно охарактеризованы особенности химического состава биомассы, метаболиты и физиолого-биохимические свойства этих микроорганизмов.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в 2021-2024 гг. на базе кафедры почвоведения и агрохимии и учебно-опытного хозяйства «Миндерлинское» Красноярского государственного аграрного университета. В рамках исследования проведены лабораторные, микрополевые и полевые опыты.

2.1 Объекты и методика проведения исследований. *Исследования по оценке действия культуры микроводоросли на ростовые процессы в начальной стадии развития сельскохозяйственных культур проведены в лабораторном опыте № 1.* Объектами исследования явились семена яровой пшеницы сорта Новосибирская 31, редиса Жара, кресс-салата Дукат и биопрепарат - 1 % раствор суспензии *C. vulgaris*.

Лабораторный опыт провели по схеме: 1. Вода (контроль); 2. Культура *C. vulgaris* (1 % раствор).

Оценка влияния биопрепаратов на основе микроводоросли *C. vulgaris* на физиологические и биометрические показатели растений кабачка и огурца проведена в лабораторном опыте № 2. Объектами исследования являлись огурцы сорта Изящный, кабачки сорта Ролик и 1 % раствор культуры *C. vulgaris*. Схема лабораторного опыта включала следующие варианты: 1. Вода (контроль); 2. Культура *C. vulgaris* (1 % раствор).

Исследования по оценке влияния биопрепаратов на основе микроводорослей *C. vulgaris* и *A. platensis* на физиологические и биометрические показатели растений огурца проведены в лабораторном опыте № 3. Объектами исследования явились огурцы сорта Изящный, биопрепараты на основе суспензии микроводоросли *C. vulgaris* и цианобактерии *A. platensis* в жидкой форме и в виде гранул. Исследования проведены по следующей схеме: 1. Контроль (вода); 2. Замачивание семян 1 % раствором суспензии *C. vulgaris*; 3. Замачивание семян 1 % раствором суспензии *C. vulgaris* и 2-х кратное опрыскивание надземной части 1 % раствором *C. vulgaris*; 4. Замачивание семян 1 % раствором суспензии *C. vulgaris* и *C. vulgaris* гранулы (при посеве); 5. Замачивание семян 1 % раствором суспензии *C. vulgaris* + *C. vulgaris* и *A. platensis* гранулы (при посеве); 6. Замачивание семян 1 % раствором суспензии *C. vulgaris* + *A. platensis* гранулы (при посеве); 7. 2-х кратное опрыскивание надземной части 1 % раствором *C. vulgaris*; 8. Гранулы *C. vulgaris* (при посеве); 9. Гранулы *C. vulgaris* и *A. platensis* (при посеве); 10. Гранулы *A. platensis* (при посеве).

Микрополевой опыт по изучению способов применения биопрепаратов на основе культуры микроводоросли *C. vulgaris* на продуктивность томата проведен в 2022-2023 гг. в Красноярской лесостепи. Объектом исследования является агросерая лесная типичная почва, биопрепараты на основе культуры *C. vulgaris* и томаты сорта Петруша огородник. Микрополевой опыт проводили по следующей схеме: 1. Контроль (замачивание семян водой); 2. Замачивание семян 1 % раствором суспензии культуры *C. vulgaris*; 3. Замачивание семян 1 % раствором суспензии культуры *C. vulgaris* + опрыскивание 1 % раствором суспензии культуры *C. vulgaris* в фазу 5-ти настоящих листьев; 4. Замачивание семян 1 % раствором суспензии культуры *C. vulgaris* + внесение гранул с культурой *C. vulgaris* при пикировке растений.

Полевой опыт № 1 по изучению влияния сроков применения 1 % суспензии и термически обработанной суспензии *C. vulgaris* на свойства агрочернозема и урожайность яровой пшеницы проведен в 2021 году в учебно-опытном хозяйстве Красноярского государственного аграрного университета «Миндерлинское» в Красноярской лесостепи. Объект исследования – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный, яровая пшеница сорта Новосибирская 31, биопрепараты на основе микроводоросли *C. vulgaris*. Схема полевого опыта включала в себя следующие варианты: 1. Контроль (химическая защита - фон); 2. Фон + суспензия *C. vulgaris* (1-кратная); 3. Фон + суспензия *C. vulgaris* (2-х-кратная); 4. Фон + суспензия *C. vulgaris* (3-х-кратная); 5. Фон + суспензия *C. vulgaris* термически обработанная (1-кратная); 6. Фон + суспензия *C. vulgaris* термически обработанная (2-х-кратная); 7. Фон + суспензия *C. vulgaris* термически обработанная (3-х-кратная).

В полевом опыте № 2 выполнены исследования по агроэкологической оценке влияния форм биопрепаратов на основе микроводорослей *C. vulgaris* и *A. platensis* на систему почва-растение. Исследования проведены в 2022-2023 гг. в учебно-опытном хозяйстве «Миндерлинское». Объект исследования – агрочернозем глинисто-

иллювиальный типичный, яровая пшеница сорта Новосибирская 31, биопрепараты на основе микроводоросли *C. vulgaris* и цианобактерии *A. platensis* в виде суспензии и гранул. Схема опыта включала в себя следующие варианты: 1. Контроль (химическая защита - фон); 2. *C. vulgaris* (2-х-кратная обработка посевов 1 % раствором); 3. *C. vulgaris* (гранулы при посеве); 4. *C. vulgaris* + *A. platensis* (гранулы при посеве); 5. *A. platensis* (гранулы при посеве).

