
ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

**Использование стрептомицетов для биоконтроля вредителей
и снижения вредоносности вирусов на томатах в условиях аридной зоны**

**Лилит Норайровна Григорян¹, Михаил Тарьевич Упадышев²,
Анна Дмитриевна Батаева², Юлия Викторовна Батаева^{2✉}**

¹ Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева, Астрахань, Россия

² Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

✉ Автор, ответственный за переписку: bataeva@rgau-msha.ru

Аннотация

Экологизация технологий растениеводства составляет основу современной концепции фитосанитарной оптимизации агроэкосистем. Особого внимания заслуживает применение экологически безопасных препаратов с принципиально новыми механизмами действия на основе актинобактерий, обладающих высоким физиолого-биохимическим потенциалом для защиты растений. Почвенные стрептомицеты технологичны при производстве, имеют длительный срок хранения, удобны для применения в полевых условиях, однако эффективность использования таких препаратов варьирует в широком диапазоне ввиду малой изученности свойств интродуцируемых в почву актинобактерий. В исследованиях впервые установлена биологическая эффективность штамма *Streptomyces carpaticus* RCAM04697 для биоконтроля насекомых-вредителей и снижения вредоносности фитовирусов на томатах в открытом грунте Астраханской области. Цель исследований заключалась в изучении вирулицидных и афицидных свойств суспензии и экстрактов штамма *S. carpaticus* RCAM04697 и в оценке их влияния на урожайность томатов в условиях аридной зоны. Штамм *S. carpaticus* RCAM04697 выделен из бурых полупустынных почв Астраханской области. Полевые испытания показали, что обработка растений томатов суспензией семисуточной культуры штамма *S. carpaticus* RCAM04697 оказала высокую вирулицидную активность на трех исследуемых изолятах фитовирусов: 75,3% (вирус огуречной мозаики); 69,1% (вирус мозаики томата); 82,5% (вирус бронзовости томата). Максимальная афицидная активность на исследуемых тест-объектах также установлена при обработке суспензией *S. carpaticus* RCAM04697 на четырнадцатые сутки после третьей обработки и составила: 87,5% (*A. crassivora*); 86,9% (*A. gossypii*); 86,6% (*A. fabae*). Это свидетельствует, как и при оценке противовирусной активности, о пролонгированном антагонистическом действии культуральной жидкости штамма. Бактеризация томатов открытого грунта суспензией исследуемого штамма привела к повышению урожайности в 2,9 раза по сравнению с контролем. Полученные результаты указывают на значительный потенциал штамма *S. carpaticus* RCAM04697 в производстве биопрепаратов для защиты томатов открытого грунта с вирулицидными, афицидными и фиторегуляторными свойствами.

Ключевые слова

Streptomyces, суспензия, экстракт, томаты, фитовирусы, насекомые-вредители, фитостимулирующая активность, биологическая эффективность

Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации Программы развития Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева на 2021–2030 годы («Приоритет-2030»).

Для цитирования

Григорян Л.Н., Упадышев М.Т., Батаева А.Д., Батаева Ю.В. Использование стрептомицетов для биоконтроля вредителей и снижения вредоносности вирусов на томатах в условиях аридной зоны // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 3. С. 76–95.

AGRONOMY, CROP PRODUCTION, PLANT PROTECTION

Use of streptomycetes for biocontrol of pests and virus mitigation in tomatoes in arid zones

Lilit N. Grigoryan¹, Mikhail T. Upadyshev², Anna D. Bataeva², Yulia V. Bataeva²✉

¹Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉Corresponding author: bataeva@rgau-msha.ru

Abstract

The “greening” of crop production technologies is fundamental to the modern concept of phytosanitary optimization of agroecosystems. Environmentally friendly plant protection products based on actinobacteria, with their novel mechanisms of action and high physiological and biochemical potential, are of particular interest. While soil streptomycetes are technologically scalable, have long shelf lives, and are field-friendly, their effectiveness can vary due to limited knowledge of the properties of introduced actinobacteria. This study is the first to establish the *in vivo* biological effectiveness of *Streptomyces carpaticus* RCAM04697 for biocontrol of insect pests and reduction of phytovirus damage in open-field tomatoes in the Astrakhan Region. The study aimed to investigate the virucidal and antifungal properties of *S. carpaticus* RCAM04697 suspensions and extracts, and to evaluate their impact on tomato yields under arid conditions. The *S. carpaticus* RCAM04697 strain was isolated from brown semi-desert soils of the Astrakhan Region. Field trials demonstrated that treatment of tomato plants with a seven-day culture suspension of *S. carpaticus* RCAM04697 exhibited high virucidal activity against three phytovirus isolates: cucumber mosaic virus (75.3%), tomato mosaic virus (69.1%), and tomato bronzing virus (82.5%). Maximum antifungal activity was also observed with *S. carpaticus* RCAM04697 suspension on day 14 after the third treatment, reaching 87.5% against *A. crassivora*, 86.9% against *A. gossypii*, and 86.6% against *A. fabae*, indicating a sustained antagonistic effect. Bacterization of the open field tomatoes with the *S. carpaticus* RCAM04697 strain resulted in a 2.9-fold yield increase compared to the control. These findings suggest that *S. carpaticus* RCAM04697 possesses significant potential for developing biological products with virucidal, antifungal, and phyto regulatory properties for open-field tomato protection.

Keywords

Streptomyces, suspension, extract, tomatoes, phytoviruses, insect pests, phytostimulating activity, biological efficacy

Acknowledgments

The work was carried out within the framework of the implementation of the Development Program of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy for 2021–2030 (“Priority-2030”).

For citation

Grigoryan L.N., Upadyshev M.T., Bataeva A.D., Bataeva Yu.V. Use of streptomycetes for biocontrol of pests and virus mitigation in tomatoes in arid zones. *Izvestia of Timirazev Agricultural Academy*. 2025. No. 3. P. 75–95.

Введение Introduction

В большинстве овощеводческих хозяйств южных регионов России растение томат (*Lycopersicon esculentum* Mill., сем. *Solanaceae*) занимает одно из ведущих мест среди культур открытого грунта [1, 2]. Экстремальные условия Астраханской области – такие, как длительные периоды засух, засоление почвенных экосистем, оказывают при выращивании томатов воздействие на баланс питательных веществ в почве и метаболическую активность микроорганизмов [3, 4]. Кроме того, интенсивные агротехнологии в растениеводстве зачастую приводят к загрязнению природной среды и подавлению механизмов ее саморегуляции, что в свою очередь ведет к угнетению растений и почвенной микробиоты [5, 6]. Химические пестициды оказывают кратковременное ингибирующее действие на фитопатогенные микроорганизмы и насекомых-вредителей, тогда как биологические агенты негативно воздействуют на фитопатогены в течение всего вегетационного сезона [7–10].

К перспективным экологически безопасным агентам, применяемым для защиты растений от биотического и абиотического стресса, относятся биопрепараты на основе актинобактерий [11–14]. В связи с этим большой интерес вызывают почвенные стрептомицеты, для которых характерен широкий спектр биологической активности включая фиторегуляторную [15, 16]. В качестве агентов биоконтроля бактерии рода *Streptomyces* отличаются высокой колонизирующей способностью, устойчивостью спор к излучениям и высушиванию, временному отсутствию питательных веществ, стрессовым экологическим факторам [17, 18]. Данные бактерии синтезируют огромное разнообразие химических структур – таких, как поликетиды, пептиды, макролиды, индолы, аминокликозиды и терпены, посредством которых на растение оказывается регуляторное действие и контролируется развитие фитопатогенов [19]. Широкое разнообразие антибиотиков стрептомицетного происхождения составляют ансамицины, аминокликозиды, тетрациклины, β -лактамы, макролиды, пептиды, полиены, антрациклины, полиэферы [20–22].

Многие стрептомицеты, выделенные из почвы, ризосферы и тканей различных видов растений, обладают антимикотическими и бактерицидными свойствами [23–28]. Хитиназы данных микроорганизмов ингибируют рост грибов и разрушают их клеточную стенку [29, 30].

Актинобактерии способны оказывать антагонистическую активность в отношении вредных членистоногих [31] и возбудителей вирусных болезней растений [32], которые снижают урожайность сельскохозяйственных культур, что особенно проявляется в южных регионах земледелия, где создается один из самых высоких инфекционных фонов [33]. Вирусная инфекция усиливает предрасположенность растений к воздействию бактериальных и грибных возбудителей растений. Поражение вирусами ухудшает внешний вид и качество томатов [34, 35]. Несвоевременное решение возникшей фитосанитарной проблемы приводит к кратному увеличению пестицидной нагрузки на полевые биоценозы, снижению урожайности вплоть до экономической нецелесообразности возделывания культуры [36, 37].

