Отзыв
официального оппонента Горбуновой Светланы Юрьевны
кандидата биологических наук, старшего научного сотрудника отдела Биотехнологии и фиторесурсов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
на диссертационную работу Абакумовой Натальи Викторовны на тему:
«Агроэкологическая оценка биопрепаратов на основе микроводорослей для повышения продуктивности системы почва-растение»,
представленную на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по научной специальности 1.5.15 – Экология (сельскохозяйственные науки).

1. Актуальность темы

Актуальность темы диссертационного исследования Н.В. Абакумовой обусловлена необходимостью разработки и внедрения экологически безопасных методов повышения продуктивности агроэкосистем в условиях усиливающейся деградации почв и сокращения поступления органического вещества в земледелие. Современное сельское хозяйство характеризуется негативными тенденциями: снижением содержания гумуса в пахотных почвах до 40% по сравнению с целинными землями, ухудшением агрофизических свойств, нарушением биологической активности и снижением эффективности применения минеральных удобрений.

В этих условиях биологизация земледелия на основе использования микроводорослей и цианобактерий (альголизация почв) представляет собой перспективное направление, сочетающее экологическую безопасность с повышением урожайности сельскохозяйственных культур. Микроводоросли рода *Chlorella* и *Arthrospira* обладают высокой скоростью роста, способностью фиксировать атмосферный азот, синтезировать биологически активные вещества и улучшать агрофизические свойства почв.

Диссертация посвящена решению важной народнохозяйственной задачи – агроэкологической оценке биопрепаратов на основе *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis* для повышения плодородия почв и продуктивности системы «почва-растение» в условиях Красноярской лесостепи, что соответствует приоритетным направлениям развития аграрной науки и Стратегии повышения плодородия почв Российской Федерации.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется объёмом экспериментального материала, методологическим уровнем исследований и корректностью интерпретации полученных данных.

Диссертация выполнена в соответствии с классическими методами почвоведения и агроэкологии. Для оценки свойств почв и растений использованы стандартные методики и ГОСТы: определение физико-химических свойств почв (влажность, плотность сложения, структурный состав, реакция среды, гумус, азотный режим, подвижный фосфор и калий), биологических показателей (ферментативная активность, интенсивность дыхания), биометрических параметров растений, биохимического состава продукции. Для получения биопрепаратов Н.В. Абакумовой разработан кассетный

отсутствует этап промывки осадка на фильтре дистиллированной водой для удаления солей среды. Это может привести к завышению результатов на 1-2 г/л. Рекомендуется дополнить описание методики или обосновать отсутствие промывки.

Также в диссертации для измерения оптической плотности суспензии *Chlorella vulgaris* с последующим расчетом концентрации биомассы использована длина волны 490 нм на фотоколориметре КФК-2. Следует отметить, что данная длина волны не соответствует принятой методике определения биомассы микроводорослей. Максимумы поглощения хлорофилла *a* расположены при 430 и 660–670 нм, хлорофилла *b* – при 453 и 642 нм, каротиноидов – в диапазоне 450–480 нм. Оптическая плотность на длине волны 490 нм определяется суммарным поглощением хлорофиллов и каротиноидов. Соотношение этих пигментов в клетках хлореллы существенно меняется в процессе культивирования: в экспоненциальной фазе активно синтезируется хлорофилл при базовом содержании каротиноидов, с последующим ростом культуры синтез хлорофилла замедляется, а каротиноиды активно накапливаются. В результате соотношение хлорофилла к каротиноидам к концу культивирования снижается в 1,5–2 раза, что вносит систематическую ошибку в определение биомассы, поскольку оптическая плотность D_{490} зависит от концентрации обоих типов пигментов. Для определения биомассы микроводорослей следовало использовать длину волны 750 нм (как было сделано для *Arthrospira platensis*). На этой длине волны хлорофилл практически не поглощает свет, поэтому оптическая плотность пропорциональна концентрации клеток и не зависит от изменения пигментного состава в процессе культивирования.

2. Формулировка «..продуктивность микроорганизмов составляла соответственно 10 ± 0,41 г/л и 2,5 ± 0,25 г/л» является некорректной. Указанные значения характеризуют максимальное накопление биомассы в г/л, а не продуктивность. Продуктивность выражается в единицах биомассы по отношению к единицам объёма и времени (г/л·сут). Рекомендуется скорректировать терминологию в тексте.

3. В диссертации отсутствует ряд технических параметров, необходимых для интерпретации результатов культивирования микроводорослей:
- не указан рабочий объём культиваторов (кассет) – без этой информации сложно рассчитать интенсивность освещения (ФАР) и эффективность массопередачи CO_2.
- не указана толщина слоя культуры –параметр, определяющий степень самозатенения клеток культуры.

4. При внесении суспензии микроводорослей в почву одновременно с живыми клетками микроводорослей поступают растворенные биогенные элементы из питательной среды (азот, фосфор, калий, микроэлементы) и метаболиты, накапливаемые в процессе культивирования. Разделяли ли влияние клеток микроводорослей, биогенных элементов и метаболитов на рост растений и свойства почвы при применении биопрепаратов.