2.2 Методы аналитических исследований. Основные показатели по характеристике почв получены при помощи общепринятых методов: общая влага термовесовым методом (Практикум..., 1986); структурный состав по Н.И. Саввинову (Методическое..., 1986); плотность сложения по методу Н.А. Качинского (Александрова, 1967); реакция почвенного раствора ионометрическим методом (ГОСТ 26423-85); сумма обменных оснований по методу Каппена (ГОСТ 27821-88); общий углерод гумуса по Тюрину (Аринушкина, 1970); водорастворимые соединения гумуса методом бихроматной окисляемости по Тюрину (Аринушкина, 1970); щелочегидролизующие соединения гумуса (C_{NaOH} и в его составе Сгк и Сфк) по И.В. Тюрину в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (1980); валовой азот (ГОСТ 26107-84); нитратный азот (ГОСТ 26488-85); аммонийный азот (ГОСТ 26489-85); легкогидролизующий и трудногидролизующий азот по методу Корнфильда (Аринушкина, 1970); подвижный фосфор (ГОСТ 26204-91); обменный калий (ГОСТ 26204-91); потенциальное почвенное дыхание в лабораторных условиях при экспозиции 24 часа (Биодиагностика почв..., 2002); уреазы по методике Щербаковой и ЦИНАО (Хазиев, 2005; Наими, 2019); каталазы по методу Джонсона и Темпле (Хазиев, 2005); протеазы по методу Гоффманна и Тейхера (Гоффман, Тейхер, 1957). Показатели по химическому составу растительных образцов получены при помощи следующих методов: нитраты нитратометром «Созкс», сухого вещества (ГОСТ 28561-90); сахара по М 04-69-2011; витамин С по М 04-86-2016 на системе капиллярного электрофореза Капель-105М; хлорофилл А и Б (Воробьев и др., 2013); чистая продуктивность фотосинтеза (Воробьев и др., 2013). Статистический анализ результатов проводили с использованием стандартного программного пакета Microsoft Excel.

2.3 Погодные условия в годы проведения исследований. Погодные условия, складывающиеся в Красноярской лесостепи в период проведения полевых и микрополевых опытов, отличались по годам. Вегетационный сезон 2021 года характеризовался как теплый и влагообеспеченный, 2022 года - теплый и влагообеспеченный с неравномерным выпадением осадков. Условия вегетационного сезона 2023 года были засушливыми, а температура, превышала среднемноголетние значения.

ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ИНОКУЛЯТА МИКРОВОДОРОСЛИ *C. VULGARIS* И ЦИАНОБАКТЕРИИ *A. PLATENSIS*

В ходе исследований разработана технология получения биопрепаратов в двух формах: суспензии *C. vulgaris* с карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ) и гранул на основе крахмала холодного набухания с *C. vulgaris* и *A. platensis* (рисунок 1). В процессе культивирования микроорганизмов в накопительном режиме с использованием питательных сред Тамия и Зарукка установлено, что суспензия микроводорослей, иммобилизованная в жидкий гель на основе КМЦ, сохраняет жизнеспособность клеток

до трех лет, включая устойчивость к замораживанию. Гранулы обеспечивают равномерное внесение с семенами и быстро растворяются в почве.

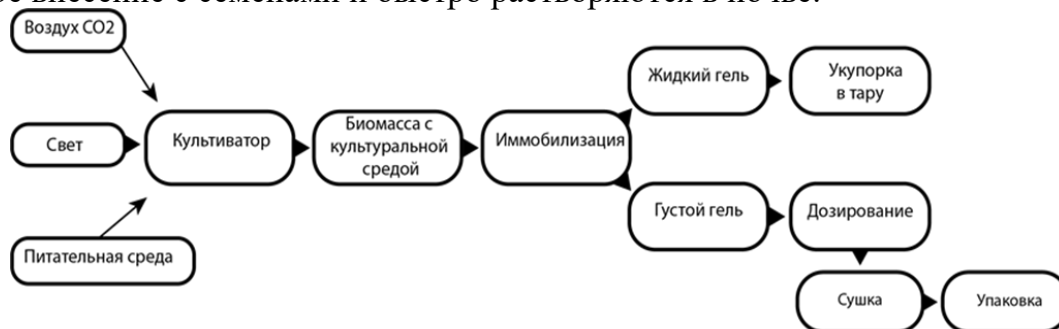


Рисунок 1 - Схема технологического процесса изготовления препаратов, содержащих иммобилизованную культуру микроводорослей

Проведенные опыты подтвердили высокую жизнеспособность клеток в гранулах при различных условиях хранения (рисунок 2).