Часто механизм противомикробной и инсектицидной активности стрептомицетов обусловлен синтезом сразу нескольких метаболитов, что затрудняет формирование устойчивости в популяциях фитопатогенов [38]. Полифункциональные свойства актинобактерий обеспечивают повышенную эффективность процесса восстановления почвенных экосистем – например, после загрязнения пестицидами [39, 40].

Уникальный биосинтетический потенциал, широкое распространение в окружающей среде, адаптированность к аридным условиям делают бактерии рода

Streptomyces перспективным биотехнологическим объектом для защиты томатов от вредных членистоногих и фитопатогенов различной этиологии.

Цель исследований: изучение вирулицидных и афицидных свойств суспензии и экстрактов штамма *Streptomyces carpaticus* RCAM04697 (SCPM-O-B-9993) и оценка их влияния на урожайность томатов открытого грунта в условиях аридной зоны.

Методика исследований

Research method

Экспериментальные исследования выполнены на базе демонстрационного участка филиала ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр» по Астраханской области (г. Астрахань) в 2019–2020 гг.

Объектом исследований являлись суспензия семисуточной культуры (10^9 КОЕ/мл) и экстракты (метанольный, водно-спиртовой (20:80; 50:50; 80:20) гексановый) штамма *S. carpaticus* RCAM04697 (SCPM-O-B-9993), выделенного из бурых полупустынных почв Астраханской области. Ранее в работах [32, 41] были показаны инсектицидные, фунгицидные, противовирусные свойства штамма RCAM04697 (SCPM-O-B-9993).

Штамм депонирован в ведомственной коллекции полезных микроорганизмов сельскохозяйственного назначения (ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии», г. Пушкин) под номером RCAM04697 и в государственной коллекции патогенных микроорганизмов и клеточных культур «ГКПМ-Оболensk» (ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии») под номером SCPM-O-B-9993 [22].

Для определения биологической активности исследуемый штамм выращивали в жидкой крахмально-казеиновой среде в лабораторном автоклавируемом ферментере BL-119593 Bailun Biotechnology (ООО «Био-Рус», Россия) в течение 7 суток. Выращивание культуры в ферментере проводили при соблюдении следующих условий: температура культивирования – $28 \pm 1^\circ\text{C}$; скорость перемешивания – 120 об/мин при показателе pO_2 (не ниже 20%); удельный расход воздуха в 1 мин – 1,0–1,5 л/л среды [42]. Получали суспензию с концентрацией 10^9 КОЕ/мл, которую использовали для эксперимента.

Сухую биомассу штамма для приготовления метанольного и водно-спиртового экстрактов получали путем высушивания суспензии штамма RCAM04697 в ротационном испарителе IKA RV 10 digital (ООО «ЛабСПЕЙС», Россия) и досушивания в термостате TCO-1/80 СПУ (ООО НПП «Агроприбор», Россия) при температуре $+37^\circ\text{C}$ в течение суток. Сухую биомассу штамма заливали метанолом или раствором дистиллированной воды и этанола (20:80; 50:50; 80:20) в соотношении 1 мг/мл на 40 мин [43]. Супернатант получали на центрифуге Eppendorf 5430 (Eppendorf, Германия), высушивали в термостате TCO-1/80 СПУ (ООО НПП «Агроприбор», Россия) при температуре $+37^\circ\text{C}$ в течение 3 суток до постоянной массы. Полученный сухой экстракт использовали для опытов.

Для приготовления гексановых экстрактов 250 мл суспензии штамма экстрагировали 5 мл гексана в течение 3 мин в делительной воронке. Гексановый экстракт высушивали в ротационном испарителе IKA RV 10 Digital (ООО «ЛабСПЕЙС», Россия). Экстракты сохраняли в морозильной камере при температуре -18°C .

Опыты проведены на томатах раннеспелого (98–105 суток) сорта Гранд (ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», Россия), устойчивых к экстремальным погодным условиям и предназначенных для выращивания в открытом грунте. Томаты выращивали с марта по сентябрь, температура воздуха в данный период сохранялась от $+6,5 \dots +7,6^\circ\text{C}$ в марте до $-38 \dots -42^\circ\text{C}$ в июле, в августе температура снижалась.

За вегетационный период в зоне нахождения опытного участка выпало 69 мм осадков при норме 165 мм. Весь период вегетации полив производился через систему капельного орошения один раз в 7 дней с нормой 20–30 л воды на 1 м² [44].

Почва демонстрационного участка – зональная светло-каштановая с уровнем рН 6,9 и содержанием гумуса 1,3% [45]. Предшественником на участке являлся томат для усиления инфекционного фона, вызванного фитопатогенами и вредными членистоногими. Семена томатов проращивали в течение 7 суток при температуре +23°C в термостате ТСО-1М (ООО НПП «Агроприбор», Россия). На стадии 1–2 настоящих листьев (через 20 дней после появления всходов) проводили пикировку растений в пластмассовые кассеты. Рассаду выращивали до стадии 3–4 настоящих листьев в лабораторных условиях при температуре +25°C и искусственном освещении, после чего высаживали в открытый грунт. Растения томата сорта Гранд высаживали на рандомизированно размещенных делянках. Для формирования оптимальной густоты стояния растений, которая при применении системы капельного орошения составляет 25–45 тыс. шт. растений на 1 га, на демонстрационном участке выбрана следующая схема посадки рассады томата: 90 + 50; 120 + 60; 140 см [1].

Исследования выполнены в 4 повторностях с трехкратными обработками [46]. В каждой экспериментальной и контрольной группах учитывали 30 растений. Способы обработок состояли из пролива под корень (первая обработка) и опрыскивания (вторая и третья обработки) из расчета 10 мл на 1 растение и заключались в следующем: 1) пролив под корень после посадки рассады в открытый грунт в фазу 3–4 настоящих листьев (5 июня); 2) опрыскивание в фазу цветения и бутонизации (29 июня); 3) опрыскивание в фазу образования завязи и молочной спелости (10 июля).

Схема опыта включала в себя 8 вариантов: 1) отрицательный контроль (К⁻) – обработка водопроводной водой; 2) положительный контроль для оценки вирулицидной активности (К_В⁺) – обработка препаратом Фармайод, гликолевый раствор (ГР); 3) положительный контроль для изучения инсектицидной активности (К_А⁺) – обработка препаратом Фитоверм 5%, концентрат эмульсии (КЭ); 4) обработка суспензией штамма RCAM04697; 5) обработка метанольным экстрактом штамма RCAM04697; 6) обработка гексановым экстрактом штамма RCAM04697; 7) обработка водно-спиртовым экстрактом (20:80) штамма RCAM04697; 8) обработка водно-спиртовым экстрактом (50:50) штамма RCAM04697; 9) обработка водно-спиртовым экстрактом (80:20) штамма RCAM04697.

Через 5 суток после переноса в открытый грунт растения томата (стадия 3–4 настоящих листьев) заражали вирусами мозаики томата (ВМТо) (*Tomato mosaic virus, ToMV*), мозаики огурца (ВОМ) (*Cucumber Mosaic Virus, CMV*) и бронзовости томата (ВБТ) (*Tomato spotted wilt virus, TSWV*) [47, 48] путем нанесения инокулюмов на верхнюю часть поверхности листовых пластин [49, 50]. Источником инфекции служили изоляты ВОМ, ВМТо, ВБТ, выделенные из растений томатов открытого грунта отечественной селекции Ажур F1 (ООО «Гавриш», Россия).

Через 14 суток после обработки инокулюмами вирусов растения томата опрыскивали суспензией и экстрактами штамма *S. carpaticus* RCAM04697. Контрольные растения обрабатывали водопроводной водой (К⁻) и препаратом Фармайод, ГР (К_В⁺). Фармайод, ГР, выбранный в качестве положительного контроля для подтверждения вирулицидной активности, использовали в соответствии с Государственным каталогом пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации [51]: норма применения – 5 л/га; расход рабочей жидкости – 5000 л/га (ООО «НБЦ «Фармбиомед», Россия).

Оценку проявления фитовирусов на томатах учитывали за первые сутки перед обработкой (шестые сутки после инокуляции фитовирусами), на третьи, седьмые

и четырнадцатые сутки после третьей обработки согласно методическим указаниям по регистрационным испытаниям пестицидов [55].

Пораженность растений томата фитовирусами после второй и третьей обработок оценивали визуально по симптоматике и иммунохроматографическим методом (ИХА) с использованием набора ImmunoStrip Test Kit Flashkits® (Agdia Inc., США), состоящего из пластины микротитра, пропитанной щелочным ферментом, покрытой с обеих сторон антителами выявляемого фитовируса, и заполненного буферного пакета для экстракции образцов [52, 53]. Для диагностики часть листа (0,15 г) исследуемого растения помещали в нижнюю часть пакета с фосфатным буфером (0,2 М, pH 7,4) и растирали образец ткани растения между сетчатыми накладками. В полученную суспензию до метки «sample» погружали иммунострип и оставляли на 30 мин в вертикальном положении для последующей обработки результатов анализа [54]. По окрашиванию полосы, соответствующей по подвижности положительному контролю, определяли зараженные растения. Вирулицидную активность вариантов опыта рассчитывали как процент безвирусных растений по данным иммунохроматографии к общему числу растений в группе ($n = 30$).

