

УТВЕРЖДАЮ

и.о. директора федерального государственного  
бюджетного учреждения науки

Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева

Российской академии наук (ИФР РАН)

чл.-кор. РАН Д.А. Лось

«30» сентября 2023 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физиологии  
растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук

на диссертацию Юлии Викторовны Батаевой «Особенности микробных комплексов  
аридной зоны в условиях агро- и техногенеза и их биотехнологическая значимость»,

представленную на соискание ученой степени доктора биологических наук по

специальностям 1.5.11 – микробиология, 1.5.6 – биотехнология

**Актуальность темы исследования.** Цианобактерии и актинобактерии (актиномицеты) широко распространены в водных и наземных экосистемах, где они играют исключительную роль в круговороте веществ. Эти организмы способны успешно развиваться при экстремальных условиях и хорошо известны как перспективные биотехнологические объекты. Изучение цианобактерий и актиномицетов в экосистемах аридной зоны является актуальным, как с точки зрения получения данных о структуре, составе и свойствах комплекса микроорганизмов и их метаболитов, что позволяет охарактеризовать их роль и участие в функционировании аридных территорий, так и создания на их основе биоудобрений и биопрепаратов для эффективности и оздоровления агроэкосистем, биоремедиации техногенных экосистем, что имеет важное практическое значение.

**Научная новизна исследования, полученных результатов и выводов, сформулированных в диссертации.** Автором впервые обобщены многолетние исследования распространения различных видов цианобактерий и состава циано-бактериальных комплексов в разнотипных природных и техногенных водных и почвенных

экосистемах Астраханского региона. Показано, что наибольшее разнообразие видов цианобактерий присуще озерным экосистемам Волго-Ахтубинской поймы и аллювиально-луговым почвам. Установлено, что основой фототрофных комплексов почв является род *Phormidium*, водных экосистем – *Oscillatoria*.

Также установлено, что наибольшим разнообразием и распространением почвенных комплексов актиномицетов характеризовались почвы с повышенной степенью засоления.

Автором впервые изучено разнообразие цианобактерий в техногенных водоёмах на территории Астраханского газоконденсатного и Баскунчакского гипсового месторождений и идентифицированы представители родов *Phormidium*, *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Gloeocapsa*, *Synechococcus*, *Synechocystis*.

Ю.В. Батаевой впервые получены в накопительных культурах из техногенных водоёмов циано-бактериальные сообщества, резистентные по отношению к высокому содержанию неорганических фосфатов от 0,04 г/л до 10 г/л, и общему содержанию солей от 10 г/л до 400 г/л. При этом под влиянием концентраций фосфора происходит изменение морфологии сообществ, а под влиянием реакции среды, температуры и общего содержания солей структура этих сообществ не изменяется.

Впервые идентифицированы экзогенные метаболиты альго-цианобактериального сообщества, выделенного из р. Ахтуба (Астраханская обл.), включающие насыщенные, ненасыщенные и ароматические углеводороды, карбоновые кислоты, фенольные и терпеновые соединения и их производные. Показано, что с развитием сообщества происходят изменения не только состава и количества водорослей и бактерий, но и вторичных метаболитов.

Автором впервые исследованы фитостимулирующий, фунгицидный, колонизирующий и антиоксидантный эффекты циано-бактериальных сообществ и культуры *Anabaena constricta* IPPAS В-2020, выделенных из почв региона исследований. Определена оптимальная концентрация экспериментального образца биоудобрения для обработки семян и развивающихся растений томата, перца, хлопчатника. Разработан способ повышения урожайности растений и защиты от фитопатогенов на основе цианобактерий и изучены их вторичные метаболиты.

Проведенными диссертантом исследованиями впервые показано, что при внесении в засоленные экспериментальные сточные воды пищевого производства циано-бактериальных сообществ и культуры *Phormidium ramosum* IPPASB-2022 происходит деградация органических веществ.