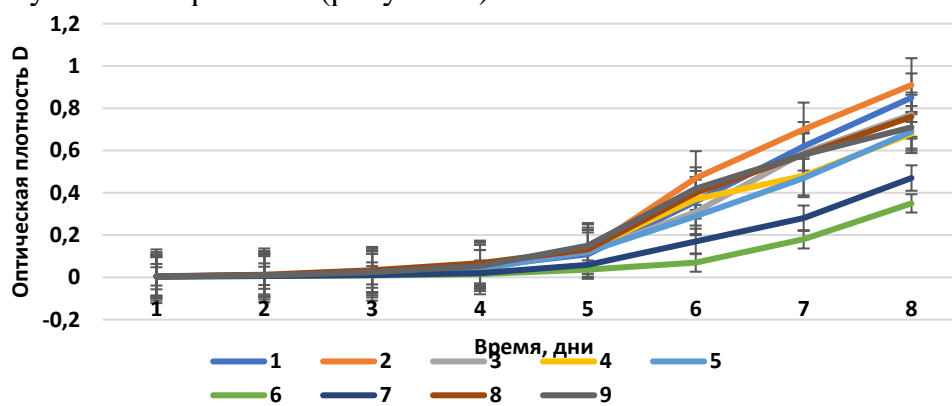


Рисунок 2 – Кинетика развития культуры *C. vulgaris* из гранул в зависимости от условий и сроков хранения: 1– +5°C в темноте (1 месяц); 2– +22°C в темноте (1 неделя); 3– +22°C в темноте (1 месяц); 4 – +22°C в темноте (12 месяцев); 5– +22°C в темноте (24 месяца); 6 – + 40°C комнатное освещение (1 месяц); 7 – на солнце (1 месяц); 8 – + 22°C комнатное освещение (1 неделя); 9 – + 22°C комнатное освещение (1 месяц).

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ ФОРМ БИОПРЕПАРАТОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

4.1 Действие культуры микроводоросли на ростовые процессы в начальной стадии развития сельскохозяйственных культур. Применение культуры *C. vulgaris* для обработки семян яровой пшеницы, редиса и кресс-салата способствует улучшению их посевных качеств, заключающихся в повышении энергии прорастания на 1-6 % и лабораторной всхожести на 5-15 %, увеличению длины ростка и корней, в усилении корнеобразования культур. Максимальный эффект отмечен для редиса, где длина ростка увеличилась на 3 см, а корней – на 4 см.

4.2 Влияние биопрепаратов на основе микроводоросли *C. vulgaris* на физиологические и биометрические показатели растений кабачка и огурца. Сравнение нативной и термически обработанной суспензии *C. vulgaris* показало, что их влияние на растения видоспецифично. Нативная форма стимулирует развитие надземной части растений (стебля кабачка на 16 %), тогда как термически обработанная увеличивает площадь листовой пластинки огурца на 26 %. При этом содержание общего хлорофилла и суммы пигментов (хлорофилл а, хлорофилл б, каротиноиды) существенно

увеличиваются для обеих культур и препаратов, но особенно для термически обработанной *Chlorella* (рисунок 3). Для огурцов на 17 и 24-25 %, для кабачков на 30-34 и 43-45 % соответственно.

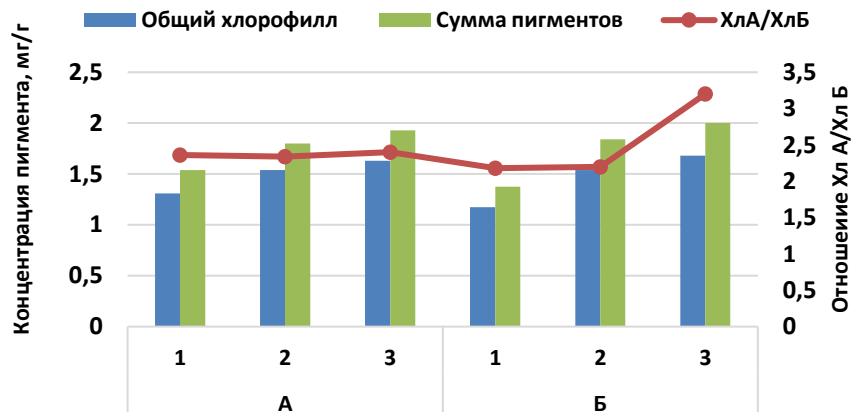


Рисунок 3 – Содержание пигментов (мг/г) в листьях растений огурца (А) и кабачка (Б): 1 – контроль; 2 – *C. vulgaris* нативная; 3 – *C. vulgaris* термически обработанная, $p(A)=0,0030$; $p(B)=0,00045$

4.3 Влияние биопрепаратов на основе микроводорослей *C. vulgaris* и *Arthrospira platensis* на физиологические и биометрические показатели растений огурца. Использование при выращивании огурца разных форм препаратов с *C. vulgaris* и *A. platensis* имеет сравнимую эффективность гранул и жидкой формы. Применение гранул *C. vulgaris* определяет максимальный прирост стебля (плюс 30 %) и площади листьев (плюс 23 %), а совместное применение гранул *Chlorella* и *Arthrospira* увеличивает площадь листьев на 13 % и стебля на 30 % (без замачивания семян). Замачивание семян в суспензии *C. vulgaris* усиливает корнеобразование (плюс 23 %). При этом наибольшая плотность корней (плюс 32 %) достигается при внесении гранул *C. vulgaris* без предварительного замачивания. *A. platensis* стимулирует корни только в сочетании с замачиванием (плюс 15 %). Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) увеличивается в 2 раза при совместном использовании гранул *C. vulgaris* и *A. platensis* (рисунок 4). Замачивание семян в *C. vulgaris* повышает ЧПФ на 10 %, но снижает эффект от последующих обработок.

