

На правах рукописи



Фотина Наталья Вячеславовна

**БИОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ
НОВЫХ ШТАММОВ РИЗОБАКТЕРИЙ**

Специальность – 4.3.5 Биотехнология продуктов питания и биологически
активных веществ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Кемерово 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кемеровский государственный университет» (ФГБОУ ВО «КемГУ»).

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Асякина Людмила Константиновна

Официальные оппоненты: **Голохваст Кирилл Сергеевич**
доктор биологических наук, член-корреспондент РАО, профессор РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, директор

Мальцев Евгений Иванович
доктор биологических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, лаборатория молекулярной систематики водных растений, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград

Защита диссертации состоится «27» марта 2026 г. в 9:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.315.05 при ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» по адресу: 650056, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, 2 лекц. ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (<https://kemsu.ru/science/dissertation-councils/diss-24-2-315-05/protects/120902/>), на официальном сайте ВАК Минобрнауки РФ (<https://vak.gisnauka.ru>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, отправлять по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6, Диссертационный совет 24.2.315.05, e-mail: ds24.2.315.05@mail.ru.

Автореферат разослан «____» _____ 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



Милентьева Ирина Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Обеспечение населения безопасными и качественными продуктами питания представляет собой приоритетную задачу государства в контексте устойчивого развития. Ключевая роль в решении этой задачи принадлежит эффективному и экологически безопасному производству сельскохозяйственной продукции. В условиях роста технологических рисков и глобальных вызовов, обеспечение продовольственной безопасности и конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках является одним из важнейших направлений развития страны. Это требует перехода к высокопродуктивным и экологически чистым технологиям, а также разработки и внедрения систем рационального применения биологических средств защиты и улучшения качества сырья, в том числе и зерновых культур, что отражено в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства. Особая важность экологизации и безопасности производства продовольствия подчеркивается в Национальном проекте «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности».

Интенсификация сельскохозяйственного производства с использованием высоких доз агрохимикатов и пестицидов, сопряжена с рядом негативных последствий для агроэкосистем. Несбалансированное внесение минеральных удобрений, в частности азотных, способствует эвтрофикации водоемов и увеличению эмиссии парниковых газов. Применение пестицидов широкого спектра действия негативно влияет на структуру почвенной микробиоты, снижая ее биоразнообразие и активность.

В связи с этим, разработка и внедрение бактериальных препаратов на основе штаммов ризобактерий является перспективным направлением. Это обусловлено их потенциально пролонгированным действием, способностью мобилизовать естественный потенциал почвы, контролировать распространение фитопатогенов, снижая зависимость от агрохимикатов и уменьшая риск развития устойчивости к ним. Кроме того, применение бактериальных препаратов может потенциально улучшить технологические свойства зерна при переработке. Использование ризобактерий открывает новые возможности для повышения качества и безопасности сырья для пищевой промышленности. В частности, важным направлением является повышение качества зерновых культур, которые являются основой рациона питания и важным сырьем для многих отраслей пищевой промышленности. Яровая мягкая пшеница выбрана в качестве модельной культуры для оценки эффективности разработанного биопрепарата, как один из наиболее значимых видов зерновых культур и важный источник сырья для пищевой промышленности.

Степень разработанности темы. Существенный вклад в развитие инновационных технологий в области сельского хозяйства, в частности создания бактериальных препаратов, внесли отечественные и зарубежные исследователи: И.А. Тихонович, А.А. Белимов, В.С. Шевелуха, Е.П. Трепачев, Т.К. Шешегова, Л.В. Кравченко, И.В. Максимов, М.В. Безрукова, О.Н. Кулаева, А.П. Кожемяков, Д.С. Веселов, Л.И. Пусенкова, А.А. Завалин, П.В. Поползухин, A.L. Khan, A. Al-Harrasi, S. Sarrocco, A. Khalid и др.

Отдельные этапы работы выполнены в рамках:

– государственного задания по теме «Фундаментальные исследования по разработке биопестицидов, состоящих из экстремофильных и эндофитных микроорганизмов, для преодоления абиотического и биотического стресса сельскохозяйственными культурами в условиях Кемеровской области-Кузбасса» (шифр FZSR-2023-0003);

– государственного задания по теме «Исследование потенциала ростостимулирующих бактерий для повышения агрономической биофортификации пшеницы» (шифр FZSR-2024-0009).

Цели и задачи работы. Теоретическое и экспериментальное обоснование биотехнологических приемов создания биопрепарата на основе новых штаммов ризобактерий для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- отобрать ризобактерии зерновых культур, проявляющие устойчивость к стрессовым факторам (агрохимикатам, высокой степени засоления) и способные эффективно развиваться на средах с ограниченным содержанием питательных веществ, что обеспечит их применение в различных условиях культивирования;
- провести скрининг перспективных ризобактерий, оценивая их способность продуцировать фитогормоны, фиксировать атмосферный азот, солубилизировать фосфаты, проявлять антиоксидантную и антагонистическую активность в отношении фитопатогенов;
- установить видовую и родовую принадлежность отобранных ризобактерий;
- сконструировать консорциумы на основе биосовместимых штаммов ризобактерий, проявляющих синергетический эффект; исследовать влияние перспективных составов консорциумов на показатели развития модельной культуры (яровой мягкой пшеницы) в лабораторных условиях; определить генетический потенциал ризобактерий, входящих в состав отобранного консорциума, в части синтеза биоактивных соединений и оценить их цитотоксичность в условиях *in vitro*;
- оптимизировать биотехнологические параметры культивирования разработанного биопрепарата на основе выбранного консорциума ризобактерий с целью достижения максимальной эффективности и стабильности;
- оценить экономическую целесообразность производства биопрепарата.

Научная новизна работы. Научно обоснован подход к созданию эффективных биопрепаратов для зерновых культур на основе ризобактерий, устойчивых к абиотическим стрессам. Впервые показано, что комплексный скрининг и отбор штаммов по признакам устойчивости к засолению, агрохимикатам и дефициту питательных веществ позволяет выявить перспективные бактериальные штаммы для разработки универсальных биопрепаратов. Установлено, что консорциум на основе выделенных штаммов ризобактерий *Pantoea agglomerans* B-14726 и *Pantoea vagans* B-14727 обладает синергетическим ростостимулирующим эффектом в отношении модельной культуры (яровой мягкой пшеницы). Впервые показано, что геном ризобактерий, входящих в состав консорциума, содержит кластеры генов, детерминирующих синтез сидерофоров, терпенов и антибиотиков, что обуславливает его антагонистический потенциал.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты диссертационной работы расширяют современные представления о разнообразии и функциональной роли ризобактерий и обосновывают перспективы их применения в агробиотехнологиях.

Депонированы пять новых перспективных штаммов ризобактерий в Биоресурсном центре Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт»: *Bacillus thuringiensis* B-14700, *Bacillus subtilis* B-14701, *Raoultella ornithinolytica* B-14725, *Pantoea agglomerans* B-14726, *Pantoea vagans* B-14727 (справки о депонировании № 14700, 14701, 14725, 14726, 14727 от 05.08.2024 г.).

Подобраны биотехнологические параметры культивирования биопрепарата «БП-010» на основе консорциума ризобактерий *Pantoea agglomerans* B-14726 и *Pantoea vagans* B-14727.

Разработана техническая документация на биопрепарат «БП-010».

Проведена экономическая оценка производства биопрепарата «БП-010», расчетная стоимость 10 л составляет 4101,16 руб.

Методология и методы исследования. При выполнении работы использовались общепринятые, стандартные и оригинальные методы исследований, включающие:

микробиологические методы выделения и культивирования микроорганизмов, методы оценки их морфологических, культуральных и биохимических свойств, молекулярно-генетические методы идентификации штаммов, методы анализа биотехнологически ценных свойств штаммов ризобактерий и консорциумов на их основе, методы подбора параметров культивирования разработанного биопрепарата.