Ю.В. Батаевой впервые из почвенных экосистем с различной степенью солёности изолированы штаммы бактерий *Streptomyces carpaticus* RCAM04697, *Nocardioopsis*

*umidischolae* RCAM04882 и *N. umidischolae* RCAM04883, оказывающие ингибирующее действие на вирусы растений (YBK, ХВК, ВСЛК, ВМТо, ВОМ, ВБТ), а также обладающие высокими фитостимулирующими, фунгицидными и антиоксидантными свойствами, что делает их перспективными продуцентами для создания биопрепаратов. Также определен компонентный состав соединений, которые способны синтезировать эти штаммы.

С помощью молекулярно-филогенетических методов установлено систематическое положение двух штаммов цианобактерий (*Anabaena constricta* IPPASB-2020, *Phormidium ramosum* IPPASB-2022) и трёх штаммов актиномицетов (*S. carpaticus* RCAM04697, *N. umidischolae* RCAM04882, *N. umidischolae* RCAM04883).

Выполнено полногеномное секвенирование штамма *Streptomyces carpaticus* RCAM04697 и изучена патогенность (вирулентность, токсичность, токсигенность, диссеминация) этого штамма для теплокровных животных.

**Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации.** Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные Ю.В. Батаевой данные об уникальных свойствах микроорганизмов расширяют фундаментальные знания о природе взаимоотношений микроорганизмов друг с другом и растениями в природных агро- и техногенных условиях и задают ориентир исследований на значительно более широкий круг объектов.

Полученная в ходе секвенирования полногеномная последовательность штамма *S. carpaticus* RCAM04697 может быть использована для аннотации геномов бактерий рода *Streptomyces*.

Представленные в работе данные являются теоретической основой для дальнейших исследований в направлении применения антимикробных метаболитов, синтезируемых цианобактериями и актиномицетами, для агро- и экобиотехнологий.

Работа имеет несомненную практическую значимость, поскольку направлена на решение важных задач по экологизации сельского хозяйства и применению экологически безопасных и эффективных микробиологических удобрений, и средств защиты растений; разработке биодеструкторов органических соединений для очистки сточных вод; разработке препаратов для биоремедиации техногенных территорий.

На основе выделенных в ходе работы штаммов актиномицетов разработаны схема получения и инструкция по применению экспериментальных образцов, которая апробирована в полевых условиях аридной зоны на томате и картофеле (Протокол №1 от 25.03.2021г.; учрежденческий уровень внедрения); внедрена технология получения экспериментальных образцов препаратов (акт внедрения ООО «ФБГ»); внедрена технология применения экспериментальных образцов препаратов на томатах и картофеле

(акт внедрения от 08.09.2022 ФГБУ «Россельхозцентр» по Астраханской обл.). Разработан способ стимуляции роста и развития растений, повышения урожайности и защиты от фитопатогенных грибов в аридной зоне с помощью цианобактерий (патент РФ №2634387).

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.**

Достоверность полученных результатов и обоснованность сделанных выводов в диссертационной работе Ю.В. Батаевой подтверждаются большим объемом проведенных исследований с использованием комплекса современных методов. Разработанные экспериментальные образцы успешно прошли лабораторные и полевые испытания.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.** Результаты исследований автора могут быть использованы при изучении и мониторинге микроорганизмов аридных зон; при создании баз данных по цианобактериям и актиномицетам; изучении и использовании микроорганизмов, как источников ценных в практическом отношении биологически активных соединений.

**Общая характеристика диссертационной работы.** Представленная диссертация состоит из введения, 12 глав, заключения, выводов, списка литературы и 23 приложений. Работа изложена на 556 страницах текста, основной текст диссертации содержит 91 таблицу и 95 рисунков. Список литературы включает 776 источников из них 321 на иностранных языках.

Во «**Введении**» сформулированы актуальность и степень разработанности темы исследования, цель и задачи работы, её научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В **главе 1** приведен обзор литературных данных по изучению микроорганизмов аридной зоны, обсуждаются особенности природных и техногенно преобразованных территорий. Основное внимание уделено роли цианобактерий и актиномицетов в водных и почвенных экосистемах, положительном и антагонистическом влиянии на растения и микроорганизмы за счет продуцирования вторичных метаболитов. Проанализированы результаты исследований, связанных с биотехнологическим использованием цианобактерий и актиномицетов.

В **главе 2** подробно описываются методы выделения, идентификации и изучения свойств и метаболитов микроорганизмов, методика проведения лабораторных и полевых экспериментов.