Для определения инсектицидной активности суспензии и экстрактов штамма RCAM04697 на посадке учитывали следующие виды тли (сем. *Aphididae*), имеющей высокую вредоносность на овощных культурах открытого грунта в условиях Астраханской области: бахчевая *Aphis gossypii* Glover.; бобовая *A. fabae* Black.; люцерновая *A. crassivora* Koch. [44]. Контрольные растения обрабатывали водопроводной водой (K^-) и препаратом Фитоверм 5% КЭ (K_A^+). Фитоверм 5% КЭ, являвшийся положительным контролем для исследования инсектицидной активности, использовали в соответствии с Государственным каталогом пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации [51].

Инсектицидную активность определяли по методике, основанной на контактном взаимодействии препарата и тест-объекта [56]. Учет антагонистической активности в отношении насекомых-вредителей (*A. gossypii*, *A. fabae*, *A. crassivora*) на растениях томата проводили на третьи сутки после второй и третьей обработок и рассчитывали по формуле С.Ф. Henderson и Е.В. Tilton (формула W.S. Abbot с поправкой на контроль) [57].

Имаго тли учитывали за первые сутки перед обработкой, на третьи, седьмые и четырнадцатые сутки после третьей обработки в соответствии с методическими указаниями [58].

Фитостимулирующую активность оценивали по урожайности томатов, которую определяли, суммируя массу созревших плодов в каждом варианте.

Математическую обработку полученных данных и расчет статистических параметров производили с использованием Microsoft Office Excel 2016 [59]. Для сравнения данных вариантов опыта, объединенных по одному признаку, использовали двухфакторный анализ. При оценке соотношения межгрупповой изменчивости применяли *t*-критерий Стьюдента для проверки нулевой гипотезы о равенстве средних для уровня значимости $p < 0,05$. Данные по эффективности вариантов эксперимента обрабатывали методом дисперсионного анализа при доверительном интервале 95%.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Данные по учету растений томата за первые сутки до обработок свидетельствуют о 100%-ной зараженности опытных и контрольных растений в результате искусственного инфицирования возбудителями вирусных болезней согласно схеме

эксперимента. Зараженные растения характеризовались такой симптоматикой, как деформация листьев и значительная задержка роста. На третьи сутки после третьей обработки был отмечен противовирусный эффект суспензии штамма RCAM04697: 71,9% (BOM); 60,8% (BMTo); 73,3% (BBT). На четырнадцатые сутки после третьей обработки томатов суспензия штамма RCAM04697 показала максимальную вирулицидную активность на 3 исследуемых изолятах фитовирусов: 75,3% (BOM), 69,1% (BMTo), 82,5% (BBT), которая была существенно выше, чем при обработке Фармайодом (табл. 1).

Таблица 1

Влияние суспензии и экстрактов *S. carpaticus* RCAM04697 на фитовирусы томатов сорта Гранд после третьей обработки

Table 1

Effect of *S. carpaticus* RCAM04697 suspension and extracts on phytoviruses in “Grand” tomatoes after the third treatment

№ п/п	Вариант обработки	Вирулицидная активность, %								
		BOM			BMTo			BBT		
		срок после обработки, сутки								
		3	7	14	3	7	14	3	7	14
1	Отрицательный контроль	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Положительный контроль (Фармайод, ГР)	40,7 ±2,24*	41,9 ±1,62	45,5 ±0,07	48,1 ±6,05	55,7 ±8,11*	57,4 ±5,92	62,9 ±0,15	65,5 ±1,11*	70,9 ±5,53*
3	Суспензия	71,9 ±0,75	73,2 ±3,20	75,3 ±9,14	60,8 ±2,74	66,4 ±9,11*	69,1 ±2,05	73,3 ±1,14	79,9 ±2,01	82,5 ±6,39*
4	Метанольный экстракт	12,5 ±1,89*	14,0 ±0,93	14,8 ±5,71*	15,2 ±0,59	18,1 ±6,43	18,9 ±0,21	19,6 ±6,30	19,9 ±3,25	21,0 ±15,07
5	Гексановый экстракт	28,3 ±0,13*	29,8 ±5,81	32,2 ±0,47*	27,8 ±1,35	30,5 ±7,29*	33,1 ±9,06	55,1 ±5,82	61,3 ±0,53	62,7 ±1,00*
6	Водно-спиртовой экстракт (20:80)	22,5 ±1,66*	24,9 ±4,29	27,1 ±8,13	26,6 ±4,22	28,2 ±3,96	29,5 ±10,13	31,9 ±4,32*	32,5 ±2,85	35,1 ±11,8
7	Водно-спиртовой экстракт (50:50)	20,2 ±3,24*	25,9 ±1,07	26,3 ±5,43	24,4 ±0,60*	26,2 ±2,57*	27,9 ±7,31	25,1 ±9,21	27,9 ±1,54*	28,4 ±2,30*
8	Водно-спиртовой экстракт (80:20)	19,3 ±7,15*	22,6 ±0,52	25,0 ±9,91	21,4 ±5,73*	23,6 ±6,12	25,5 ±3,25	20,8 ±5,95*	23,1 ±1,22*	25,3 ±8,94

*Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

Вирулицидная активность экстрактов штамма RCAM04697 во всех вариантах опыта оказалась ниже значений положительного контроля Фармайода. Возможно, это связано с тем, что в составе экстрактов разнообразие метаболитов, оказывающих противовирусное действие, намного меньше, чем в суспензии. Метанольные экстракты не предотвращали развития вирусной симптоматики у растений томата, их вирулицидная активность на четырнадцатые сутки после третьей обработки составила: 14,8% (BOM); 18,9% (BMT₀); 21,0% (BBT). Биологическая эффективность в отношении фитовирусов в остальных вариантах опыта варьировала от 25,0% (BOM) при обработке водно-спиртовым (80:20) до 62,7% (BBT) при обработке гексановым экстрактами штамма *S. carpaticus* RCAM04697.

К настоящему времени накоплен достаточный научный материал, позволяющий подтвердить эффективность использования стрептомицетов для снижения вредоносности фитопатогенных вирусов [60]. Например, штамм *S. cellulosaе* Actino 48 вызывает системную устойчивость к вирусу табачной мозаики (BTM) (*Tobacco mosaic virus*, *TMV*) на посадках томатов в тепличных условиях. Данный штамм снижает вредоносность фитовируса на 53,8% относительно контроля (без бактеризации), что, по мнению авторов, связано со стимуляцией синтеза пероксидазы, хитиназы и общих фенольных соединений в растительном организме под влиянием *S. cellulosaе* [61]. Изоляты стрептомицетов M3, M2, K1 и K2 проявляют высокую биологическую активность в отношении BTM на дурмане обыкновенном (*Datura stramonium*) [62]. Ингибирующая активность почвенного изолята *S. ahygroscopae* в отношении BTM достигает 88,7% [63]. Исследование влияния штамма *S. pactum* Act12 на растения, инокулированные вирусом желтой курчавости листьев томата (*Tomato yellow leaf curl virus*) в полевых условиях, выявило, что несмотря на вторичное заражение растений насекомыми-вредителями открытого грунта, наблюдалось снижение проявления симптомов вирусоносительства на 44,3% [64]. Известно, что при замачивании семян и опрыскивании растений суспензиями штаммов *S. violatus*, *S. nasri* H35, *S. sp.*, *S. aureofaciens*, *S. violaceusniger* вирулицидная активность составляет в отношении BOM 70–85% [65]. Опрыскивание суспензиями стрептомицетов *S. griseorebens* и *S. cavourensis* за 48 ч до инокуляции BOM способствует проявлению высокой вирулицидной активности (90 и 85% соответственно) [66].

Учет зараженности растений томата бахчевой, бобовой и люцерновой тлей за первые сутки до экспериментальных обработок выявил однородное присутствие данных представителей вредных членистоногих на демонстрационном участке во всех вариантах опыта. В среднем численность имаго тли на одном растении составила 28 (*A. crassivora*), 35 (*A. gossypii*) и 18 (*A. fabae*) особей.

Оценка афицидной активности на исследуемых тест-объектах показала максимальную биологическую эффективность при обработке суспензией *S. carpaticus* RCAM04697 на четырнадцатые сутки после третьей обработки и составила: 87,5% (*A. crassivora*); 86,9% (*A. gossypii*); 86,6% (*A. fabae*). Однако эффективность суспензии штамма оказалась незначительно ниже инсектицидной активности препарата Фитоверм 5%, КЭ (табл. 2).