Основные положения, выносимые на защиту:

- научно обоснованная концепция создания универсальных биопрепаратов на основе ризобактерий, устойчивых к абиотическим стрессам и обладающих комплексом биотехнологически ценных свойств (фиксация атмосферного азота, солюбилизация фосфатов, синтез фитогормонов, антагонистическая активность);
- результаты комплексной характеристики 42 штаммов ризобактерий, выделенных из ризосферы зерновых культур, включающие оценку устойчивости к стрессовым факторам и выявление штаммов-продуцентов биологически активных веществ (*Bacillus thuringiensis* B-14700, *Bacillus subtilis* B-14701, *Raoultella ornithinolytica* B-14725, *Pantoea agglomerans* B-14726, *Pantoea vagans* B-14727);
- разработка и характеристика нового биопрепарата «БП-010» на основе консорциума ризобактерий *Pantoea agglomerans* B-14726 и *Pantoea vagans* B-14727, обеспечивающего стимуляцию роста модельной культуры (яровой мягкой пшеницы);
- биотехнологические параметры культивирования биопрепарата «БП-010», обеспечивающие его стабильность и рентабельность.

Степень достоверности и апробации результатов. Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается достаточным количеством наблюдений (3–5-кратной повторностью), применением стандартных и общепринятых методов исследования, которые соответствуют цели и задачам работы. Основные положения и результаты исследований диссертационной работы были предметом докладов и обсуждений на мероприятиях различного уровня: Международной научной и научно-практической конференции «Пищевые инновации и биотехнологии» (Кемерово, 2023); Научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Современные проблемы агропромышленного комплекса» (Самара, 2023), Инновационном конвенте «Кузбасс: образование, наука, инновации» (Кемерово, 2023, 2024), Международном симпозиуме, посвященном 50-летию КемГУ «Пищевые здоровьесберегающие технологии» (Кемерово, 2023), BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference «Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023» (Москва, 2023).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 20 печатных работ, из них: 8 статей в рецензируемых изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и цитирования Scopus и Web of Science; 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК; 1 патент, 1 заявка на патент.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует п. 10, 13, 18, 21 паспорта научной специальности ВАК РФ 4.3.5 «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы (231 наименование), и 4 приложений. Основной текст изложен на 174 страницах, содержит 28 таблиц, 28 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Представлено обоснование актуальности, цель и задачи, концепция исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту диссертационной работы.

Глава 1 Литературный обзор. В главе рассмотрены современные биотехнологические тенденции улучшения свойств растений. Проанализированы теоретические исследования ростостимулирующих бактерий и их потенциала для разработки инновационных биопрепаратов. Рассмотрены механизмы влияния бактерий на рост и развитие растений, а также возможности их применения в биотехнологических процессах.

Глава 2 Организация, объекты и методы проведения исследования. Теоретические и экспериментальные исследования выполнены в соответствии с целью и задачами на кафедре бионанотехнологии ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Общая схема выполнения исследования представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема проведения исследований

Исследования включали три блока – теоретический, экспериментальный и практический. Теоретическая работа заключалась в анализе отечественной и зарубежной литературы по теме исследования, обосновании цели и постановке задач исследования.

Экспериментальная часть работы состояла из трех последовательных этапов.

Первый этап исследований посвящен поиску и отбору штаммов ризобактерий зерновых культур, устойчивых к действию агрохимикатов, высокой степени засоления, и способных к росту на обедненных питательными компонентами средах. Для выделенных штаммов исследованы культуральные, морфологические и биохимические свойства.

Второй этап посвящен изучению биотехнологически ценных свойств ризобактерий, а именно: оценке антиоксидантной активности, способности продуцировать фитогормоны,

солюбилизовать фосфаты, фиксировать азот, проявлять антагонистическую активность в отношении фитопатогенов. Отобранные перспективные штаммы ризобактерий идентифицировали и депонировали в Биоресурсном центре Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт».

На третьем этапе конструировали консорциумы ризобактерий, оценивая биосовместимость штаммов. По анализу биотехнологически ценных свойств отбирали перспективные составы консорциумов. Оценивали их влияние на рост и развитие модельной культуры (яровой мягкой пшеницы). Для штаммов ризобактерий, входящих в состав отобранного консорциума, провели поиск кластеров биосинтеза вторичных метаболитов.

В рамках практической реализации подобраны рабочие параметры культивирования разработанного биопрепарата, дана экономическая оценка его производства, разработана техническая документация на биопрепарат.

В работе использовались общепринятые, стандартные и оригинальные методы исследований, включающие: эксперименты по отбору микроорганизмов, исследованию их морфологических, культуральных и биохимических свойств, анализу биотехнологически ценных свойств (продуцирование фитогормонов, солюбилизация фосфатов, фиксирование азота, антагонистическая активность) ризобактерий и консорциумов на их основе, подбору параметров культивирования разработанного биопрепарата на ризобактерий. Статистическую обработку данных проводили с использованием программного пакета Microsoft Office Excel 2021. Результаты исследования биотехнологически ценных свойств консорциумов оценивали при помощи анализа ANOVA с апостериорным критерием Шеффе.

Глава 3 Исследование ризобактерий. Глава 3 посвящена исследованию биотехнологически ценных свойств ризобактерий, выделенных из ризосферы зерновых культур. Методом многоступенчатого культивирования отобрано 42 штамма (индивидуальные номера от 1 до 42), устойчивых к агрохимикатам, засолению и недостатку питательных веществ. Выделенные штаммы демонстрировали вариабельные культуральные свойства (форма, цвет, фактура колоний) и морфологические характеристики (грамположительные и грамотрицательные формы: кокки, коккобациллы, бациллы).

Оценка функциональных свойств (продуцирование индолил-3-уксусной (ИУК) и гиббереллиновой (ГК) кислот, солюбилизация фосфатов (Р), фиксация азота (N), антиоксидантная активность (АОА)) позволила отобрать ризобактерии с высоким ростостимулирующим и антагонистическим потенциалом (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты исследования ростостимулирующих свойств ризобактерий

№ штамма	Показатель				
	АОА, %	ИУК, мг/мл	ГК, мкг/мл	N, мкг/л	P, %
1	85,2±4,1	7,79±0,37	267±13	670±32	100±5
2	38,3±1,7	2,47±0,12	108±5	290±14	131±6
3	82,8±4,2	8,44±0,41	234±11	120±6	137±7
4	80,3±4,0	2,56±0,12	200±10	140±7	0
5	24,7±1,2	8,16±0,39	367±18	850±41	160±8
6	75,7±3,7	9,35±0,45	332±16	760±36	125±6
7	69,5±3,3	3,03±0,15	149±7	220±11	163±8
8	73,0±3,5	3,09±0,15	197±9	300±14	100±5
9	54,2±2,6	3,25±0,16	168±8	160±8	0
10	75,1±3,6	9,13±0,44	367±18	100±5	100±5
11	62,1±3,0	7,11±0,34	417±20	710±34	146±7
12	35,6±1,7	2,86±0,14	86±4	210±10	114±5
13	84,0±4,0	8,82±0,42	472±23	820±39	175±8

Продолжение таблицы 1

№ штамма	Показатель				
	АОА, %	ИУК, мг/мл	ГК, мкг/мл	N, мкг/л	P, %
14	51,2±2,5	2,06±0,10	115±6	120±6	125±6
15	57,3±2,8	3,28±0,16	227±11	250±12	100±5
16	69,2±3,3	7,10±0,34	343±16	790±38	160±8
17	64,1±3,1	3,25±0,16	101±5	130±6	257±12
18	59,1±2,8	8,13±0,39	389±19	320±15	250±12
19	85,8±4,1	8,10±0,39	419±20	70±3	100±5
20	22,3±1,1	2,65±0,13	99±5	0	240±12
21	71,6±3,4	3,46±0,17	176±8	140±7	134±6
22	34,0±1,6	3,25±0,16	225±11	60±3	100±5
23	66,7±3,2	2,93±0,14	107±5	230±11	143±7
24	71,0±3,4	8,76±0,42	358±17	190±9	100±5
25	28,6±1,4	3,06±0,15	190±9	130±6	113±5
26	79,2±3,8	7,98±0,38	417±20	780±37	134±6
27	78,1±3,7	10,03±0,48	462±22	690±33	200±10
28	59,4±2,9	2,59±0,12	276±13	0	157±8
29	81,5±3,9	4,49±0,22	409±20	760±36	145±7
30	64,5±3,1	3,15±0,15	134±6	120±6	100±5
31	81,2±3,9	8,15±0,39	259±12	80±4	125±6
32	81,0±3,9	3,34±0,16	178±9	180±9	0
33	46,5±2,2	3,40±0,16	94±4	0	223±11
34	20,4±1,0	3,00±0,14	102±5	250±12	250±12
35	78,7±3,8	8,57±0,41	286±14	800±38	120±6
36	79,2±3,8	9,00±0,43	346±17	840±40	334±16
37	69,2±3,3	4,84±0,23	276±13	670±32	100±5
38	63,9±3,1	8,34±0,40	405±19	30±1	100±5
39	47,3±2,3	4,65±0,22	342±16	750±36	145±7
40	62,1±3,0	4,80±0,23	437±21	660±32	167±8
41	55,9±2,7	2,90±0,14	117±6	290±14	100±5
42	66,2±3,2	5,03±0,24	238±11	400±19	100±5