**Глава 3** посвящена изучению экстремальных факторов среды, формирующих условия для развития микроорганизмов со специфичными свойствами. Показано, что экстремальные особенности исследуемых территорий (присутствие сероводорода и

высокая соленость) способствуют жизнедеятельности в водоемах и почвах специфических микробных ценозов на основе цианобактерий и актиномицетов. Эти факторы обуславливают снижение интенсивности биологического круговорота и низкое таксономическое разнообразие живых организмов.

**Глава 4** посвящена результатам изучения комплекса цианобактерий и актиномицетов техногенных и природных территорий. Установлено, что в природных водоемах доминирующими цианобактериями были представители родов *Microcystis*, *Oscillatoria* и *Anabaenopsis*. В техногенных водоемах из фитопланктона и обрастаний преобладали нитчатые формы цианобактерий родов *Oscillatoria* и *Phormidium*. В почвенных накопительных культурах в составе спутников почвенных циано-бактериальных сообществ обнаружены актиномицеты. В результате исследования качественного состава экологотрофических групп микроорганизмов в почвах выделен 21 изолят актиномицетов, в составе которых присутствовали стрептомицеты.

**Глава 5** посвящена выделению и идентификации микроорганизмов, перспективных с точки зрения биотехнологии. Автором отобраны биотехнологически перспективные циано-бактериальные сообщества и чистые культуры цианобактерий, активно наращивающие биомассу, а два штамма с помощью молекулярно-филогенетических методов как *Anabaena* sp. и *Pseudanabaenaceae* gen. Также выбраны 3 изолята актиномицетов, проявивших высокую фитостимулирующую активность, которые на основе изучения культурально-морфологических, биохимических свойств, а также данных секвенирования 16S рРНК идентифицированы как *Streptomyces carpaticus* RCAM04697 (изолят №11), *Nocardiopsis umidischolae* RCAM04882 (изолят №2), *Nocardiopsis umidischolae* RCAM04883 (изолят №18).

**Глава 6** посвящена изучению свойств цианобактерий в лабораторных условиях. В ходе исследований автором выявлена устойчивость цианобактерий к экстремальным значениям гидрохимических факторов среды: рН, температуры, концентрации неорганического фосфора, солености. Установлено отсутствие фитотоксических свойств у всех исследуемых культур цианобактерий, а также выявлены фунгицидные, антиоксидантные, антибактериальные, колонизирующие свойства цианобактерий и их устойчивость к пестицидам.

**Глава 7** посвящена изучению свойств штаммов актиномицетов. Показано, что исследованные штаммы актиномицетов обладают фитостимулирующими, противовирусными, фунгицидными и антиоксидантными свойствами.

**Глава 8** посвящена изучению химического состава вторичных метаболитов исследуемых микроорганизмов. Показано, что исследуемые цианобактерии и образуемые

ими сообщества и штаммы актиномицетов активно синтезируют соединения с высокой биологической активностью и могут быть использованы в качестве основы для создания биопрепаратов, удобрений, биологических средств защиты растений.

**Глава 9** посвящена эффективности применения цианобактерий в биодegradации компонентов высокоминерализованных загрязненных вод. Показано, что очистке сточных вод в экстремальных условиях способствует не только деятельность спутников-гетеротрофов цианобактерий и их сообществ, аккумуляция минеральных веществ в гликокаликсе, но и выделение в окружающую среду метаболитов, обладающих высокой биологической активностью.

В **главе 10** описано получение и применение экспериментальных образцов на основе цианобактерий и штаммов актиномицетов. Разработаны технологическая схема получения и применения экспериментальных образцов биопрепарата на основе *Anabaena constricta* IPPASB-2020. Предложены состав питательной среды и условия культивирования штаммов *S. carpaticus* RCAM04697, *N. umidischolae* RCAM04882, *N. umidischolae* RCAM04883 с целью получения биомассы и синтеза антимикробных метаболитов, а также разработана технологическая схема получения экспериментальных образцов биопрепаратов.