Минимальная активность в отношении трех видов тлей на четырнадцатые сутки после третьей обработки зафиксирована в варианте с обработкой гексановым экстрактом штамма: 22,9% (*A. crassivora*); 27,1% (*A. gossypii*); 20,0% (*A. fabae*). Биологическая эффективность в остальных вариантах опыта после последней обработки колебалась от 24,7% (*A. crassivora*) при обработке водно-спиртовым экстрактом (80:20) до 66,3% (*A. fabae*) метанольным

экстрактом. Актинобактерии являются продуцентами различных алкалоидов с противомикробным и инсектицидным действием [67]. В литературе описано подавляющее влияние алкалоидов растительного и микробного происхождения на насекомых-вредителей [68, 69].

Фитостимулирующее влияние обработок на растениях томата оценивали по значениям урожайности. За весь период вегетации проведено 9 сборов: 27 июля, 3 августа, 10 августа, 17 августа, 24 августа, 31 августа, 7 сентября, 14 сентября, 21 сентября (рис.).

Таблица 2

Биологическая эффективность суспензии и экстрактов *S. carpaticus* RCAM04697 в отношении тли на томатах сорта Гранд после третьей обработки

Table 2

Biological efficacy of *S. carpaticus* RCAM04697 suspension and extracts against aphids on “Grand” tomatoes after the third treatment

№ п/п	Вариант обработки	Биологическая эффективность, %								
		A. gossypii			A. fabae			A. crassivora		
		срок после обработки, сутки								
		3	7	14	3	7	14	3	7	14
1	Отрицательный контроль	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Положительный контроль (Фитоверм 5%, КЭ)	85,9 ±0,21*	87,1 ±3,32	88,2 ±3,02	83,3 ±0,81	85,5 ±1,57	88,1 ±6,11	86,3 ±8,37	87,9 ±1,83*	88,2 ±9,93
3	Суспензия	84,3 ±1,51	86,5 ±0,27	86,9 ±2,43	81,9 ±4,06	83,2 ±2,95	86,6 ±1,20	84,5 ±1,13	85,9 ±0,19	87,5 ±6,55*
4	Метанольный экстракт	55,2 ±1,22*	55,9 ±3,41	56,1 ±1,01*	67,1 ±1,11	65,9 ±2,03	66,3 ±0,11*	54,9 ±2,05	55,1 ±1,93	56,0 ±3,07
5	Гексановый экстракт	20,7 ±2,43*	22,6 ±1,82	22,9 ±7,25	25,8 ±0,52	26,5 ±5,46*	27,1 ±2,35	19,5 ±5,61	19,8 ±2,95	20,0 ±8,24*
6	Водно-спиртовой экстракт 20:80)	42,2 ±2,13	45,0 ±0,59	48,4 ±0,12*	55,0 ±2,30*	53,8 ±5,65	54,2 ±10,26	39,5 ±3,19*	41,0 ±9,11	41,7 ±5,14
7	Водно-спиртовой экстракт (50:50)	33,9 ±2,85*	34,2 ±0,96	34,8 ±2,35	41,1 ±3,62	42,5 ±5,67*	43,4 ±1,29	29,5 ±3,32	31,1 ±5,74	31,9 ±3,65*
8	Водно-спиртовой экстракт (80:20)	25,1 ±1,12*	25,5 ±1,79	25,9 ±0,11	31,6 ±0,52*	34,8 ±3,84*	35,9 ±2,17	23,5 ±1,31	24,0 ±6,93	24,7 ±2,18

*Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

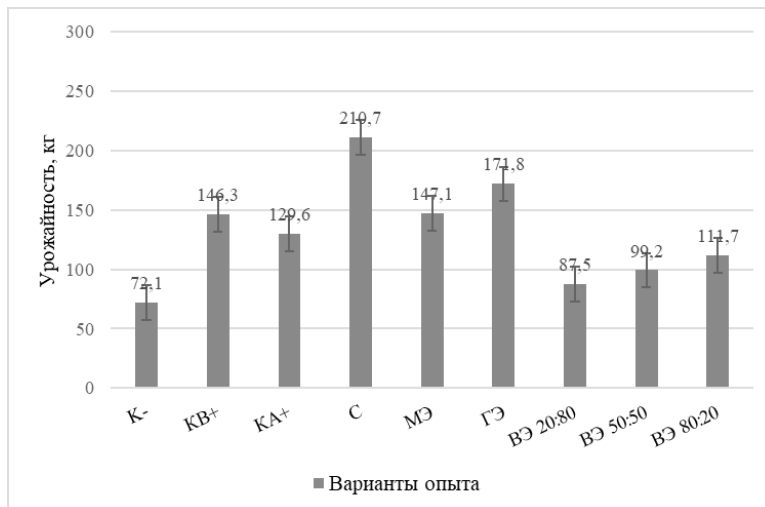


Рис. 1. Влияние суспензии и экстрактов штамма *S. carpaticus* RCAM04697 на урожайность томатов сорта Гранд:

K- – отрицательный контроль; KB+ – положительный контроль для оценки вирулицидной активности;

KA+ – положительный контроль для оценки афидицидной активности;

C – суспензия; МЭ – метанольный экстракт; ГЭ – гексановый экстракт;

ВЭ 20:80 – водно-спиртовой экстракт (20:80);

ВЭ 50:50 – водно-спиртовой экстракт (50:50);

ВЭ 80:20 – водно-спиртовой экстракт (80:20)

Figure 1. Effect of *S. carpaticus* RCAM04697 suspension and extracts on “Grand” tomato yield. Treatments:

K – negative control; KV+ – positive control (virucidal activity);

KA+ – positive control (antifungal activity); S – suspension; ME – methanol extract;

HE – hexane extract; WE20:80 – water-alcohol extract (20:80);

WE50:50 – water-alcohol extract (50:50); WE80:20 – water-alcohol extract (80:20)

Максимальная урожайность отмечена при бактеризации суспензией – 210,7 кг. Обработка растений гексановым экстрактом тоже дала существенный результат – 171,8 кг, хотя инсектицидная активность была наименьшей в сравнении со всеми вариантами опыта, а вирулицидная активность была наибольшей в сравнении со всеми применяемыми экстрактами. Соединения, экстрагируемые в процессе экстракции, часто имеют активные антагонистические свойства. Например, в литературе описан антимицин А – вторичный метаболит *S. kaviengensis* с широким спектром действия, который проявлял высокую активность против РНК-вирусов [70].

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа данных показали, что на варьирование урожайности томатов в опыте существенное влияние оказали варианты обработок, причем вклад фактора «Суспензия штамма» ($F = 1,41$; $p \geq 0,95$) более чем в 12 раз превосходил вклад фактора «Экстракты штамма» ($F = 0,11$; $p \geq 0,95$) (табл. 3).

Вклад в варьирование урожайности взаимодействия факторов «Суспензия штамма» и «Экстракты штамма» оценивался как существенный ($p \geq 0,95$), тогда как сам по себе фактор «Экстракты штамма» не оказал существенного влияния на урожайность томатов.

Полученные результаты не только свидетельствуют об отсутствии у штамма бактерий *S. carpaticus* RCAM04697 фитотоксического действия, но и демонстрируют его способность стимулировать рост растений томата за счет подавления возбудителей и переносчиков инфекции.

**Дисперсионный анализ влияния суспензии и экстрактов
штамма *S. carpaticus* RCAM04697 на урожайность томатов сорта Гранд**

Table 3

**Analysis of variance (ANOVA) of the effect
of *S. carpaticus* RCAM04697 suspension and extracts on “Grand” tomato yield**

Источник варьирования	SS	df	MS	F	p
Суспензия штамма (фактор А)	13776,96	1	13766,96	1,41	6,6079*
Экстракты штамма (фактор В)	5628,96	5	1125,79	0,11	5,0503*

Примечание. SS – сумма квадратов; df – число степеней свободы; MS – средние квадраты; F – критерий Фишера; p – уровень значимости.

*Влияние на варьирование признака достоверно при $p \geq 0,95$.

Штамм *S. carpaticus* RCAM04697 является компонентом почвенных экосистем Астраханского региона, вследствие чего не причиняет вреда окружающей среде. С учетом этого преимущества трехкратное количество обработок не оказывает негативного действия на фитосанитарную обстановку при возделывании томатов. Анализ результатов полевого опыта подтвердил способность актинобактерий к синтезу метаболитов с антагонистическими свойствами пролонгированного действия, перспективными для защиты растений от фитопатогенов. Следующим этапом исследований будет поиск и выделение активных метаболитов штамма *S. carpaticus* RCAM04697 с противовирусными и инсектицидными свойствами.