Данные представлены в виде среднего значения ±SD (n=3)

На основании анализа полученных данных, штаммы № 5, № 13, № 27 и № 36 отобраны как наиболее перспективные кандидаты для создания биопрепаратов, ввиду стабильно высокого уровня комплекса ростостимулирующих свойств. При этом выявлены существенные межштаммовые различия. Антиоксидантная активность варьировалась в широком диапазоне, достигая максимальных значений у штамма № 19 (85,8 %), что существенно превышает средний уровень по выборке (63,8 %). Концентрация синтезируемой индолил-3-уксусной кислоты колебалась от 2,06 мг/мл (штамм № 14) до 10,03 мг/мл (штамм № 27), при среднем значении 5,33 мг/мл. Наиболее интенсивный синтез гиббереллиновой кислоты отмечен у штамма № 13 (472 мкг/мл), превышающий средний показатель (268,5 мкг/мл) на 75,8 %. Азотфиксирующая активность проявилась не у всех исследованных штаммов, при этом наиболее высокую активность зафиксировали у штамма № 5 (850 мкг/л), значительно превышающую среднее значение (344,8 мкг/л). Изолят № 36 продемонстрировал максимальную способность к солубилизации фосфатов (334 %), достоверно превосходя средний показатель по выборке (131,5 %).

Для дальнейшего анализа и отбора перспективных ризобактерий, а также оценки их антагонистической активности, полученные результаты были подвергнуты балльной оценке

и ранжированию с учетом значимости показателей: индолил-3-уксусная кислота – 0,4; гиббереллиновая кислота – 0,35; фиксация азота – 0,1; солубилизация фосфатов – 0,1; антиоксидантная активность – 0,05 (рисунок 2). Такой подход позволил выделить штаммы с наиболее выраженным комплексом ростостимулирующих свойств, представляющие наибольший интерес для дальнейших исследований.

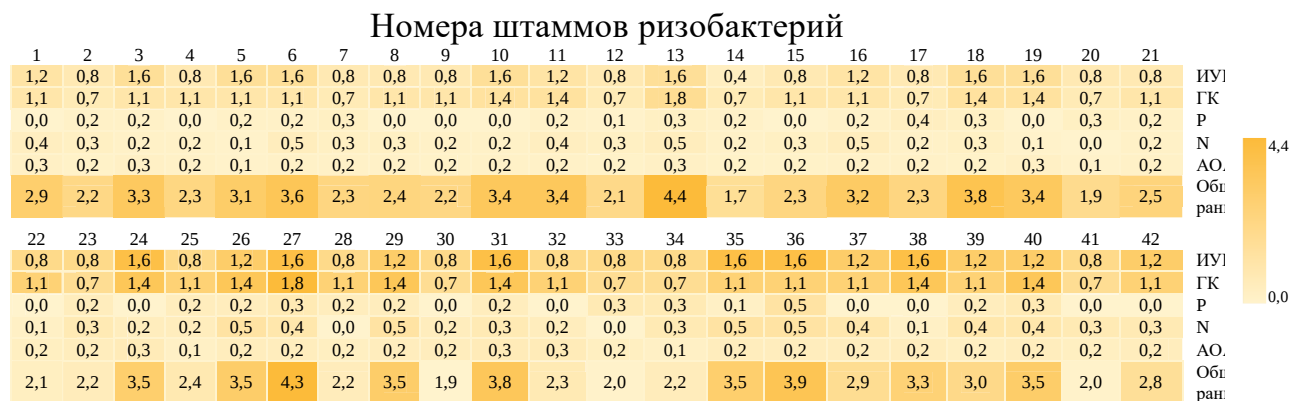


Рисунок 2 – Тепловая карта ранжирования ростостимулирующих свойств ризобактерий

В результате ранжирования ростостимулирующих свойств для дальнейшей оценки антагонистической активности в отношении фитопатогенных грибов *Fusarium graminearum* F-877, *Bipolaris sorokiniana* F-529, *Botrytis cinerea* F-1006 было отобрано 11 штаммов ризобактерий с высоким общим рангом по ростостимулирующим свойствам (3,5 и более): № 6 (3,6), № 13 (4,4), № 18 (3,8), № 24 (3,5), № 26 (3,5), № 27 (4,3), № 29 (3,5), № 31 (3,8), № 35 (3,5), № 36 (3,9), № 40 (3,5). Антагонистическое действие оценивали методом агаровых блоков (таблица 2, рисунок 3), измеряя диаметр зоны ингибирования роста фитопатогена с последующим присвоением баллов и расчетом общего ранга для каждого штамма.

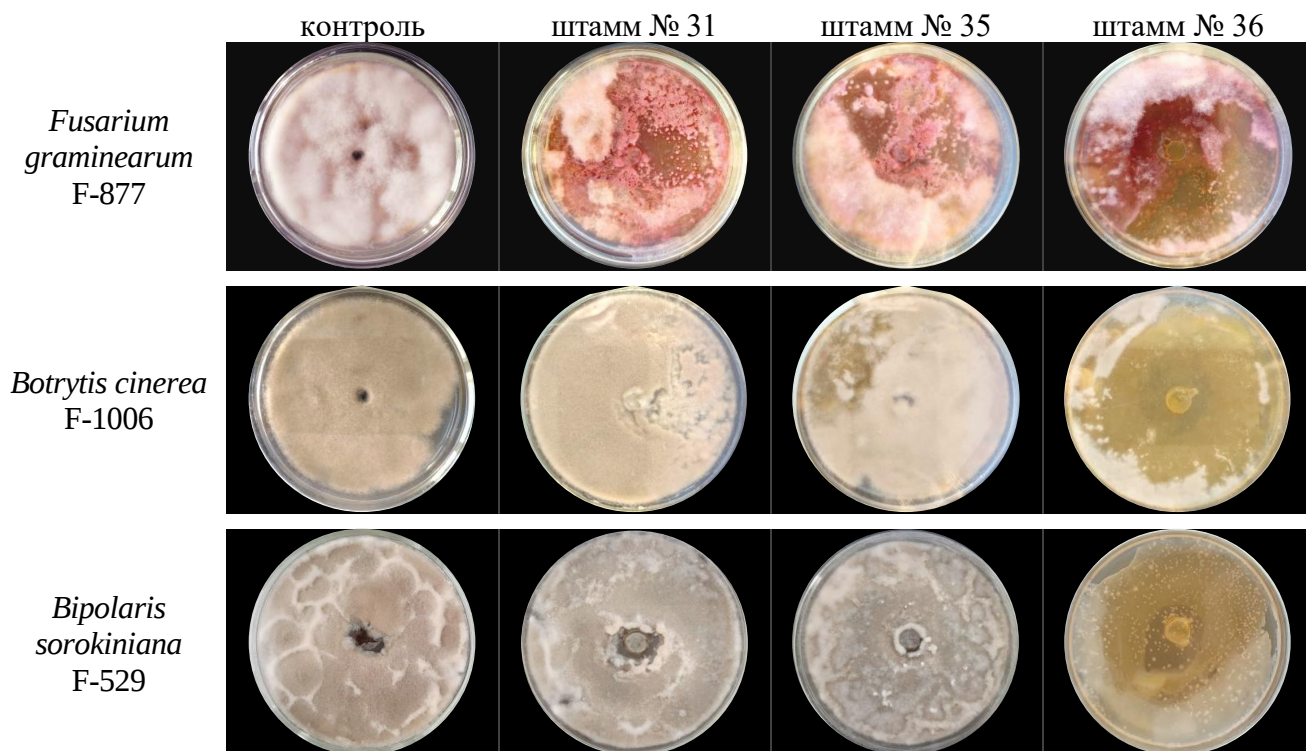


Рисунок 3 – Результаты определения антагонистической активности некоторых штаммов ризобактерий в отношении фитопатогенов в сравнении с контрольными вариантами