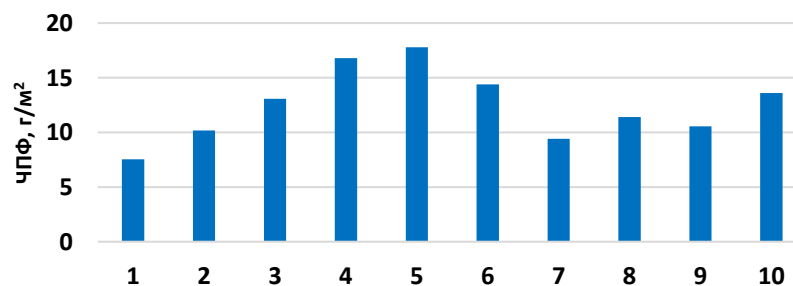


Рисунок 4 – Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м². Схема указана в методике опыта (стр. 6)

Таким образом, совместное использование *C. vulgaris* и *A. platensis* в форме гранул – перспективная технология для повышения урожайности, но требует адаптации под конкретные культуры. Сочетание различных форм удобрения и технологических приемов для разных видов культурных растений позволит эффективно влиять на их развитие, устойчивость и продуктивность.

4.4 Действие биопрепаратов на основе культуры микроводоросли *C.vulgaris* на продуктивность томата. Биопрепараты на основе микроводоросли *C. vulgaris* и способы их применения на томатах открытого грунта определяют продукционный потенциал культуры и качество продукции. Замачивание семян в 1 % растворе биопрепарата с последующим опрыскиванием рассады, а также с внесением гранул в почву при пикировке растений увеличивает их надземную фитомассу на 59-120 г., количество листьев на 4-7 шт. и массу листьев на 50-71 г. на одно растение, приводит к достоверному увеличению площади листьев (8626 см^2) и удельной поверхности листьев ($0,32 \text{ г/дм}^2$) по сравнению с контролем (рисунок 5). На этих вариантах опыта была получена максимальная урожайность томатов, достигающая 6 кг/м^2 (рисунок 6). По ряду биохимических показателей выделился вариант с применением *C. vulgaris* для замачивания и опрыскивания растений 1 % раствором. При таком способе получения рассады культуры отмечается максимальное содержание сахара (3,6 %) и витамина С в плодах ($29,9 \text{ мг/100г}$).

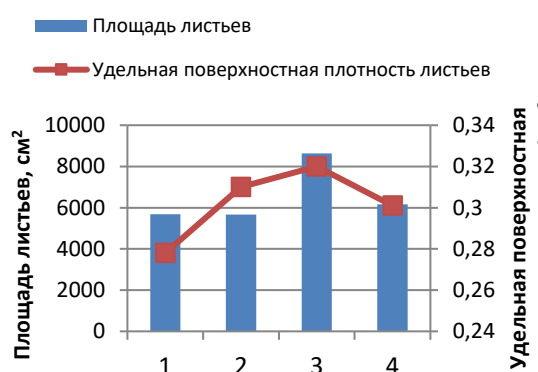


Рисунок 5 – Площадь листьев (см^2) и удельная поверхностная плотность листьев томата (г/дм^2): 1 – контроль; 2 – *C. vulgaris* замачивание; 3 – *C. vulgaris* замачивание + опрыскивание; 4 *C. vulgaris* замачивание + гранулы

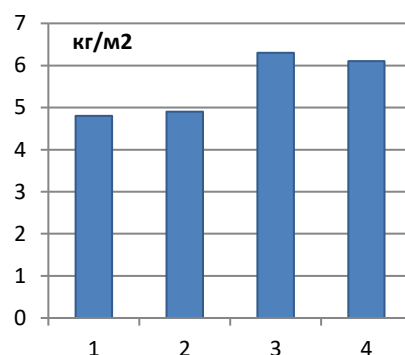


Рисунок 6 – Урожайность томатов, кг/м^2 (2022-2023 гг.): 1 – контроль; 2 – *C. vulgaris* замачивание; 3 – *C. vulgaris* замачивание + опрыскивание; 4 – *C. vulgaris* замачивание + гранулы (pA (вариант) = 0,0000; pB (год) = 0,0000; pAB (взаимод.) = 0,000

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ СРОКОВ ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA VULGARIS* НА СВОЙСТВА АГРОЧЕРНОЗЕМА И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

5.1 Агрофизические свойства. Возделывание яровой пшеницы на агрочерноземах Красноярской лесостепи с применением биопрепаратов на основе микроводорослей положительно отразилось на их агрофизическом состоянии. Применение 1 % раствора суспензии *C. vulgaris* в баковых смесях по всходам, всходам и кущению определяет максимальный структурообразующий эффект по содержанию агрономически ценных фракций (62-64 %) и снижает плотность сложения до $0,81-0,79 \text{ г/см}^3$ в 0-20 см слое агрочернозема.

5.2 Гумусное состояние агрочернозема. Двухкратная обработка посевов яровой пшеницы по всходам и всходам – кущению препаратом микроводоросли *C. vulgaris* существенно снижает запасы Сгумуса до 57-58 т/га, что обусловлено усилением процессов минерализации органического вещества и значительным разуплотнением

почвы. Двух и трёхкратное применение препарата с термически обработанной хлореллой формирует максимальные запасы водорастворимого гумуса (0,31-0,34 т/га). Оценка вклада изучаемых факторов в изменение содержания гумусовых веществ показывает, что исследуемые в опыте препараты на 37 % повлияли на содержание Сгумуса и на 16 % на его водорастворимые соединения.