Выводы Conclusions

Полученные данные свидетельствуют о том, что применение суспензии семисуточной культуры штамма *S. carpaticus* RCAM04697 способствует снижению численности насекомых-вредителей (*A. gossypii*, *A. fabae*, *A. crassivora*), сдерживает развитие возбудителей вирусных болезней растений (ВОМ, ВМТо, ВБТ) до экономически приемлемого порога вредоносности, повышает урожайность томатов открытого грунта, и это оказывает положительный эффект на агроценозы аридной зоны.

Список источников

1. Туманян А.Ф., Тхань Диеп Х.Т. Агротехника возделывания томатов в аридной зоне // *Научно-агрономический журнал*. 2010. № 2 (87). С. 40–43. EDN: WDFKEZ
2. Байрамбеков Ш.Б., Корнева О.Г., Дубровин Н.К., Полякова Е.В. Полнее задействовать фитосанитарный потенциал орошаемых агроценозов овощебахчевых культур и картофеля // *Защита и карантин растений*. 2017. С. 27–32. EDN: ZMLKLZ
3. Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. № 5. С. 119–125. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.641rus>

4. Батаева Ю.В., Григорян Л.Н., Курашов Е.А., Крылова Ю.В. и др. Изучение метаболитов *Streptomyces carpaticus* RCAM04697 для создания экологически безопасных средств защиты растений // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 3. С. 172–178. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-3-172-178>
5. Иванов А.Л. Научное земледелие России: итоги и перспективы // *Земледелие*. 2014. № 3. С. 25–29. EDN: SBHGBV
6. Широких И.Г., Лыскова И.В., Назарова Я.И., Градобоева Т.П. и др. Местные штаммы стрептомицетов в защите гороха (*Pisum sativum* L.) от вредоносных инфекций // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 2. С. 173–182. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-173-182>
7. Grigoryan L.N., Bataeva Yu.V., Novichenko O.V., Shaheen M. et al. Study of the Effect of Suspension and Extracts *Streptomyces carpaticus* RCAM04697 Strain on Safety and Quality Indicators of Tomato. *Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology*. Karshi, Republic of Uzbekistan. 2023;3011:225-234. <https://doi.org/10.1063/5.0162340>
8. Чеботарь В.К. Эндофитные бактерии как перспективный биотехнологический ресурс и их разнообразие // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. № 50 (5). С. 648–654. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.648rus>
9. Mnif I., Ghribi D. Review Lipopeptides Biosurfactants: Mean Classes and New Insights for Industrial, Biomedical and Environmental Applications. *Biopolymers*. 2015;104(3):129-147. <https://doi.org/10.1002/bip.22630>
10. Olfa K.-F., Saoussen B.K., Mouna D., Amel K. et al. Improvement of Antifungal Metabolites Production by *Bacillus subtilis* V 26 for Biocontrol of Tomato Postharvest Disease. *Biological Control*. 2016;95:73-82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.01.005>
11. Grigoryan L.N., Bataeva Yu.V., Andreeva E.D., Zakar'yaeva D.Kh. et al. Study of the Component Structure of the Metabolites of Bacteria *Nocardia umidischolae* in the Search for Eco-friendly Plant Protection Agents. *Russian Journal of General Chemistry*. 2020;90(13):2531-2541 (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1070363220130010>
12. Широких И.Г., Широких А.А., Ашихмина Т.Я. Оценка антагонистического потенциала и антибиотической устойчивости актиномицетов, выделенных из двух желтоземов юго-восточного Китая // *Почвоведение*. 2018. № 7. С. 859–867. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18070122>
13. Григорян Л.Н., Батаева Ю.В. Экологические особенности и биотехнологические возможности почвенных актинобактерий (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2023. № 2. С. 6–19. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-006-019>
14. Bataeva Yu.V., Grigoryan L.N., Bogun A.G., Kislichkina A.A. et al. Biological Activity and Composition of Metabolites of Potential Agricultural Application from *Streptomyces carpaticus* K-11 RCAM04697 (SCPM-O-B-9993). *Microbiology*. 2023;92(3):459-467. <https://doi.org/10.1134/S0026261723600155>
15. Назарова Я.И., Широких И.Г., Бакулина А.В., Баранова Е.Н. и др. Идентификация двух ризосферных изолятов стрептомицетов и изучение *in vitro* их колонизирующей активности // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. С. 72–79. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-072-079>
16. Čihák M., Kameník Z., Šmidová K., Bergman N. et al. Secondary Metabolites Produced during the Germination of *Streptomyces coelicolor*. *Frontiers In Microbiology*. 2017;8:2495. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02495>
17. Wink J., Mohammadipanah F. Biology and Biotechnology of *Actinobacteria*. *Ed. Journal Hamed*. 2017:395-408. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60339-1>

18. Vurukonda S.S.K.P., Giovanardi D., Stefani E. Plant Growth Promoting and Biocontrol Activity of *Streptomyces* spp. as Endophytes. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018;19(4):952-961. <https://doi.org/10.3390/ijms19040952>
19. Tarkka M., Hampp R. Secondary Metabolites of Soil Streptomycetes in Biotic Interactions. *Secondary Metabolites in Soil Ecology*. 2008:107-126
20. Треножникова Л.П., Балгимбаева А.С., Ултанбекова Г.Д., Галимбаева Р.Ш. Антифунгальная активность против патогенов зерновых культур и изучение антибиотика штамма *Streptomyces* sp. К-541, выделенного из экстремальных экосистем Казахстана // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. № 53 (1). С. 96–102. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.96rus>
21. Ceylan O., Okmen G., Ugur A. Isolation of Soil Streptomyces as Source Antibiotics Active against Antibiotic-resistant Bacteria. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2008;2:73-82
22. Bataeva Yu.V., Delegan Ya.A., Bogun A.G., Shishkina L.A. et al. Whole Genome Analysis and Assessment of the Metabolic Potential of *Streptomyces carpaticus* SCPM-O-B-9993, a Promising Phytostimulant and Antiviral Agent. *Biology*. 2024;13(6):388. <https://doi.org/10.3390/biology13060388>
23. Cohen M.F., Mazzola M. Resident Bacteria, Nitric Oxide Emission and Particle Size Modulate the Effect of *Brassica napus* Seed Meal on Disease Incited by *Rhizoctonia solani* and *Pythium* spp. *Plant and Soil*. 2006;286(12):75-86. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9027-1>
24. Wellington B., Figueiredo J.E.F. Efficacy and Dose – Response Relationship in Biocontrol in *Fusarium* Disease in Maize by *Streptomyces* spp. *European Journal of Plant Pathology*. 2008;120(3):311-316 <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9220-y>
25. Chater K.F., Biro S., Lee K.J., Palmer T. et al. The Complex Extracellular Biology of *Streptomyces*. *FEMS Microbiology Reviews*. 2010;34:171-198. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2009.00206.x>
26. Sharma M. Actinomycetes: Source, Identification, and Their Applications. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2014;3(2):801-832. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.089>
27. Ulloa-Ogaz A.L., Muñoz-Castellanos L.N., NevárezMoorillón G.V. Biocontrol of Phytopathogens: Antibiotic Production as Mechanism of Control. *The Battle against Microbial Pathogens: Basic Science, Technological Advances and Educational Programs*. 2015:305-309
28. Li Y., Kong L., Shen J., Wang Q. et al. Characterization of the Positive SARP Family Regulator PieR for Improving Piericidin A1 Production in *Streptomyces piomogues* var. hangzhouwanensis. *Synthetic and Systems Biotechnology*. 2019;4(1):16-24. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2018.12.002>
29. Williamson N.P., Brian E.M., Wellington H. Molecular Detection of Bacterial and Streptomycete Chitinases in the Environment. *Antonie van Leeuwenhoek*. 2000;78.3(4):315-321. <https://doi.org/10.1023/a:1010225909148>
30. Efimenko T.A., Malanicheva I.A., Vasil'eva B.F., Glukhova A.A. et al. Antibiotic Activity of Bacterial Endobionts of Basidiomycete Fruit Bodies. *Microbiology*. 2016;5:740-747. <https://doi.org/10.1134/S0026261716060084>
31. Сергеева О.В., Долженко Т.В. Биологическая эффективность аверсектина С в отношении сосущих вредителей // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2018. № 2 (51). С. 89–94. EDN: XUEGJV
32. Штамм *Streptomyces carpaticus* для защиты от насекомых-вредителей, грибных, вирусных болезней и стимуляции роста томатов: Патент 2695157 С1 (Российская