Таблица 2 – Результаты исследования антагонистической активности штаммов ризобактерий

№ штамма	Результаты ингибирования роста фитопатогена									Общий ранг
	<i>F. graminearum</i> F-877			<i>B. sorokiniana</i> F-529			<i>B. cinerea</i> F-1006			
	диаметр, см	балл	ранг	диаметр, см	балл	ранг	диаметр, см	балл	ранг	
6	2,7±0,1	2	1,0	1,0±0,1	0	0,0	2,5±0,1	2	0,4	1,4
13	1,0±0,1	0	0,0	1,0±0,1	0	0,0	1,0±0,1	0	0,0	0,0
18	2,5±0,1	2	1,0	1,0±0,1	0	0,0	3,0±0,1	2	0,4	1,4
24	2,2±0,1	2	1,0	1,0±0,1	0	0,0	4,0±0,2	2	0,4	1,4
26	3,5±0,1	2	1,0	4,3±0,2	3	0,9	3,6±0,1	2	0,4	2,3
27	2,5±0,1	2	1,0	3,0±0,1	2	0,6	4,0±0,1	2	0,4	2,0
29	6,8±0,2	4	2,0	2,0±0,1	1	0,3	5,8±0,2	4	0,8	3,1
31	7,8±0,2	4	2,0	1,9±0,1	1	0,3	6,3±0,1	3	0,6	2,9
35	6,6±0,2	4	2,0	1,5±0,1	1	0,3	4,0±0,1	2	0,4	2,7
36	8,6±0,3	5	2,5	9,5±0,3	5	1,5	7,0±0,2	4	0,8	4,8
40	2,5±0,1	2	1,0	1,8±0,1	1	0,3	2,0±0,1	1	0,2	1,5
Данные представлены в виде среднего значения ±SD (n=3)										

Наиболее выраженную антагонистическую активность проявил штамм № 36, ингибирующий рост всех трех фитопатогенов (*F. graminearum* F-877 – 8,6 см, *B. sorokiniana* F-529 – 9,5 см и *B. cinerea* F-1006 – 7,0 см). Штамм № 13 не проявлял антагонизма к исследуемым фитопатогенам, № 6 и № 18 – к *B. sorokiniana* F-529.

На основании комплексной оценки ростостимулирующей и антагонистической активностей для конструирования консорциума отобраны 5 штаммов ризобактерий с общим рангом более 2,0: № 26 (2,3), № 29 (3,1), № 31 (2,9), № 35 (2,7), № 36 (4,8).

Видовая и родовая идентификация, а также депонирование отобранных штаммов проведены в Биоресурсном центре Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Идентифицированы следующие штаммы ризобактерий: № 26 – *Bacillus thuringiensis* B-14700, № 29 – *Bacillus subtilis* B-14701, № 31 – *Raoultella ornithinolytica* B-14725, № 35 – *Pantoea agglomerans* B-14726, № 36 – *Pantoea vagans* B-14727.

Глава 4 Исследование консорциумов ризобактерий. Представлены результаты конструирования и исследования биотехнологически ценных свойств консорциумов ризобактерий. Для конструирования консорциумов исследована биосовместимость отобранных штаммов ризобактерий методом совместного культивирования (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты биосовместимости штаммов ризобактерий

Номера штаммов ризобактерий	№ 26 B-14700	№ 29 B-14701	№ 31 B-14725	№ 35 B-14726	№ 36 B-14727
№ 26 <i>Bacillus thuringiensis</i> B-14700		–	–	–	–
№ 29 <i>Bacillus subtilis</i> B-14701	–		+	+	+
№ 31 <i>Raoultella ornithinolytica</i> B-14725	+	+		+	+
№ 35 <i>Pantoea agglomerans</i> B-14726	–	+	+		+
№ 36 <i>Pantoea vagans</i> B-14727	–	+	+	+	
«+» – отсутствует зона ингибирования роста тест-штамма, «–» – присутствует зона ингибирования роста тест-штамма					

Штамм № 26 ингибировал развитие других штаммов ризобактерий, вследствие чего не был отобран для дальнейшего конструирования. На основе полученных данных сформированы 10 вариантов консорциумов (таблица 4).

Таблица 4 – Варианты консорциумов ризобактерий

№	Состав и соотношение штаммов ризобактерий
1	<i>B. subtilis</i> B-14701 и <i>R. ornithinolytica</i> B-14725 в соотношении 1:1
2	<i>B. subtilis</i> B-14701 и <i>P. agglomerans</i> B-14726 в соотношении 1:1
3	<i>B. subtilis</i> B-14701 и <i>P. vagans</i> B-14727 в соотношении 1:1
4	<i>B. subtilis</i> B-14701, <i>R. ornithinolytica</i> B-14725 и <i>P. agglomerans</i> B-14726 в соотношении 1:1:1
5	<i>B. subtilis</i> B-14701, <i>R. ornithinolytica</i> B-14725 и <i>P. vagans</i> B-14727 в соотношении 1:1:1
6	<i>B. subtilis</i> B-14701, <i>P. agglomerans</i> B-14726 и <i>P. vagans</i> B-14727 в соотношении 1:1:1
7	<i>R. ornithinolytica</i> B-14725 и <i>P. agglomerans</i> B-14726 в соотношении 1:1
8	<i>R. ornithinolytica</i> B-14725 и <i>P. vagans</i> B-14727 в соотношении 1:1
9	<i>P. agglomerans</i> B-14726 и <i>P. vagans</i> B-14727 в соотношении 1:1
10	<i>R. ornithinolytica</i> B-14725, <i>P. agglomerans</i> B-14726 и <i>P. vagans</i> B-14727 в соотношении 1:1:1

Для отбора наиболее перспективных консорциумов оценивались их ростостимулирующие и антагонистические свойства (таблицы 5 и 6).

Таблица 5 – Результаты исследования ростостимулирующих свойств консорциумов

Номер консорциума	ИУК, мг/мл	ГК, мкг/мл	АОА, %	N, мкг/л
Консорциум № 1	6,73±0,33 ^a	347±16 ^a	74,2±3,3 ^a	160±7 ^a
Среднее по штаммам для № 1	8,46	357	81,4	200
Консорциум № 2	11,15±0,48^b	489±23^b	82,8±3,6^b	750±32^b
Среднее по штаммам для № 2	8,67	322	80,1	495
Консорциум № 3	10,28±0,48^c	598±27^c	83,4±3,9^b	850±39^c
Среднее по штаммам для № 3	8,88	352	80,4	515
Консорциум № 4	11,26±0,49^d	714±33^d	84,6±3,9^b	730±31^d
Среднее по штаммам для № 4	8,49	333	80,5	400
Консорциум № 5	9,25±0,39^e	572±24^d	72,1±3,3 ^a	410±19 ^c
Среднее по штаммам для № 5	8,64	353	80,7	413
Консорциум № 6	8,01±0,35 ^e	831±39^e	84,0±3,6^b	890±40^e
Среднее по штаммам для № 6	8,77	330	79,8	610
Консорциум № 7	6,70±0,30 ^{ae}	929±42^f	85,8±3,9^b	140±6^f
Среднее по штаммам для № 7	8,35	321	80,0	505
Консорциум № 8	7,41±0,32 ^{abe}	326±14 ^a	78,2±3,5 ^b	380±17 ^a
Среднее по штаммам для № 8	8,58	351	80,3	525
Консорциум № 9	12,59±0,51^{bce}	682±29^{dg}	80,2±3,6^{ab}	870±40^d
Среднее по штаммам для № 9	8,78	316	79,0	820
Консорциум № 10	9,16±0,41^{ce}	824±37^e	83,5±3,8^b	650±29^e
Среднее по штаммам для № 10	8,57	329	79,7	617