В **главе 11** описаны исследования по изучению безвредности цианобактерий и актиномицетов. Показано, что суспензии и водные растворы исследуемых штаммов не оказывают угнетающего влияния на выживаемость особей *Daphnia magna*, что позволяет отнести их к классу нетоксичных веществ для водных организмов. По показателям вирулентности, диссеминации, токсичности и токсигенности штамм *Streptomyces carpaticus* RCAM04697 не является патогенным для теплокровных животных.

**Глава 12** посвящена полевым экспериментам по проверке эффективности применения экспериментальных образцов биопрепаратов. Например, отмечено ускоренное созревание плодов перца сорта «Калифорнийское чудо» у растений, обработанных суспензией *Anabaena constricta* IPPASB-2020, на 5-8 дней по сравнению с контролем.

В **«Заключении»** кратко проанализированы и обобщены результаты проведенных исследований.

Сформулированные автором выводы полностью соответствуют поставленным задачам и отражают полученные результаты.

По материалам диссертации опубликовано 172 научные работы, включая 22 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 8 статей в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus, 94 тезиса докладов в материалах международных и всероссийских конференций, три патента на изобретение, один патент на полезную модель, пять свидетельств о государственной регистрации базы данных, одно свидетельство о государственной

регистрации программы для ЭВМ, 12 учебно-методических работ, в том числе учебное пособие с грифом УМО по классическому университетскому образованию.

Автореферат полностью отражает структуру и содержание диссертации.

Принципиальных замечаний по существу диссертационной работы Ю.В. Батаевой нет. Однако, в процессе ознакомления с диссертацией возникли некоторые замечания и вопросы:

- 1) в тексте диссертации встречается множество ошибок (опечаток) в латинских названиях таксонов, напр., *Chroococcophyceae* вместо *Chroococcophyceae*, *Hormogoniophyceae* вместо *Hormogoniophyceae* (стр. 19), *Oscillatoria* вместо *Oscillatoria*, *Microcystis ichtioblabe* вместо *Microcystis ichtioblabe* (стр. 187), *Microcistis* вместо *Microcystis* (стр. 191), *Oscillatoria formosa* вместо *Oscillatoria formosa* (стр. 195, 196), *Chlorohormidium flaccidum* вместо *Chlorohormidium flaccidum* (стр. 215) и др.;
- 2) на стр. 39 автор пишет, что цианобактерии «...отсутствуют только в очень кислых средах, на моховых болотах...». Это не соответствует действительности, т.к. среди цианобактерий очень много ацидофильных и ацидобионтных видов, живущих при pH <5, а литература по цианобактериям сфагновых болот обширна;
- 3) на стр. 40 автор пишет: «Нередко цианобактерии обнаруживают на поверхности макроводорослей, а также высших водных растений и в составе фитопланктона». Цианобактерии очень часто (если не сказать всегда) входят в состав фитопланктона, иначе проблема «цветения» воды не стояла бы так остро;
- 4) стр. 45: «Ранее классификация сине-зеленых водорослей подчинялась ботаническому коду». Во-первых, не коду, а кодексу (современное название – Международный кодекс номенклатуры водорослей, грибов и растений), а во-вторых, кодекс регламентирует только названия, а не принципы классификации той или иной группы.
- 5) там же: «Современная микробиологическая систематика цианобактерий основывается на чистых культурах. За основу деления взяты морфологические признаки, способы размножения и образование специфических клеток, что коррелирует с данными молекулярно-биологических исследований». Нужно отметить, что современная «ботаническая» систематика цианобактерий уже давно отошла от исключительно «морфологических исследований природного материала, а также накопительных культур» (стр. 45), а заимствовала у микробиологии полифазный подход и успешно развивается (см., напр., Komárek et al. 2014; Strunecký et al. 2023);