- Федерация): МПК C12N1/20, A01N63/02, C12R1/465 / Л.Н. Григорян, Ю.В. Батаева, В.А. Шляхов, И.С. Дзержинская, 2019
33. Гнутова Р.В. Современные тенденции в таксономии и номенклатуре вирусов // *Успехи современной биологии*. 2011. № 131 (6). С. 563–577. EDN: ONPGVP
34. Толкач В.Ф., Гнутова Р.В. Вредоносность вируса огуречной мозаики для овощных и декоративных культур // *Защита и карантин растений*. 2011. № 7. С. 24–26. EDN: NVUIKR
35. Гнутова Р.В. Современное состояние изучения вирусов овощных культур на Дальнем Востоке // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2013. № 5. С. 321–340. EDN: RMTWSV
36. Тураева С.М., Курбанова Э.Р., Мамарозилов У.Б., Хидирова Н.К. и др. Биологическая эффективность экстракта *Haplophyllum perforatum* против *Tuta absoluta* и его влияние на физиологические свойства томата // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. № 57 (1). С. 183–192. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.183rus>
37. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М. Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 3. С. 6–13. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-006-013>
38. Schrey S.D., Tarkka M.T. Friends and Foes: Streptomyces as Modulators of Plant Disease and Symbiosis. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2008;94(1):11-19. <https://doi.org/10.1007/s10482-008-9241-3>
39. Круглов Ю.В., Лисина Т.О. Интродукция в почву *Bacillus megaterium* 501RIF: Факторы, влияющие на выживание, спорообразование и разложение гербицида прометрина // *Сельскохозяйственная биология*. 2014. № 5. С. 107–112. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.5.107rus>
40. Широких И.Г., Лыскова И.В., Назарова Я.И., Градобоева Т.П. и др. Местные штаммы стрептомицетов в защите гороха (*Pisum sativum* L.) от вредоносных инфекций // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 2. С. 173–182. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-173-182>
41. Григорян Л.Н., Батаева Ю.В., Шляхов В.А., Магзанова Д.К. и др. Фитотоксичность и инсектоакарицидная активность актиномицетов, выделенных из засоленных почв аридной территории // *Юг России: экология, развитие*. 2020. № 15 (2). С. 103–112. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-103-112>
42. Гаузе Г.Ф., Преображенская Т.П., Свешникова М.А., Терехова Л.П. и др. *Определитель актиномицетов. Роды Streptomyces, Streptoverticillium, Chainia*. Москва: Наука, 1983. 248 с.
43. Бойкова И.В., Павлюшин В.А. Актиномицеты – основа новых биопрепаратов для защиты растений от вредных членистоногих // *Информационный бюллетень ВПРС МОББ*. 2002. № 33. С. 102–113
44. Говоров Д.Н., Живых А.В., Шабельникова А.А., Никулин А.Н. и др. *Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2023 году и прогноз развития вредных объектов в 2024 году*. Москва, 2023. 1459 с.
45. Александров С.О., Шантасов А.М., Худякова Е.А., Белялов Р.М. *Агрохимическая характеристика почв Астраханской области*. Астрахань: ГЦАС Астраханский, 2020. 68 с.
46. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*: Учебник. Изд. 6-е, стер. Москва: Альянс, 2011. 350 с. EDN: QLCQEP
47. Сорока С.В., Блоцкая Ж.В., Вабищевич В.В. *Вирусы и вирусные болезни сельскохозяйственных культур*. Москва, 2009. 39 с.

48. Цыпленков А.Е., Паршин В.Г. *Изучение патогенности изолятов вируса огуречной мозаики // Биологические методы защиты растений от вирусных и бактериальных заболеваний: Сборник научных трудов. Ленинград: ВИЗР, 1988. 49 с.*
49. Кирай З., Клемент З., Шоймоши Ф., Вереш Й. *Методы фитопатологии. Москва: Колос, 1974. 343 с.*
50. Зорина Е.А., Фоминых Т.С., Новикова И.И. Влияние штамма *Bacillus subtilis* М-22 – продуцента биопрепарата Гамаир на развитие инфекции вируса мозаики томата // *Вестник защиты растений. 2016. № 2 (88). С. 50–55.*
51. *Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Москва, 2023. 368 с.*
52. Гиббс А., Харрисон Б. *Основы вирусологии растений. Москва: Мир, 1978. 430 с.*
53. Павловская Н.Е., Солохина И.Ю., Лушников А.В. Создание тест-систем для идентификации фитопатогенов методом твердофазного иммуноферментного анализа // *Биология в сельском хозяйстве. 2015. № 4 (9). С. 7–11. EDN: XAMBXP*
54. Павловская Н.Е., Гнеушева И.А., Солохина И.Ю. *Практические рекомендации по использованию методов довизуальной диагностики вирусных заболеваний овощной продукции. Москва, 2017. 40 с.*
55. Долженко В.И., Лаптиева А.Б., Буркова Л.А., Долженко О.В. и др. *Методические указания по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности. Москва, 2018. 61 с.*
56. Воронина Э.Г., Гиндина Г.М., Новикова И.И., Мукамолова Т.Ю. *Методика испытания микоефидина Т в лабораторных, полевых и производственных условиях. Ленинград: ВИЗР, 1988. С. 9-13*
57. Henderson C.F., Tilton E.W. Tests with acaricides against the brow wheat mite. *Journal of Economic Entomology*, 1955:48
58. Долженко В.И., Сухорученко Г.И., Буркова Л.А., Лаптиева А.Б. и др. *Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве. Москва: Росинформагротех, 2022. 508 с.*
59. Урбах В.Ю. *Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. Москва: Медицина, 1975. 297 с.*
60. Marzieh E.-Z., Roohallah S.R., Mika T.T. Actinobacteria as effective biocontrol agents against plant pathogens, an overview on their role in eliciting plant defense. *Microorganisms*. 2022;10(9):1739. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091739>
61. Gaber A.A., Saleh M.M., Ahmed A. Induction of plant resistance against Tobacco Mosaic Virus using the biocontrol agent *Streptomyces cellulosa* isolate Actino 48. *Agronomy*. 2020;10:1620. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111620>
62. Ara I., Bukhari N.A., Aref N.M., Shinwari M.M.A. et al. Antiviral activities of streptomycetes against tobacco mosaic virus (TMV) in *Datura* plant: Evaluation of different organic compounds in their metabolites. *African Journal of Biotechnology*. 2012;11:2130-2138. <https://doi.org/10.5897/AJB11.3388>
63. Chen J., Liu H., Xia Z., Zhao X. et al. Purification and structural analysis of the effective anti-TMV compound ε-poly-L-lysine produced by *Streptomyces ahyscopicus*. *Molecules*. 2019;24:1156. <https://doi.org/10.3390/molecules24061156>
64. Li Y., Guo Q., Li Y., Sun Y., et al. *Streptomyces pactum* Act12 controls tomato yellow leaf curl virus disease and alters rhizosphere microbial communities. *Biology and Fertility of Soils*. 2019;55:149-169. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01339-w>
65. Abdel-Moneim M.G. Induction of systemic acquired resistance in cucumber plant against Cucumber Mosaic Cucumovirus by local *Streptomyces* strains. *Plant Pathology Journal*. 2006;5:343-349. <https://doi.org/10.3923/ppj.2006.343.349>

66. Shafie R.M., Hamed A.H., El-Sharkawy H.H.A. Inducing systemic resistance against *Cucumber Mosaic Cucumovirus* using *Streptomyces* spp. *Egyptian Journal of Phytopathology*. 2016;44:127-142. <https://doi.org/10.21608/ejp.2016.91931>
67. Cushnie T.P., Cushnie B., Lamb A.J. Alkaloids: an overview of their antibacterial, antibiotic-enhancing and antivirulence activities. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2014;44(5):377-386. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2014.06.001>
68. Chowański S., Adamski Z., Marciniak P., Rosiński G. et al. A Review of bioinsecticidal activity of solanaceae alkaloids. *Toxins*. 2016;8:60. <https://doi.org/10.3390/toxins8030060>
69. Benslama O. Bioinsecticidal activity of actinomycete secondary metabolites against the acetylcholinesterase of the legume's insect pest *Acyrtosiphon pisum*: a computational study. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2022;20:158. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00442-0>
70. Raveh A., Delekta P.C., Dobry C.J., Peng W. et al. Discovery of potent broad spectrum antivirals derived from marine actinobacteria. *PLoS One*. 2013;5.8(12):82318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082318>