6. Заключение

Диссертация Н.В. Абакумовой «Агроэкологическая оценка биопрепаратов на основе микроводорослей для повышения продуктивности системы почва-растение» является законченной научно-квалификационной работой, посвящённой оценке влияния сроков и форм применения биопрепаратов на основе микроводорослей на плодородие агрочернозёма и урожайность сельскохозяйственных культур.

Работа содержит решение научной проблемы, имеющей значение для аграрной экологии и земледелия. Получены новые экспериментальные данные, расширяющие представления о возможности управления плодородием агрочерноземов за счёт их альголизации. Разработанные технологии получения суспензионных и гранулированных

культиватор с LED-освещением 10000 Лм, контролем температуры и подачи CO_2, что соответствует современному уровню биотехнологических исследований.

Исследования проводились в 2021-2025 гг. на базе учебно-опытного хозяйства «Миндерлинское» Красноярского ГАУ. Выполнены лабораторные опыты по изучению действия биопрепаратов на ростовые процессы сельскохозяйственных культур, микрополевые опыты с томатом, полевые опыты с яровой пшеницей в 4-кратной повторности. Общая площадь опытных делянок составила 200-1000 м².

3. Достоверность результатов проведенных исследований

Достоверность результатов исследований подтверждается следующим:

1. Аналитические определения выполнены с применением ГОСТов и общепринятых методик в почвоведении, агрохимии и растениеводстве.
2. Лабораторные опыты проводились в 3-6-кратной повторности, полевые опыты – в 4-кратной. Учёт урожая осуществлялся пробными площадями по 20 м² в 4-кратной повторности, что обеспечивает статистическую достоверность.
3. Результаты обработаны в программе Microsoft Excel, показана высокая степень достоверности, приведены средние величины и их ошибки, указаны уровни значимости различий.
4. Полученные результаты по влиянию микроводорослей на ростовые процессы растений, урожайность и свойства почв согласуются с данными других исследователей (Лукьянов, 2016; Стифеев, 2019; Gitau et al., 2021; и др.).
5. Основные положения диссертации представлены на 12 конференциях различного уровня (международных, всероссийских, университетских) в 2022-2025 гг., обсуждались на заседаниях кафедры почвоведения и агрохимии Красноярского ГАУ.

4. Научная новизна диссертации

Разработаны экспериментальные формы биопрепаратов с микроводорослями в виде суспензии *Chlorella vulgaris* и гранул *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis*. Получены новые материалы, подтверждающие ростостимулирующую роль микроводорослей и возможности их 7 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.

На защиту выносятся следующие 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.

5. Замечания по диссертации

1. Заявленная максимальная плотность культуры *Chlorella vulgaris* (10±0,41 г/л) в опыте накопительного культивирования микроводорослей в культиваторе кассетного типа превышает теоретически возможный максимум по содержанию азота в среде Тамия. По литературным данным и экспериментальным данным теоретически возможный максимум составляет ~8,05 г/л. Следует уточнить причину данного расхождения. Вероятно, это связано с методикой определения сухой массы культуры, в которой

форм биопрепаратов, а также рекомендации по их применению представляют практический интерес для сельскохозяйственного производства.

Диссертация имеет логическую структуру: от теоретического анализа литературы (глава 1) → к методике исследований (глава 2) → технологии получения биопрепаратов (глава 3) → оценке действия на овощные культуры (глава 4) → оценке действия на агрочернозём и пшеницу (главы 5-6) → к выводам. Все главы связаны единой целью и задачами исследования. Выводы, сформулированные в диссертации, соответствуют поставленной цели и задачам исследования.

Автором лично получена большая часть научных результатов, проведён критический анализ литературных источников по теме исследования (359 источников, в том числе 78 иностранных). Сопоставлены различные подходы к использованию микроводорослей в земледелии. Выявлены недостатки существующих биопрепаратов (короткий срок годности, оседание клеток) и предложены решения (стабилизаторы, гранулированная форма). Сформулированные автором защищаемые положения, выводы и рекомендации аргументированы полученными экспериментальными данными. По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ, что соответствует требованиям ВАК.

Вышеуказанные замечания носят консультативный характер и направлены на уточнение методических подходов и не снижают высокой оценки выполненного исследования.

Диссертация Абакумовой Натальи Викторовны «Агроэкологическая оценка биопрепаратов на основе микроводорослей для повышения продуктивности системы почва-растение» соответствует требованиям к кандидатским диссертациям, изложенным в пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842.

На основании вышеизложенного, автор Абакумова Наталья Викторовна заслуживает присуждения учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 1.5.15 – Экология.

К.б.н., с.н.с. отдела
биотехнологии и фиторесурсов Горбунова Светлана Юрьевна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»;
299011, г. Севастополь, пр. Нахимова,2;
Контактный телефон 7-8692-544110;
e-mail ibss@ibss-ras.ru.