Данные представлены в виде среднего значения ±SD (n=3). Буквенные индексы показывают достоверность различий между консорциумами (в пределах одного исследуемого параметра), рассчитанную методом ANOVA с апостериорным критерием Шеффе (при отсутствии достоверных различий буквенный индекс одинаков)

Таблица 6 – Результаты исследования антагонистической активности консорциумов

Номер консорциума	Диаметр зоны ингибирования, см		
	<i>F. graminearum</i> F-877	<i>B. sorokiniana</i> F-529	<i>B. cinerea</i> F-1006
Консорциум № 1	3,45±0,13 ^a	4,25±0,20^a	5,50±0,26 ^a
Среднее по штаммам для № 1	7,30	2,00	6,00
Консорциум № 2	6,75±0,32^b	2,50±0,11 ^b	8,50±0,39^b
Среднее по штаммам для № 2	6,70	7,80	4,90
Консорциум № 3	6,10±0,28 ^c	1,40±0,06 ^c	7,85±0,35^c
Среднее по штаммам для № 3	7,70	5,80	6,40

Продолжение таблицы 6

Номер консорциума	Диаметр зоны ингибирования, см		
	<i>F. graminearum</i> F-877	<i>B. sorokiniana</i> F-529	<i>B. cinerea</i> F-1006
Консорциум № 4	8,00±0,35^d	4,70±0,22^d	8,05±0,35^{bc}
Среднее по штаммам для № 4	7,00	1,80	5,30
Консорциум № 5	8,00±0,36^d	2,75±0,13 ^b	4,90±0,23 ^d
Среднее по штаммам для № 5	7,70	4,50	6,30
Консорциум № 6	7,95±0,36^d	4,50±0,21^{ad}	5,90±0,26^{af}
Среднее по штаммам для № 6	7,30	4,40	4,90
Консорциум № 7	5,00±0,21 ^e	6,40±0,30^e	4,85±0,22 ^d
Среднее по штаммам для № 7	7,20	1,70	5,10
Консорциум № 8	8,25±0,37^d	2,65±0,13 ^b	6,90±0,32^e
Среднее по штаммам для № 8	8,20	5,70	6,60
Консорциум № 9	8,25±0,36^d	7,15±0,32^f	6,25±0,30^f
Среднее по штаммам для № 9	7,60	5,50	5,50
Консорциум № 10	8,35±0,38^d	4,95±0,24^d	7,00±0,33^e
Среднее по штаммам для № 10	7,70	4,30	5,75

Данные представлены в виде среднего значения ±SD (n=3). Буквенные индексы показывают достоверность различий между консорциумами (в пределах одного исследуемого параметра), рассчитанную методом ANOVA с апостериорным критерием Шеффе (при отсутствии достоверных различий буквенный индекс одинаков)

Выявлено, что большинство консорциумов (кроме № 1, № 5 и № 8) демонстрируют синергетический эффект, повышая ростостимулирующие характеристики относительно средних значений отдельных штаммов. В частности, консорциумы (кроме № 1, № 5 и № 8) проявили антиоксидантную активность в диапазоне 80,2–85,8 %, повышенную продукцию фитогормонов (ИУК более 9 мг/мл консорциумы № 2–5, № 9, № 10, и ГК более 500 мкг/мл консорциумы № 3–7, № 9, № 10). Консорциумы № 2–4, № 6, № 9 и № 10 проявили способность к фиксации азота на уровне более 600 мкг/мл.

Согласно таблице 6, большинство консорциумов проявили более высокую антагонистическую активность по отношению к *Fusarium graminearum* F-877 (консорциумы № 2–6, № 8–10, диаметр зоны ингибирования 6,75–8,35 см), *Bipolaris sorokiniana* F-529 (консорциумы № 7 и № 9, диаметр зоны ингибирования более 5 см) и *Botrytis cinerea* F-1006 (консорциумы № 2–4, № 6, № 8–10, диаметр зоны ингибирования 5,90–8,50 см) по сравнению с отдельными ризобактериями.

Тепловая карта распределения ранжированных показателей ростостимулирующей и антагонистической активности представлена на рисунке 4.

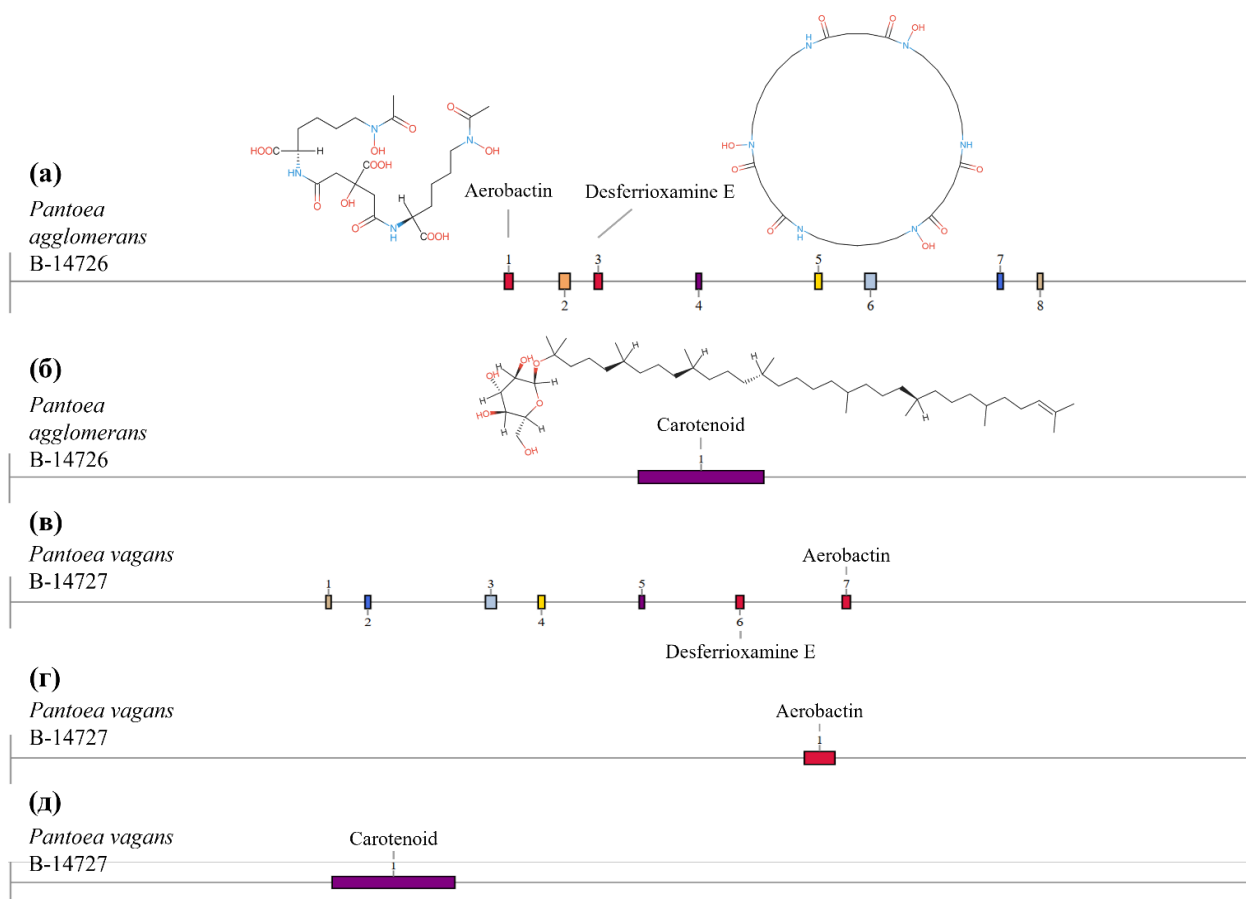


Рисунок 4 – Тепловая карта ранжирования ростостимулирующих свойств и антагонистической активности консорциумов

Для лабораторной апробации по изучению влияния консорциумов на рост модельной культуры (яровой мягкой пшенице) отобраны варианты с общим рангом 3,5 и более: № 4 (3,60) – *B. subtilis* B-14701, *R. ornithinolytica* B-14725, *P. agglomerans* B-14726; № 9 (3,55) – *P. agglomerans* B-14726, *P. vagans* B-14727; № 10 (3,50) – *R. ornithinolytica* B-14725, *P. agglomerans* B-14726, *P. vagans* B-14727.