5.3 Агрохимическое состояние агрочернозема. Наличие недостоверных отличий по величине рН₂₀ между вариантами опыта (6,9-7,1 ед. рН) свидетельствует об отсутствии подщелачивающего или подкисляющего эффекта на почву применяемых в эксперименте препаратов ($p = 0,0670$). Суспензия культуры *C. vulgaris*, а также термически обработанный аналог обеспечивает повышенное содержание НЛГ в агрочерноземе (161 и 174 мг/кг). Под их влиянием установлено увеличение подвижности органического азота (НЛГ:НТГ = 0,53-0,57). Применение термически обработанной суспензии *C. vulgaris* определяет достоверное накопление аммонийной формы азота в почве до повышенного уровня (12-15 мг/кг; $p = 0,0000$). Использование 1 % раствора суспензии микроводоросли *C. vulgaris* и её термически обработанного аналога на яровой пшенице способствует накоплению обменного калия в почве по сравнению с контрольным вариантом на 36-90 мг/кг ($p = 0,0500$).

5.4 Биологическая активность почвы. Применение биопрепаратов с термически обработанной *C. vulgaris* определяет тенденцию усиления потенциальной интенсивности дыхания почвы до 4,4 мг CO₂/10г. Максимальная уреазная активность агрочернозема проявляется на вариантах с обработкой вегетирующих посевов биопрепаратом, прошедшим температурный стресс. К периоду кушения пшеницы при двухкратной обработке она достигает 18 мгNH₄/10г/24ч и обуславливает высокую обеспеченность почвы аммонийным азотом (18 мг/кг). При трёхкратной обработке посевов активность уреазы в период молочной спелости пшеницы сохраняется на уровне 21 мгNH₄/10г/24ч.

5.5 Продуктивность яровой пшеницы. Максимальная урожайность зерна яровой пшеницы (3,6 т/га) отмечена на варианте опыта с одно- и двукратной обработкой посевов пшеницы по всходам и кушению суспензией *C. vulgaris* (рисунок 7). Урожайность яровой пшеницы в условиях технологии её возделывания с применением средств химической защиты растений и биопрепаратов на основе микроводоросли *C. vulgaris* на 52-72 % сопряжена с запасами продуктивной влаги в почве, содержанием агрономически ценных агрегатов и плотностью сложения корнеобитаемого слоя (рисунок 8).

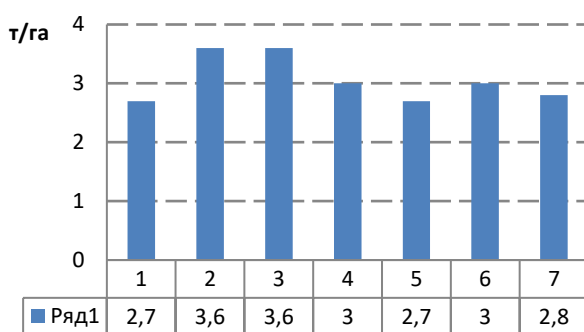


Рисунок 7 – Урожайность яровой пшеницы (т/га) на вариантах опыта ($p = 0,0023$). Схема указана в методике опыта (стр. 6)

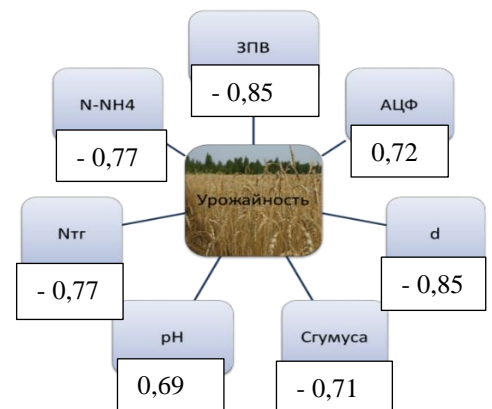


Рисунок 8 – Корреляционная зависимость между урожайностью яровой пшеницы и абиотическими факторами ($n = 21$; $r_{05} = 0,413$)

ГЛАВА 6 АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМ БИОПРЕПАРАТОВ НА СИСТЕМУ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ

6.1 Агрофизические свойства. На фоне удовлетворительной влагообеспеченности агрочернозема достоверные изменения в запасах продуктивной влаги под действием биопрепаратов отмечаются только в корнеобитаемом 0-20 см слое ($p = 0,0112$). Максимальное увеличение запасов продуктивной влаги на 3-4 мм по сравнению с контролем выявлено в случае применения гранул *A. platensis* и совместном их применении с *C. vulgaris*. Статистически достоверное снижение плотности почвы на 0,04–0,05 г/см³ отмечается при обработке посевов суспензией *C. vulgaris* и при внесении в почву гранул *A. platensis*. Напротив, гранулы *Chlorella* и *Arthrospira* повышают плотность сложения на 0,04–0,05 г/см³. Внесение при посеве пшеницы гранул микроводорослей увеличивает долю АЦФ по сравнению с контролем на 2-7 %. Максимальное содержание агрономически ценных агрегатов отмечается на варианте опыта с внесением в почву гранул *A. platensis* (79 %).