- б) в работе встречаются разные названия классов цианобактерий, напр., «Chroococophyceae» и «Hormogoniophyceae» (стр. 19) или «Chroococoseae», «Chamaesiphoneae» и «Hormogoneae» (стр. 209), которые использовались в старых ботанических классификациях 60-70-х гг. Кроме того, за последние 20 лет существенно сократился объем родов *Oscillatoria* и *Phormidium* и описано множество новых родов. *Amorphonostoc* (стр. 229) давно уже не рассматривается как самостоятельный род и в настоящее время является синонимом *Nostoc*. Рекомендуем автору в дальнейшей работе использовать современную таксономическую литературу;
- 7) автор использует старые названия многих видов водорослей, напр., *Scenedesmus quadricauda* вместо *Desmodesmus communis*, *Chlorormidium flaccidum* вместо *Klebsormidium flaccidum* и т.п.;
- 8) табл. 14, стр. 216: *Spirogyra* sp. ошибочно указывается среди диатомовых водорослей;
- 9) на стр. 74 (раздел 1.6.1) автор почему-то характеризует только род *Actinomyces*, а не актинобактерии (актиномицеты) в целом;
- 10) валидным названием для филума Actinobacteria является Actinomycetota (см. Oren & Garrity 2021);
- 11) на стр. 241 автор пишет: «...род – *Streptomyces*, вид – *S. carpaticus*, полное научное название – *S. carpaticus*». А в чем отличие полного научного названия от неполного? То же самое касается *Nocardiosis umidischolae* (стр. 245), но там ещё и пропущено родовое название;
- 12) не совсем понятно, зачем употреблять названия *Anabaena constricta* IPPAS B-2020 и *Phormidium ramosum* IPPAS B-2022, если филогенетический анализ однозначно показал, что эти штаммы не принадлежат к этим видам (а в случае с формиდიумом оказалось, что это вообще новый для науки род). Нужно было писать *Anabaena* sp. IPPAS B-2020 и Pseudoanabaenaceae gen. IPPAS B-2022 (а не «Pseudoanabaenaceae cyanobacterium»), чтобы не вносить путаницу;

Таким образом, в докторской диссертации Батаевой Ю.В. решается проблема, связанная с изучением особой роли микроорганизмов в аридной зоне, развивающихся в широком диапазоне экологических факторов и являющихся продуцентами ценных вторичных метаболитов, использованием их для создания полифункциональных средств с фитостимулирующими, противовирусными, фунгицидными, антиоксидантными, колонизирующими, деструкционными свойствами с помощью биотехнологических решений, имеющая важное значение для микробиологии и биотехнологии.

Диссертационная работа Юлии Викторовны Батаевой на тему: «Особенности микробных комплексов аридной зоны в условиях агро- и техногенеза и их биотехнологическая значимость», представленная на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальностям 1.5.11 – микробиология и 1.5.6 – биотехнология, является завершенной самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований и разработок осуществлен важный вклад в решение актуальных вопросов увеличения устойчивости почвенных экосистем и повышения биоразнообразия в экстремальных аридных условиях окружающей среды.

По актуальности, методическому уровню, научной новизне полученных результатов и их практической значимости представленная диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. 26.09 2022 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Батаева Юлия Викторовна, заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальностям 1.5.11 – микробиология и 1.5.6 – биотехнология.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН (протокол №1 от 30.01.2023 г.)

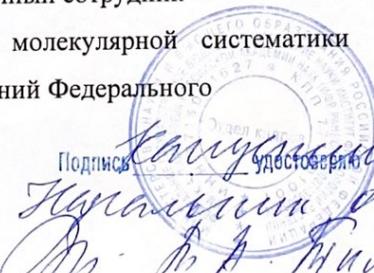
Заведующий лаборатории  
функциональной геномики,  
ведущий научный сотрудник  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института  
физиологии растений им К.А. Тимирязева  
Российской академии наук,  
доктор биологических наук, доцент  
127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 35  
Телефон: (499) 678-53-56  
E-mail: irengold58@gmail.com

  
Голденкова-Павлова  
Ирина  
Васильевна

  
Подпись Голденковой Павловой И.В. Удостоверено  
Ирина Васильевна Голденкова-Павлова  
И.В. Голденкова-Павлова

Старший научный сотрудник  
лаборатории молекулярной систематики  
водных растений Федерального

Капустин  
Дмитрий  
Александрович

  
Подпись Капустин Дмитрий Александрович Удостоверено  
Ирина Васильевна Голденкова-Павлова  
И.В. Голденкова-Павлова

государственного бюджетного учреждения  
науки Института физиологии растений им.  
К.А. Тимирязева Российской академии  
наук, кандидат биологических наук

127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 35

Телефон: (499) 678-54-00

E-mail: [ifr@ippras.ru](mailto:ifr@ippras.ru)