Изучено влияние консорциумов (№ 4, № 9, № 10) и входящих в их состав ризобактерий (*R. ornithinolytica* B-14725, *P. agglomerans* B-14726, *P. vagans* B-14727) на рост пшеницы «Сибирский Альянс» в условиях биотического стресса (*F. graminearum* F-877, *B. sorokiniana* F-529, *B. cinerea* F-1006). Фитопатогены негативно влияли на рост, однако обработка семян штаммами и консорциумами оказывала положительное влияние, причём консорциумы показывали лучшие результаты. Консорциум № 9 продемонстрировал наилучшие показатели по всем параметрам, превосходя отдельные штаммы по всхожести семян на 6–14 % и по длине корня – до 10 мм. Консорциум № 9 также значительно увеличивал содержание фотосинтетических пигментов: хлорофилла а (на 23,6 %), хлорофилла b (на 41,2 %) и каротиноидов (на 55,5 %) по сравнению с контролем. Таким образом, в условиях биотического стресса консорциум № 9 (*Pantoea agglomerans* B-14726, *Pantoea vagans* B-14727) оказался наиболее эффективным, улучшая ростовые показатели и содержание фотосинтезирующих пигментов, что послужило основанием для его выбора в качестве основы биопрепарата.

Для биоинформатического анализа кластеров генов биосинтеза вторичных метаболитов ризобактерий консорциума № 9, проведено секвенирование генома. На платформах MGISEQ-2000 и Polyseq One выполнены *de novo* сборка и аннотация геномов штаммов *P. agglomerans* B-14726 и *P. vagans* B-14727. Получены кольцевые геномы размером 4 735 034 и 4 873 357 пар нуклеотидов (GC-состав 53%). Аннотация выявила 4411 и 4512 кодирующих последовательностей в геномах B-14726 и B-14727, соответственно. Геномные последовательности импортировали в antiSMASH версии 8.0.4 (рисунок 5).



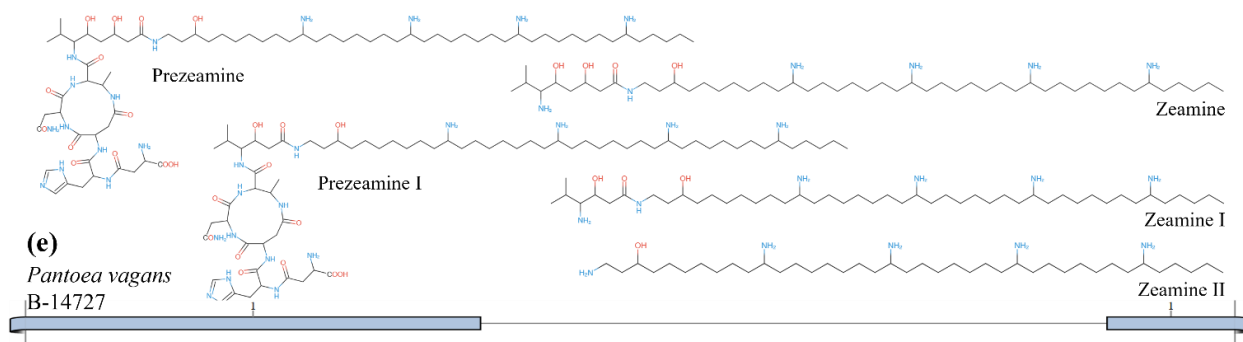


Рисунок 5 – Кластеры генов, идентифицированные в геноме *Pantoea agglomerans* B-14726 (а, б) и *Pantoea vagans* B-14727 (в–е) с использованием antiSMASH версии 8.0.4

У исследуемых штаммов обнаружены генные кластеры, ответственные за синтез сидерофоров (аэробактина, десферриоксамина Е) и терпенов (каротиноиды). У *Pantoea vagans* B-14727 выявлены кластеры биосинтеза пептидных антибиотиков зеамина и презеамина.

Для оценки безопасности биопрепарата проведен МТТ-тест на нераковой клеточной линии НЕК293Т (рисунок 6).

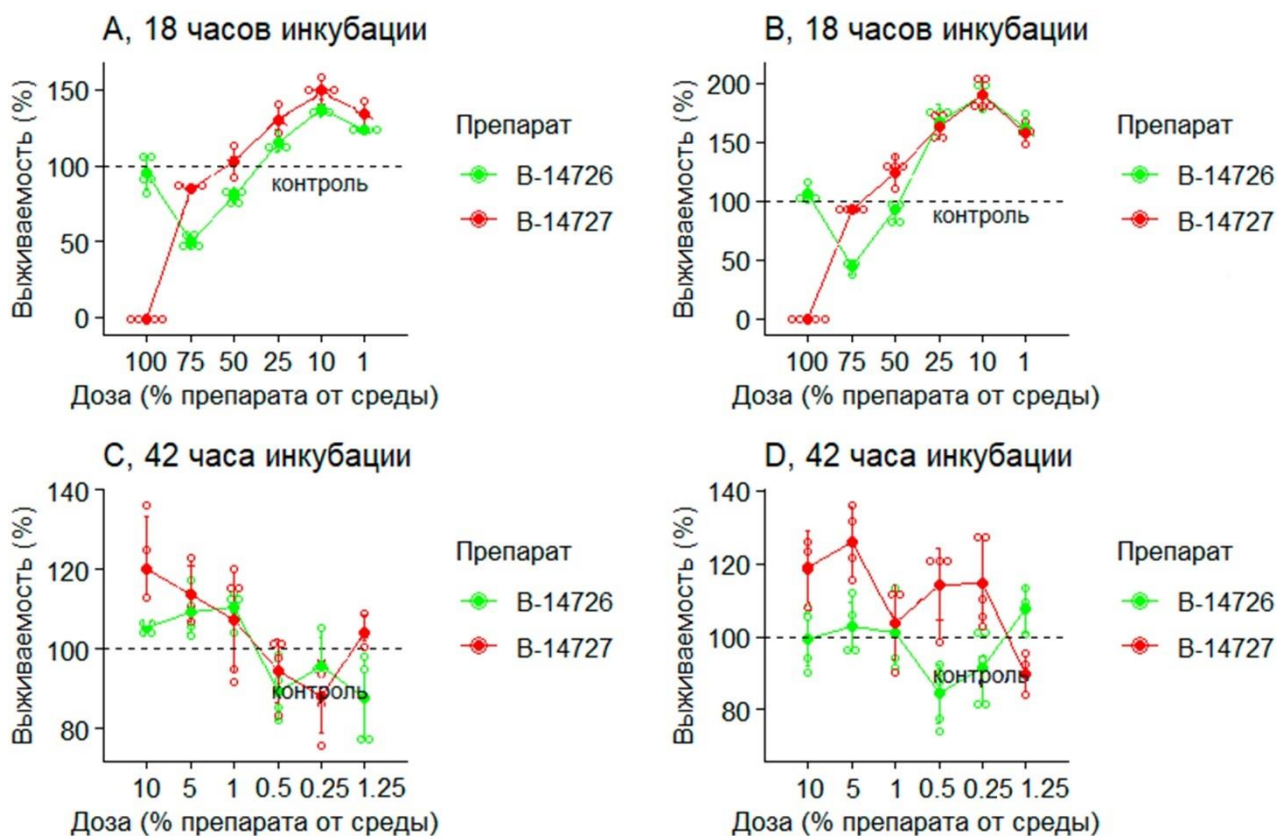


Рисунок 6 – Выживаемость клеток НЕК293Т при различных дозах образцов В-14726, В-14727 в культуральной среде. А и В – первый и второй повтор эксперимента с высокими концентрациями образцов в среде (инкубация 18 ч), С и D – первый и второй повтор эксперимента с низкими концентрациями образцов в среде (инкубация 42 ч). Пустые точки – экспериментальные значения, закрашенные точки – средние значения, интервалы – стандартное отклонение

Результаты показали отсутствие цитотоксического эффекта у штаммов *Pantoea agglomerans* B-14726, *Pantoea vagans* B-14727, входящих в состав биопрепарата.