6.2 Гумусное состояние агрочернозема. Динамические изменения углерода гумуса и его подвижных компонентов определяются формой препаратов и гидротермическими условиями вегетационных сезонов. Применение 1 % раствора суспензии *C. vulgaris* в технологии возделывания яровой пшеницы способствует увеличению содержания углерода гумуса на 159-54 мгС/100 г, щелочегидролизуемого углерода на 6-39 мгС/100 г в 0-40 см слое почвы, максимальному пополнению почвенного раствора 0-20 см слоя агрочернозема CH_2O (30 мг/кг). Полученные результаты по оценке доли CH_2O от Сгумуса в агрочерноземе свидетельствуют о пополнении пула легкоминерализуемого органического вещества в почве под воздействием микроводорослей. В наибольшей степени это происходит в поверхностном 0-20 см слое почвы. Максимальная доля CH_2O от Сгумуса, достигающая 0,63 и 0,68 % отмечена при применении 1 % раствора *C. vulgaris* и гранулы *A. platensis* в технологии возделывания яровой пшеницы. Микроводоросли *C. vulgaris* в виде суспензии и гранул определяют пополнение запасов Сгумуса на 5-8 т/га и его подвижных соединений на 1 т/га в 20-40 см слое почвы по сравнению с контрольным вариантом. Максимальная доля запасов стабильного гумуса выявлена на вариантах опыта с применением гранул *A. platensis*. В слое почвы 0-20 см она оценивается величиной 89 % от Сгумуса, в слое 20-40 см достигает 90 %, что обусловлено снижением подвижных соединений гумуса.

6.3 Агрохимическое состояние агрочернозема. Максимальный уровень рН с сохранением нейтральной реакции среды установлен при внесении в почву гранул с *A. platensis*, достигающий в среднем 7,8 ед. рН. Поступление в почву цианобактерий *A. platensis* в чистом виде в смеси с *C. vulgaris* определяет абсолютное уменьшение содержания трудногидролизуемого азота на 28-30 мг/кг. Применение суспензии *C. vulgaris* и гранул *C. vulgaris* и *A. platensis* определяет минерализацию Nлг в почве и снижение показателя с высокой до средней обеспеченности (142-146 мг/кг). В целом за период исследований математически доказывается роль микроводорослей в активизации процесса аммонификации и нитрификации в 0-40 см слое агрочернозема ($p = 0,0003-0,0000$). Влияние препаратов на минеральные формы азота выражается в увеличении содержания аммонийного и нитратного азота на 1–3 мг/кг при применении гранул *A. platensis* и *C. vulgaris*. Обеспеченность агрочернозема подвижным фосфором за период исследований показывает достоверное увеличение показателя на вариантах опыта с микроводорослями ($p = 0,0203-0,0055$). Максимальное содержание P_2O_5 установлено в

0-40 см слое агрочернозема на варианте с внесением гранулы *A. platensis* (321-305 мг/кг). При очень высокой обеспеченности агрочернозема обменным калием под влиянием биопрепаратов отмечено увеличение его содержания на 14-51 мг/кг в слое 0-20 см и 5-22 мг/кг в слое 20-40 см. Максимальное содержание K_2O (289-221 мг/кг) в 0-40 см слое почвы приходится на вариант с применением гранул *A. platensis*.

6.4 Биологическая активность почвы. Изучаемые биопрепараты по-разному влияют на показатели биологической активности почвы. Гранулы *A. platensis* повышают эмиссию CO_2 на 1,8 мг/10 г, тогда как суспензия *Chlorella* снижает её на 1,3 мг/10 г за счёт поглощения CO_2 при фотосинтезе. Максимальная активность каталазы отмечается на варианте с гранулами *C. vulgaris*. Повышение активности уреазы до 10 мг $N-NH_4/10г/24$ час отмечается на вариантах опыта с гранулами *C. vulgaris* и *A. platensis*.

6.5 Продуктивность яровой пшеницы. Урожайность как окончательная оценочная категория агротехнических приемов, удобрений и препаратов подводит черту в определении эффективности. Все показатели структуры урожая продемонстрировали максимальное значение на варианте опыта с внесением в почву гранул *A. platensis*, что отразилось на урожайности зерна яровой пшеницы. В среднем за годы исследований она составила 3,78 т/га, что на 0,87 т/га больше по сравнению с контролем (рисунок 9).

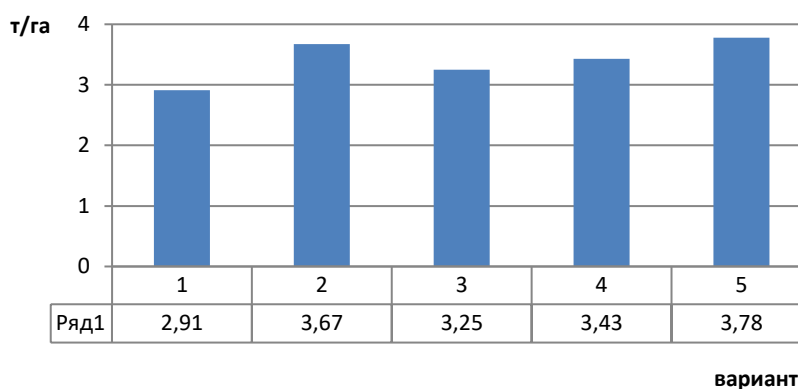


Рисунок 9 - Урожайность яровой пшеницы (т/га) на вариантах опыта: 1. Контроль (химическая защита – фон); 2. *C. vulgaris* (1 % раствор); 3. *C. vulgaris* (гранулы); 4. *C. vulgaris* + *A. platensis* (гранулы); 5. *A. platensis* (гранулы); 2022-2023гг. ($p = 0,0020$)

Схожие результаты по уровню урожайности культуры отмечаются на варианте опыта с фолитарной обработкой вегетирующих посевов 1 % раствором суспензии *Chlorella vulgaris* (3,67 т/га).