References

1. Tumanyan A.F., Thanh Deep H.T. Agrotechnics of tomato cultivation in the arid zone. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal*. 2010;(2(87)):40-43. (In Russ.)
2. Bairambekov Sh.B., Korneva O.G., Dubrovin N.K., Polyakova E.V. To engage more fully the phytosanitary potential of the irrigated agroecosystems of vegetable and melon crops and potato. *Plant Protection and Quarantine*. 2017:27-32. (In Russ.)
3. Levitin M.M. Microorganisms and global climate change. *Agricultural Biology*. 2015;(5):119-125. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.641rus>
4. Bataeva Yu.V., Grigoryan L.N., Kurashov E.A., Krylova Yu.V. et al. Study of metabolites of *Streptomyces carpaticus* RCAM04697 for the creation of environmentally friendly plant protection products. *Theoretical and Applied Ecology*. 2021;(3):172-178. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-3-172-178>
5. Ivanov A.L. Scientific agriculture of Russia: results and prospects. *Zemledelie*. 2014;(3):25-29. (In Russ.)
6. Shirokikh I.G., Lyskova I.V., Nazarova Ya.I., Gradoboeva T.P. et al. Local strains of actinobacteria protect peas (*Pisum sativum* L.) from harmful infections. *Theoretical and Applied Ecology*. 2022;(2):173-182. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-173-182>
7. Grigoryan L.N., Bataeva Yu.V., Novichenko O.V., Shaheen M. et al. Study of the effect of suspension and extracts *Streptomyces carpaticus* RCAM04697 strain on safety and quality indicators of tomato. *II International Conference "Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology"*. AIP Conference Proceedings. 2023;(3011):225-234. <https://doi.org/10.1063/5.0162340>
8. Chebotar V.K., Shcherbakov A.V., Shcherbakova E.N., Maslennikova S.N. et al. Biodiversity of endophytic bacteria as a promising biotechnological resource. *Agricultural Biology*. 2015;(50(5)):648-654. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.648rus>
9. Mnif I., Ghribi D. Review lipopeptides biosurfactants: Main classes and new insights for industrial, biomedical and environmental applications. *Biopolymers*. 2015;104(3):129-147. <https://doi.org/10.1002/bip.22630>
10. Olfa K.-F., Saoussen B.K., Mouna D., Amel K. et al. Improvement of antifungal metabolites production by *Bacillus subtilis* V 26 for biocontrol of tomato postharvest disease. *Biological Control*. 2016;95:73-82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.01.005>

11. Grigoryan L.N., Bataeva Yu.V., Andreeva E.D., Zakar'yaeva D.Kh. et al. Study of the component structure of the metabolites of bacteria *Nocardiopsis umidischolae* in the search for eco-friendly plant protection agents. *Russian Journal of General Chemistry*. 2020;90(13):2531-2541. <https://doi.org/10.1134/S1070363220130010>
12. Shirokikh I.G., Shirokikh A.A., Ashikhmina T.Ya. Assessing the antagonistic potential and antibiotic resistance of actinomycetes isolated from two zheltozems of southeastern China. *Pochvovedenie*. 2018;51(7):859-867. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0032180X18070122>
13. Grigoryan L.N., Bataeva Yu.V. Ecological features and biotechnological possibilities of soil actinobacteria (review). *Theoretical and Applied Ecology*. 2023;(2):6-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-006-019>
14. Bataeva Yu.V., Grigoryan L.N., Bogun A.G., Kislichkina A.A. et al. Biological Activity and Composition of Metabolites of Potential Agricultural Application from *Streptomyces carpaticus* K-11 RCAM04697 (SCPM-O-B-9993). *Microbiology*. 2023;92(3):459-467. <https://doi.org/10.1134/S0026261723600155>
15. Nazarova Ya.I., Shirokikh I.G., Bakulina A.V., Baranova E.N. et al. Identification of two strains of streptomycetes from the rhizosphere and *in vitro* study of their colonizing activity. *Theoretical and Applied Ecology*. 2019;(3):72-79. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-072-079>
16. Čihák M., Kameník Z., Šmídová K., Bergman N. et al. Secondary metabolites produced during the germination of *Streptomyces coelicolor*. *Frontiers in Microbiology*. 2017;8:2495. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02495>
17. Wink J., Mohammadipanah F. Biology and biotechnology of *Actinobacteria*. *Ed. Journal Hamed*. 2017:395-408. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60339-1>
18. Vurukonda S.S.K.P., Giovanardi D., Stefani E. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018;19(4):952-961. <https://doi.org/10.3390/ijms19040952>
19. Tarkka M., Hampp R. Secondary metabolites of soil streptomycetes in biotic interactions. *Secondary Metabolites in Soil Ecology*. 2008:107-126.
20. Trenozhnikova L.P., Balgimbaeva A.S., Sultanbekova G.D., Galimbaeva R.Sh. Antifungal activity against pathogens of cereals and characterization of antibiotics of *Streptomyces* sp. strain K-541 isolated from extreme ecosystems in Kazakhstan. *Agricultural Biology*. 2018;53(1):96-102. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.96rus>
21. Ceylan O., Okmen G., Ugur A. Isolation of soil *Streptomyces* as source antibiotics active against antibiotic-resistant bacteria. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2008;2:73-82.
22. Bataeva Yu.V., Delegan Ya.A., Bogun A.G., Shishkina L.A. et al. Whole Genome Analysis and Assessment of the Metabolic Potential of *Streptomyces carpaticus* SCPM-O-B-9993, a Promising Phytostimulant and Antiviral Agent. *Biology*. 2024;13(6):388. <https://doi.org/10.3390/biology13060388>
23. Cohen M.F., Mazzola M. Resident Bacteria, Nitric Oxide Emission and Particle Size Modulate the Effect of *Brassica napus* Seed Meal on Disease Incited by *Rhizoctonia solani* and *Pythium* spp. *Plant and Soil*. 2006;286(12):75-86. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9027-1>
24. Wellington B., Figueiredo J.E.F. Efficacy and Dose – Response Relationship in Biocontrol in *Fusarium* Disease in Maize by *Streptomyces* spp. *European Journal of Plant Pathology*. 2008;120(3):311-316 <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9220-y>
25. Chater K.F., Biro S., Lee K.J., Palmer T. et al. The Complex Extracellular Biology of *Streptomyces*. *FEMS Microbiology Reviews*. 2010;34:171-198. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2009.00206.x>

26. Sharma M. Actinomycetes: Source, Identification, and Their Applications. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2014;3(2):801-832. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.089>
27. Ulloa-Ogaz A.L., Muñoz-Castellanos L.N., NevárezMoorillón G.V. Biocontrol of Phytopathogens: Antibiotic Production as Mechanism of Control. *The Battle against Microbial Pathogens: Basic Science, Technological Advances and Educational Programs*. 2015:305-309.
28. Li Y., Kong L., Shen J., Wang Q. et al. Characterization of the Positive SARP Family Regulator PieR for Improving Piericidin A1 Production in *Streptomyces piomogeues* var. hangzhouwanensis. *Synthetic and Systems Biotechnology*. 2019;4(1):16-24. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2018.12.002>
29. Williamson N.P., Brian E.M., Wellington H. Molecular Detection of Bacterial and Streptomycete Chitinases in the Environment. *Antonie van Leeuwenhoek*. 2000;78.3(4):315-321. <https://doi.org/10.1023/a:1010225909148>
30. Efimenko T.A., Malanicheva I.A., Vasil'eva B.F., Glukhova A.A. et al. Antibiotic Activity of Bacterial Endobionts of Basidiomycete Fruit Bodies. *Microbiology*. 2016;5:740-747. <https://doi.org/10.1134/S0026261716060084>
31. Sergeeva O.V., Dolzhenko T.V. Biological efficacy of aversectin C against sucking pests. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2018;(2(51)):89-94. (In Russ.)
32. Patent 2695157 C1 (Russian Federation): IPC C12N1/20, A01N63/02, C12R1/465. Strain of *Streptomyces carpaticus* for protection against insect pests, fungal, viral diseases and stimulation of tomato growth. Grigoryan L.N., Bataeva Yu.V., Shlyakhov V.A., Dzerzhinskaya I.S., 2019. (In Russ.)
33. Gnutova R.V. Modern tendencies in taxonomy and nomenclature of viruses. *Uspekhi sovremennoi biologii*. 2011;(131(6)):563-577. (In Russ.)
34. Tolkach V.F., Gnutova R.V. Harmfulness of cucumber mosaic virus for vegetable and ornamental crops. *Plant Protection and Quarantine*. 2011;(7):24-26. (In Russ.)
35. Gnutova R.V. The current state of viruses studying in vegetable crops of the Far East. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2013;(5):321-340. (In Russ.)
36. Turaeva S.M., Kurbanova E.R., Mamarozikov U.B., Xidirova N.K. et al. Biological efficiency of the extract of *Haplophyllum perforatum* against *Tuta absoluta* and its influence on the physiological properties of tomato plants. *Agricultural Biology*. 2022;(57(1)):183-1192. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.183rus>
37. Sheshegova T.K., Shchekleina L.M. Phytopathogenic biota in the conditions of climate warming (review). *Theoretical and Applied Ecology*. 2022;(2):6-13. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-006-013>
38. Schrey S.D., Tarkka M.T. Friends and Foes: Streptomycetes as Modulators of Plant Disease and Symbiosis. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2008;94(1):11-19. <https://doi.org/10.1007/s10482-008-9241-3>
39. Kruglov Yu.V., Lisina T.O. *Bacillus megaterium* 501^{RIF} introduced into the soil: factors affecting the rate of survival, sporulation and decomposition of the herbicide prometryn. *Agricultural Biology*. 2014;(5):107-111. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.5.107rus>
40. Shirokikh I.G., Lyskova I.V., Nazarova Ya.I., Gradoboeva T.P. et al. Local strains of actinobacteria protect peas (*Pisum sativum* L.) from harmful infections. *Theoretical and Applied Ecology*. 2022;(2):173-182. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-173-182>
41. Grigoryan L.N., Bataeva Yu.V., Shlyakhov V.A., Magzanova D.K. et al. Phytotoxicity and insectoacaricidal activity of actinomycetes isolated from saline soils of arid territory. *South of Russia: Ecology, Development*. 2020;(15(2)):103-112. (In Russ.) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-103-112>