Глава 5 Практическая реализация результатов исследования. Представлены данные по подбору рабочих параметров культивирования и экономической оценке производства биопрепарата (бактериальная основа – консорциум ризобактерий № 9).

Биопрепарату дано наименование – «БП-010». Для получения биопрепарата подобран состав питательной среды и температурный режим культивирования (таблица 7, рисунок 7).

Таблица 7 – Составы питательных сред для культивирования биопрепарата «БП-010»

Компоненты	Вариант питательной среды							
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Бульон Лурия-Бертани, г/л	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Глюкоза, г/л	–	–	6,0	–	6,0	–	6,0	6,0
Калий фосфорнокислый 2-зам., г/л	–	–	–	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Магний сернокислый, г/л	–	–	–	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Аммоний сернокислый, г/л	–	–	–	1,5	1,5	–	–	1,5
Натрий хлористый, г/л	–	–	–	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
L-триптофан, г/л	–	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Мочевина, г/л	–	–	–	–	–	2,0	2,0	2,0

На среде № 5 экспоненциальный рост начинался через 4 ч (оптическая плотность (ОП) – 0,42), стационарная фаза – через 12 ч (ОП – 1,55). Максимальный прирост биомассы (ОП – 1,72) наблюдался через 18 ч. При культивировании на среде № 5 и температуре 28 °С экспоненциальная фаза начиналась через 4 ч (ОП – 0,43), стационарная фаза – через 14 ч (ОП – 1,66), а максимальная оптическая плотность (1,75) достигалась через 18 ч. Данные параметры выбраны для производства биопрепарата.

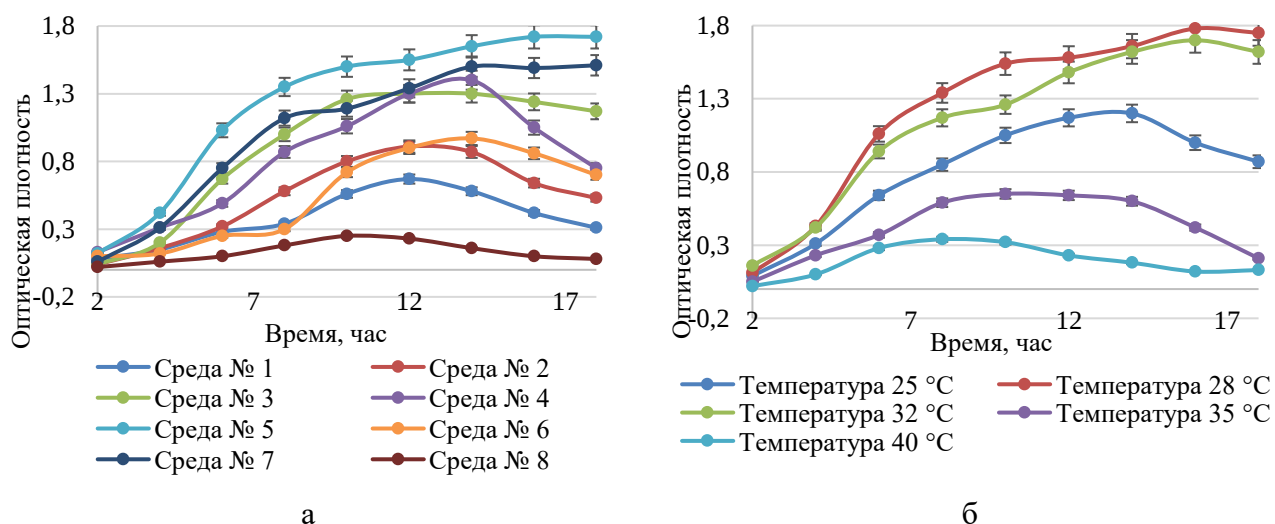


Рисунок 7 – Кривые роста биопрепарата «БП-010»: а – варианты состава питательных сред; б – варианты температурных режимов

Экономический анализ показал, что себестоимость производства 10-литровой канистры «БП-010» составляет 4101,16 руб., стоимость обработки 1 га – 1025,30 руб. Использование биопрепарата «БП-010» несколько дороже, чем обработка «Бактофитом» (810,00 руб./га), но значительно экономичнее применения химических фунгицидов (2797,63 руб./га), что делает его привлекательным для сельхозпроизводителей с экономической точки зрения. Срок годности препарата составляет 6 месяцев при температуре 4 ± 2 °С.

ВЫВОДЫ

1. Отобрано 42 штамма ризобактерий из ризосферы зерновых культур. Штаммы характеризуются устойчивостью к стрессовым факторам, таким как агрохимикаты, высокая степень засоления и ограниченное содержание питательных веществ, что делает их перспективными кандидатами для разработки универсальных биопрепаратов.

2. Изучены биотехнологически ценные свойства ризобактерий, включая продукцию фитогормонов, фиксирование атмосферного азота, солюбилизацию фосфатов, и антагонистическую активность в отношении фитопатогенов (*Fusarium graminearum* F-877, *Bipolaris sorokiniana* F-529, *Botrytis cinerea* F-1006).

3. Установлена видовая и родовая принадлежность отобранных штаммов ризобактерий: № 26 – *Bacillus thuringiensis* B-14700, № 29 – *Bacillus subtilis* B-14701, № 31 – *Raoultella ornithinolytica* B-14725, № 35 – *Pantoea agglomerans* B-14726, № 36 – *Pantoea vagans* B-14727.

4. Сконструированы 10 бактериальных консорциумов на основе отобранных ризобактерий. Определены перспективные составы, характеризующиеся высокой ростостимулирующими и антагонистическими свойствами: № 4 (общий ранг 3,60), № 9 (3,55), № 10 (3,50). На основе оценки влияния на рост и развитие модельной культуры (яровой мягкой пшеницы) в лабораторных условиях, отобран консорциум № 9 (*Pantoea vagans* B-14727, *Pantoea agglomerans* B-14726 в соотношении 1:1) для разработки биопрепарата «БП-010». В геноме ризобактерий, входящих в состав биопрепарата, выявлены кластеры генов, отвечающие за синтез сидерофоров, терпенов и антибиотиков. Выявлено отсутствие цитотоксического эффекта штаммов на нераковой клеточной линии НЕК293Т.

5. Оптимизированы условия культивирования биопрепарата «БП-010». Определен оптимальный состав питательной среды, г/л: бульон Лурия-Бертани в модификации Миллера – 25,0; глюкоза – 6; калий фосфорнокислый 2-зам. – 7; магний сернокислый – 0,1; аммоний сернокислый – 1,5; натрий хлористый – 4; L-триптофан – 0,5; оптимальная температура культивирования – 28 °С.

6. Проведена экономическая оценка производства разработанного биопрепарата «БП-010». Расчетная стоимость составила 4101,16 руб./10 л. Срок годности препарата составляет 6 месяцев при температуре 4±2 °С. Разработана техническая документация.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science

1. Перспективы использования микробных препаратов для снижения окислительного стресса сельскохозяйственных растений / И.С. Милентьева, **Н.В. Фотина**, М.Ю. Жарко, Л.А. Проскурякова // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52. – № 4. – С. 750–761 (Q4).

2. Antagonistic activity of extremophilic bacteria against phytopathogens in agricultural crops / L.K. Asyakina, Yu.R. Serazetdinova, A.S. Frolova, **N.V. Fotina** et al. // Food Processing: Techniques and Technology. – 2023. – Vol. 53. – I. 3. – P. 565–575 (Q4).