Анализ влияния абиотических факторов на урожайность яровой пшеницы показывает сильную связь между продуктивностью культуры в полевом опыте и показателями потенциального и эффективного плодородия агрочернозема: содержания в почве агрономически ценных агрегатов ($r = 0,95$), запасов продуктивной влаги ($r = 0,66$), водорастворимого углерода ($r = 0,63$), реакции почвенного раствора ($r = 0,68$), содержания общего ($r = 0,77$), аммонийного ($r = 0,86$), нитратного азота ($r = 0,68$); подвижного фосфора ($r = 0,75$) и обменного калия ($r = 0,79$). Сильная обратная зависимость между урожайностью яровой пшеницы и гидролизуемыми формами азота ($r = -0,75$), и активностью каталазы ($r = -0,83$) свидетельствует об усилении процессов минерализации органического вещества в агрочерноземе под влиянием биопрепаратов с микроводорослями. Совмещение альгологических препаратов с комплексной химической защитой растений снимает ограничения при масштабировании и внедрении технологии в сельскохозяйственное производство. Значимое изменение параметров почвы, обеспечивающих плодородие, говорит о потенциальной возможности замены

минеральных удобрений или их части на экологичные и дешевые альгопрепараты. Важным стало понимание, что инокуляция *A. platensis* и *C. vulgaris* как в жидкой, так и в гранулированной форме является достаточной для повышения эффективности трофосистемы почва-растения в агроэкосистеме.

6.6 Экономическая эффективность возделывания яровой пшеницы с использованием альгологических биопрепаратов на агрочерноземах Красноярской лесостепи.

Расчет экономической эффективности показал, что применение альгологических препаратов существенно влияет на рентабельность производства. Максимальный эффект обеспечивает внесение гранул *A. platensis*: при урожайности 3,8 т/га (+0,9 т/га к контролю) рентабельность достигает 101,9 %, что выше контрольного показателя (94,9 %). Высокую эффективность также показала фолиарная обработка *C. vulgaris* (рентабельность 96,7 %). Применение гранул *C. vulgaris* (отдельно и в смеси) оказалось экономически менее целесообразным, так как прибавка урожая не компенсировала дополнительные затраты, снизив рентабельность до 76,6–85,3 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны экспериментальные формы биопрепарата в виде суспензии *C. vulgaris* с пониженной седиментацией клеток и сухая форма (гранула) *C. vulgaris* и *A. platensis*, обеспечивающие экологическую безопасность, биоразлагаемость носителя и сохранение жизнеспособности клеток микроорганизмов в течение длительного времени.

2. Применение нативной культуры *C. vulgaris* для обработки семян способствует повышению энергии прорастания семян яровой пшеницы, редиса и кресс-салата на 1-6 %, лабораторной всхожести на 5-15 %; увеличению длины стебля кабачка на 16 %, приросту площади листьев огурца и кабачка на 6-8 % и обеспечивает прирост общего хлорофилла на 17-34 %, суммы пигментов на 24-45 %.

3. В лабораторных условиях на культуре огурца доказано стимулирующее действие жидкой и сухих форм биопрепарата для замачивания семян, опрыскивания растений и внесения гранул в субстрат, а также возможность совместного применения гранул *C. vulgaris* и *A. platensis*. Ростостимулирующее действие биопрепаратов проявляется в достоверном увеличении длины стебля и площади листовой пластинки огурца. Замачивание семян и дополнительное внесение в субстрат гранул *C. vulgaris* и их совмещение с *A. platensis* определяет максимальную чистую продуктивность фотосинтеза (17-18 г/м²).

4. При возделывании томатов в условиях открытого грунта с замачиванием семян, последующим опрыскиванием рассады жидкой формой *C. vulgaris*, а также с внесением гранул микроводоросли в субстрат при пикировке растений увеличивается надземная фитомасса культуры на 59-120 гр., количество листьев на 4-7 шт. и масса листьев на 50-71 гр. на одно растение по сравнению с контролем, формируя максимальную урожайность томатов (6 кг/м²).

5. Оценка действия сроков применения биопрепаратов микроводоросли *C. vulgaris* в полевых условиях показывает преимущество двукратной обработки вегетирующих растений яровой пшеницы в фазу кущения и колошения в баковых смесях с пестицидами и более высокую эффективность нативной формы по сравнению с термически обработанным аналогом. Этот приём определяет максимальный структурообразующий эффект (64 %), снижение плотности сложения до 0,79 г/см³, увеличение содержания общего азота в гумусе (C: N = 8,7), накопление подвижного

фосфора (182 мг/кг) и обменного калия (291 мг/кг) в агрочерноземе и формирование максимальной урожайности культуры (3,6 т/га).

6. Агроэкологическая оценка влияния форм биопрепаратов на систему почва-растение выявила высокую эффективность жидких и сухих форм. Применение в технологии возделывания яровой пшеницы суспензии *C. vulgaris* и гранулы *C. vulgaris* и *A. platensis* в чистом виде и в смеси способствует сохранению запасов продуктивной влаги, повышению содержания агрономически ценных фракций, запасов общего азота, пула гидролизуемых форм азота, увеличению содержания минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия в агрочерноземе.