42. Gauze G.F., Preobrazhenskaya T.P., Sveshnikova M.A., Terekhova L.P. et al. *Determinant of actinomycetes. Genera Streptomyces, Streptoverticillium, Chainia*. Moscow, Russia: Nauka, 1983:248. (In Russ.)
43. Boikova I.V., Pavlushin V.A. The application of metabolites generated by actinomycetes against greenhouse whitefly, aphids, thrips and spider mite. *Information bulletin EPRS IOBC*. 2002;(33):102-113. (In Russ.)
44. Govorov D.N., Zhiviykh A.V., Shabelnikova A.A., Nikulin A.N. et al. *An overview of the phytosanitary status of agricultural crops in the Russian Federation in 2023 and a forecast of the development of harmful objects in 2024: a monograph*. Moscow, Russia: Plant Protection and Quarantine, 2023:1459. (In Russ.)
45. Alexandrov S.O., Shantasov A.M., Khudyakova E.A., Belyalov R.M. *Agrochemical characteristics of soils in the Astrakhan region*. Astrakhan, Russia: GTsAS Astrakhanskiy, 2020:68. (In Russ.)
46. Dospekhov B.A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): a textbook*. 6th ed. Moscow, Russia: Al'yans, 2011:350. (In Russ.)
47. Soroka S.V., Blotskaya Zh.V., Vabishevich V.V. *Viruses and viral diseases of agricultural crops*. Nesvizh, Belarus: Nesvizhskaya ukрупnennaya tipografiya, 2009:39. (In Russ.)
48. Tsyplenkov A.E., Parshin V.G. *Study of pathogenicity of cucumber mosaic virus isolates. Biological methods of plant protection from viral and bacterial diseases: proceedings*. Leningrad, USSR: VIZR, 1988:49. (In Russ.)
49. Kiray Z., Klement Z., Shoymoshi F., Veresh Y. *Methods of phytopathology*. Moscow, USSR: Kolos, 1974:343. (In Russ.)
50. Zorina E.A., Fominykh T.S., Novikova I.I. Influence of strain *Bacillus subtilis* M-22, producer of biopesticide Gamair, on tomato mosaic virus infection development. *Plant Protection News*. 2016;(2(88)):50-55. (In Russ.)
51. *State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation*. Moscow, Russia, 2023:368. (In Russ.)
52. Gibbs A., Harrison B. *Fundamentals of plant virology*. Moscow, USSR: Mir, 1978:430. (In Russ.)
53. Pavlovskaya N.E., Solokhina I.Yu., Lushnikov A.V. The creation of test systems for the identification of phytopathogens a solid-phase enzyme immunoassay. *Biologiya v selskom khozyaystve*. 2015;(4(9)):7-11. (In Russ.)
54. Pavlovskaya N.E., Gneusheva I.A., Solokhina I.Yu. *Practical recommendations on the use of methods of pre-visual diagnosis of viral diseases of vegetable products*. Moscow, Russia, 2017:40. (In Russ.)
55. Dolzhenko V.I., Laptiev A.B., Burkova L.A., Dolzhenko O.V. et al. *Guidelines for registration tests of pesticides in terms of biological efficacy*. Moscow, Russia, 2018:61. (In Russ.)
56. Voronina E.G., Gindina G.M., Novikova I.I., Mukamolova T.Y. *Method of testing mycoafidine T in laboratory, field and industrial conditions*. Leningrad, USSR: VIZR, 1988:9-13. (In Russ.)
57. Henderson C.F., Tilton E.W. Tests with acaricides against the brow wheat mite. *Journal of Economic Entomology*. 1955:48.
58. Dolzhenko V.I., Sukhoruchenko G.I., Burkova L.A., Laptev A.B. et al. *Guidelines for registration tests of insecticides, acaricides, molluscicides and rodenticides in agriculture*. Moscow, Russia: Rosinformagrotech, 2022:508. (In Russ.)
59. Urbach V.Y. *Statistical analysis in biological and medical research*. Moscow, USSR: Meditsina, 1975:297. (In Russ.)

60. Marzieh E.-Z., Roohallah S.R., Mika T.T. Actinobacteria as effective biocontrol agents against plant pathogens, an overview on their role in eliciting plant defense. *Microorganisms*. 2022;10(9):1739. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091739>
61. Gaber A.A., Saleh M.M., Ahmed A. Induction of plant resistance against *Tobacco Mosaic Virus* using the biocontrol agent *Streptomyces cellulosae* isolate Actino 48. *Agronomy*. 2020;10:1620. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111620>
62. Ara I., Bukhari N.A., Aref N.M., Shinwari M.M.A. et al. Antiviral activities of streptomycetes against tobacco mosaic virus (TMV) in *Datura* plant: Evaluation of different organic compounds in their metabolites. *African Journal of Biotechnology*. 2012;11:2130-2138. <https://doi.org/10.5897/AJB11.3388>
63. Chen J., Liu H., Xia Z., Zhao X. et al. Purification and structural analysis of the effective anti-TMV compound ϵ -poly-L-lysine produced by *Streptomyces ahngroscopicus*. *Molecules*. 2019;24:1156. <https://doi.org/10.3390/molecules24061156>
64. Li Y., Guo Q., Li Y., Sun Y., Xue Q., Lai H. *Streptomyces pactum* Act12 controls tomato yellow leaf curl virus disease and alters rhizosphere microbial communities. *Biology and Fertility of Soils*. 2019;55:149-169. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01339-w>
65. Abdel-Moneim M.G. Induction of systemic acquired resistance in cucumber plant against *Cucumber Mosaic Cucumovirus* by local *Streptomyces* strains. *Plant Pathology Journal*. 2006;5:343-349. <https://doi.org/10.3923/ppj.2006.343.349>
66. Shafie R.M., Hamed A.H., El-Sharkawy H.H.A. Inducing systemic resistance against *Cucumber Mosaic Cucumovirus* using *Streptomyces* spp. *Egyptian Journal of Phytopathology*. 2016;44:127-142. <https://doi.org/10.21608/ejp.2016.91931>
67. Cushnie T.P., Cushnie B., Lamb A.J. Alkaloids: an overview of their antibacterial, antibiotic-enhancing and antivirulence activities. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2014;44(5):377-386. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2014.06.001>
68. Chowański S., Adamski Z., Marciniak P., Rosiński G. et al. A Review of bioinsecticidal activity of solanaceae alkaloids. *Toxins*. 2016;8:60. <https://doi.org/10.3390/toxins8030060>
69. Benslama O. Bioinsecticidal activity of actinomycete secondary metabolites against the acetylcholinesterase of the legume's insect pest *Acyrtosiphon pisum*: a computational study. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2022;20:158. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00442-0>
70. Raveh A., Delekta P.C., Dobry C.J., Peng W. et al. Discovery of potent broad spectrum antivirals derived from marine actinobacteria. *PLoS One*. 2013;5.8(12):82318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082318>

Сведения об авторах

Лилит Норайровна Григорян, канд. биол. наук, доцент кафедры биотехнологии, аквакультуры, почвоведения и управления земельными ресурсами, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева»; 414056, Российская Федерация, Астраханская область, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; e-mail: lilyagrigoryan90@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1132-2043>

Михаил Тарьевич Упадышев, д-р с.-х. наук, член-корреспондент РАН, профессор кафедры биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: upadyshev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1069-3771>

Анна Дмитриевна Батаева, студент Института агробиотехнологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: adbataeva2006@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0009-9547-8253>

Юлия Викторовна Батаева, д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: bataeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1064-3731>

Information about the authors

Lilit N. Grigoryan, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Biotechnology, Aquaculture, Soil Science and Land Management, Astrakhan Tatishchev State University; 20a, Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russian Federation; e-mail: lilyagrigoryan90@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1132-2043>

Mikhail T. Upadyshev, DSc (Ag), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor at the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: upadyshev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1069-3771>

Anna D. Bataeva, student of the Institute of Agrobiotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: adbataeva2006@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0009-9547-8253>

Yulia V. Bataeva, DSc (Bio), Associate Professor, Professor at the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: bataeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1064-3731>