3. Enhancement of wheat growth by plant growth-stimulating bacteria during phytopathogenic inhibition / **N.V. Fotina**, Yu.R. Serazetdinova, D.E. Kolpakova, L.K. Asyakina et al. // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. – 2024. – Vol. 60. – P. 103294 (Q1).

4. Extremophilic bacteria as biofertilizer for agricultural wheat / E.R. Faskhutdinova, **N.V. Fotina**, O.A. Neverova, Yu.V. Golubtsova et al. // Foods and Raw Materials. – 2024. – Vol. 12. – № 2. – P. 348–360 (Q3).

5. Микробная биофортификация злаковых культур: перспективы и текущее развитие / Д.Е. Колпакова, Ю.Р. Серазетдинова, **Н.В. Фотина**, А.В. Заушинцена и др. // Техника и технология пищевых производств. – 2024. – Т. 54. – № 2. – С. 191–211 (Q4).

6. Биологический потенциал нового бактериального штамма рода *Pantoea* в защите от биотического стресса и стимуляции роста зерновых культур / Е.Е. Бородина, А.В. Гордиенко, И.И. Плешивцев, **Н.В. Фотина** и др. // Техника и технология пищевых производств. – 2025. – Т. 4. – № 55. – С. 710–722 (Q4).

7. A novel fungicide consortium: is it better for wheat production and how does it affect rhizosphere microbiome? / L. Asyakina, P. Barsukov, Y. Serazetdinova, **N. Fotina** et al. // Applied Microbiology. – 2025. – Vol. 5. – № 4. – P. 142 (Q2).

8. Rhizobia as complex biofertilizers for wheat: Biological nitrogen fixation and plant growth promotion / Yu.R. Serazetdinova, E.E. Borodina, **N.V. Fotina**, A. Naik et al. // Foods and Raw Materials. – 2026. – Vol. 14. – № 1. – P. 214–227 (Q3).

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

9. Ризобактерии для снижения биотического стресса яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), вызванного фитопатогенными грибами / Ю.Р. Серазетдинова, **Н.В. Фотина**, Л.К. Асякина, И.С. Милентьева и др. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – № 4. – С. 98–113 (K1).

10. Исследование потенциала естественной микробиоты яровой мягкой пшеницы в повышении урожайности / Л.К. Асякина, G. Mudgal, С.Л. Тихонов, **Н.В. Фотина** и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37. – № 11. – С. 12–17 (K2).

11. Роль *Bacillus amyloliquefaciens* в снижении абиотического стресса зерновых культур / Ю.Р. Серазетдинова, **Н.В. Фотина**, Л.К. Асякина, А.Ю. Просеков и др. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 4 (64). – С. 178–183 (K2).

Патенты и заявки на изобретения

12. Пат. 2850674 Российская Федерация, МПК С 12 N 1/20. Биопрепарат для стимуляции роста и защиты пшеницы от фитопатогенов на основе штаммов *Ensifer* и *Rhizobium* / Серазетдинова Ю.Р., Колпакова Д.Е., Бородина Е.Е., Фасхутдинова Е.Р., Афонина Ю.Е., **Фотина Н.В.**, Милентьева И.С., Асякина Л.К., Просеков А.Ю.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет». – № 2025125897; заявл. 20.09.2025; опубл. 12.11.2025. – Бюл. № 32.

13. Заявка на изобретение № 2025128128 Российская Федерация. Способ получения бактериальной суспензии, повышающей устойчивость зерновых культур к фитопатогенам / Асякина Л.К., **Фотина Н.В.**, Бородина Е.Е., Серазетдинова Ю.Р., Просеков А.Ю.; заявитель ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет». – Заявл. 14.10.2025.

В материалах конференций

14. Серазетдинова, Ю.Р. Эндифиты, как агенты в борьбе с окислительным стрессом сельскохозяйственных культур / Ю.Р. Серазетдинова, **Н.В. Фотина** // В сборнике научных трудов 76-й Научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Современные проблемы агропромышленного комплекса». – Самара, 2023. – С. 106–110.

15. Исследование фитостимулирующей активности бактерий рода *Pseudomonas* / **Н.В. Фотина**, Л.К. Асякина, Ю.В. Голубцова, К.В. Карчин // Материалы XI Инновационного конвента «Кузбасс: образование, наука, инновации». – Кемерово, 2023. – С. 212–213.

16. Экстремофильные микроорганизмы-продуценты гиббереллиновой кислоты / Н.Н. Хорошкина, М.В. Безъязыкова, Е.Р. Фасхутдинова, **Н.В. Фотина** // Материалы II

Международного Симпозиума, посвященный 50-летию КемГУ «Пищевые здоровьесберегающие технологии». – Кемерово, 2023. – С. 160–162.

17. Экстремофильные микроорганизмы-продуценты идолил-3-уксусной кислоты, перспектива использования в качестве биоудобрения / Е.Е. Бородина, **Н.В. Фотина**, Л.К. Асякина, Ю.В. Голубцова // Материалы XI Всероссийской (национальной) научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». – Кемерово, 2023. – С. 326–327.

18. The biopotential of extremophilic microorganisms isolated from Kuzbass for protection and growth stimulation of oat (*Avena sativa* L.) / Yu. Serazetdinova, E. Borodina, D. Kolpakova, **N. Fotina** et al. // BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference «Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023» (MSNBAS2023). – Moscow, 2023. – Vol. 82. – P. 03009.

19. Серазетдинова, Ю.Р. Эффективность применения ростостимулирующих ризобактерий для защиты сельскохозяйственных культур от абиотического стресса / Ю.Р. Серазетдинова, **Н.В. Фотина**, А.Ю. Просеков // Материалы XII Инновационного конвента «Кузбасс: образование, наука, инновации». – Кемерово, 2024. – С. 325–328.

20. Серазетдинова, Ю.Р. Аспекты применения симбиотической фиксации азота для улучшения питания зерновых культур / Ю.Р. Серазетдинова, **Н.В. Фотина**, Е.Р. Фасхутдинова // Материалы XII Всероссийской (национальной) научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». – Кемерово, 2024. – С. 356–357.

Отчеты о научных исследованиях

21. Исследование потенциала ростостимулирующих бактерий для повышения агрономической биофортификации пшеницы / Л.К. Асякина, К.В. Карчин, **Н.В. Фотина**, Е.Р. Фасхутдинова и др. // Научно-технический отчет в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (номер темы FZSR-2024-0009). – Кемерово, 2025. – 126 с.

22. Новые бактериальные штаммы рода *Pantoea* в повышении устойчивости злаковых культур к фитопатогенам / Л.К. Асякина, А.Ю. Просеков, **Н.В. Фотина** и др. // Научно-технический отчет в рамках гранта Российского научного фонда (25-16-20076). – Кемерово, 2025. – 152 с.

23. Фундаментальные исследования по разработке биопестицидов, состоящих из экстремофильных и эндофитных микроорганизмов, для преодоления абиотического и биотического стресса сельскохозяйственными культурами в условиях Кемеровской области – Кузбасса / Л.К. Асякина, К.В. Карчин, **Н.В. Фотина**, Е.Р. Фасхутдинова и др. // Научно-технический отчет в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (номер темы FZSR-2023-0003). – Кемерово, 2023. – 267 с.

24. Исследование потенциала ростостимулирующих бактерий для повышения агрономической биофортификации пшеницы / Л.К. Асякина, К.В. Карчин, **Н.В. Фотина**, Е.Р. Фасхутдинова и др. // Научно-технический отчет в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (номер темы FZSR-2024-0009). – Кемерово, 2024. – 195 с.

25. Разработка технологии производства биоудобрений на основе RGP-ризобактерий для повышения производительности и пищевой ценности сельскохозяйственных культур / Ю.Р. Серазетдинова, **Н.В. Фотина**, Е.Е. Бородина // Научно-технический отчет в рамках программы фонда содействия инновациям студенческий стартап (III очередь) № 1205ГССС15-L/88213. – Кемерово, 2024. – 32 с.