7. Применение в технологии возделывания яровой пшеницы в условиях Красноярской лесостепи двукратного опрыскивания растений 1 % раствором суспензии *C. vulgaris* и гранул *A. platensis* при посеве определяет урожайность культуры до 3,7-3,8 т/га, обусловленную влиянием структурного состава почвы ($r = 0,95$); запасов продуктивной влаги ($r = 0,66$); водорастворимого углерода ($r = 0,63$); реакции почвенного раствора ($r = 0,62$); содержанием общего ($r = 0,78$); аммонийного ($r = 0,86$), нитратного ($r = 0,68$) азота; подвижного фосфора ($r = 0,75$) и обменного калия ($r = 0,79$).

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ

Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и сохранения плодородия почв Красноярской лесостепи рекомендуется:

- применение суспензии *C. vulgaris* и гранул *C. vulgaris* и *A. platensis* самостоятельно и в комбинации в технологии возделывания яровой пшеницы, способствующих оптимизации агрофизических и агрохимических свойств агрочернозема;

- замачивание семян в 1 % растворе биопрепарата *C. vulgaris* с последующим опрыскиванием рассады, а также внесением гранул в почву при пикировке растений томатов, обеспечивающих максимальную урожайность культуры в условиях открытого грунта;

- применение нативной культуры *C. vulgaris* для обработки семян редиса, кресс-салата, кабачка и огурца, определяющей улучшение биометрических и физиологических параметров растений.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации.

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Кураченко, Н.Л. Действие биопрепаратов на основе культуры микроводоросли *Chlorella vulgaris* на продуктивность томата / Н.Л. Кураченко, **Н. В. Абакумова** // Плодородие. – 2024. – № 2(137). – С. 65-70.
2. Кураченко, Н.Л. Влияние препаратов с микроводорослями на содержание органического азота и его гидролизуемых фракций в агрочерноземе / Н.Л. Кураченко, **Н. В. Абакумова** // Экологический Вестник Северного Кавказа. — 2025.– Т.21 . – №3. – С. 36-42.

Работы, опубликованные в других изданиях:

3. **Абакумова, Н.В.** Влияние биостимулирующих препаратов на физиологические и биометрические показатели растений огурца / Н.В. Абакумова // Устойчивость почвенного покрова и продуктивность экосистем: Материалы всероссийской

научной конференции VII Докучаевские молодежные чтения посвященной 70-летию Красноярского государственного аграрного университета, Красноярск, 22 декабря 2022 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2022. – С. 67-72 (личный вклад 100 %).

4. **Абакумова, Н.В.** Влияние микроводоросли *Chlorella vulgaris* на содержание гидролизуемых форм органического азота в агрочерноземе /Н. В. Абакумова, Т. А. Назаренко // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XV Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 23–25 марта 2022 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2022. – С. 8-12 (личный вклад 75 %).
5. Кураченко, Н. Л. Уреазная активность агрочернозёма при использовании биопротекторных препаратов с *Chlorella vulgaris* на яровой пшенице / Н.Л. Кураченко, **Н. В. Абакумова**, Н. В. Фомина // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/1/st_118.pdf. (личный вклад 40 % категория журнала – К 3).
6. **Абакумова, Н. В.** Влияние биопрепаратов на основе культуры *Chlorella vulgaris* на реакцию почвенного раствора и интенсивность дыхания агрочернозема / Н. В. Абакумова, А. М. Коваль // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XV Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 23–25 марта 2022 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2022. – С. 12-16 (личный вклад 75 %).
7. **Абакумова, Н.В.** Влияние биопрепаратов на основе микроводоросли *Chlorella vulgaris* и цианобактерии *Arthrospira platensis* на содержание подвижных форм фосфора в агрочерноземе Красноярской лесостепи/ Н.В. Абакумова// Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XVI международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 29–31 марта 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 3-6 (личный вклад 100 %).
8. **Абакумова, Н.В.** Изменение аграрного состояния агрочернозема под действием биопрепаратов с микроводорослями/ Н.В. Абакумова, Д.А. Варганова, Е.И. Дымченко// Устойчивость почвенного покрова и продуктивность экосистем: Материалы межрегиональной научной конференции VIII Докучаевские молодежные чтения, Красноярск, 22–23 декабря 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 3-8 (личный вклад 50 %).
9. **Абакумова, Н. В.** Влияние биопрепаратов на основе культуры *Chlorella vulgaris* на гумусное состояние агрочернозема Красноярской лесостепи / Н. В. Абакумова, Д. Д. Бурак, Н. Л. Кураченко // Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика: Материалы IV всероссийской конференции молодых ученых АПК, п. Рассвет, 19–20 мая 2022 года. – п. Рассвет: Общество с ограниченной ответственностью "АзовПринт", 2022. – С. 13-18 (личный вклад 50 %).
10. **Абакумова, Н.В.** Особенности режима нитратного азота в агрочерноземе при применении биопрепаратов с микроводорослями. /Н.В. Абакумова, Д.А. Варганова // Студенческая наука – взгляд в будущее: Материалы XIX всероссийской студенческой научной конференции, Красноярск, 27–29 февраля

2024 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. – Часть 1. – С.43-45 (личный вклад 75 %).

11. **Абакумова Н.В.** Влияние суспензии *Chlorella vulgaris* на урожайность яровой пшеницы в условиях Красноярской лесостепи / Н.В. Абакумова, Н.Л. Кураченко // Актуальные проблемы почвоведения, экологии, земледелия: Материалы XX международной научно-практической конференции, г. Курск, 24-25 апреля 2025 года. – Курск: Курский федеральный аграрный научный центр, 2025– С. 6-9 (личный вклад 50 %).