



ISSN 1727-1320 (Print),
ISSN 2308-6459 (Online)

ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2026 ТОМ 109 ВЫПУСК 1
 VOLUME ISSUE



Санкт-Петербург
St. Petersburg, Russia

Для оформления обложки использованы фотографии *Myzus persicae* и *Trialeurodes vaporariorum* при заражении изолятами *Lecanicillium*-подобных грибов. Из статьи М.А. Черепановой, Г.В. Митиной, А.А. Чоглоковой (стр. 49–62) [ориг.]

The cover design includes the photos of *Myzus persicae* and *Trialeurodes vaporariorum* infected with isolates of *Lecanicillium-like* fungi. From the article by M.A. Cherepanova, G.V. Mitina, A.A. Chogloкова (p. 49–62) [orig.]

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ИЗУЧЕНИЕ ПАТОГЕННЫХ СВОЙСТВ НОВЫХ ПРИРОДНЫХ ИЗОЛЯТОВ *LECANICILLIUM*-ПОДОБНЫХ ГРИБОВ (ASCOMYCOTA: HYPOCREALES)

М.А. Черепанова*, Г.В. Митина, А.А. Чоглокова

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

*ответственный за переписку, e-mail: CherepMA@mail.ru

Массовое применение химических инсектицидов в сельском хозяйстве сопряжено с рядом негативных последствий, что актуализирует разработку биологических методов защиты растений. Энтомопатогенные грибы рассматриваются как перспективные агенты биоконтроля многих вредителей. Целью данной работы был поиск и характеристика новых природных изолятов *Lecanicillium*-подобных грибов, обнаруженных на территории России и оценка их вирулентности в отношении двух опасных сосущих вредителей – персиковой тли *Myzus persicae* и оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum*. Тридцать изолятов, собранных в различных регионах России в 2019–2022 гг., были идентифицированы молекулярно-генетическими методами по локусам ITS, TEF и NAD1. Установлено, что выделенные изоляты принадлежат к видам *Akanthomyces lecanii*, *A. muscarius*, *A. attenuatus*, *A. uredinophilus*, *Flavocillium bifurcatum* и *Simplicillium lanosoniveum*. На территории России *F. bifurcatum* найден впервые. Лабораторные испытания выявили высокую вариабельность вирулентности изолятов. В отношении *M. persicae* 22 изолята показали биологическую эффективность выше 90% к 7-м суткам, причем 16 изолятов достигли 100%-ной эффективности. Пятнадцать из 22 испытанных изолятов проявили эффективность выше 80% против *T. vaporariorum*. Наиболее перспективные изоляты относятся к видам *A. uredinophilus*, *A. muscarius*, *A. attenuatus*, а также *F. bifurcatum*, впервые испытанный против обоих объектов. Таким образом отобрано 15 высоковирулентных изолятов, перспективных в качестве агентов контроля численности тли и белокрылки.

Ключевые слова: биологический контроль, энтомопатогенные грибы, *Akanthomyces*, *Myzus persicae*, *Trialeurodes vaporariorum*, молекулярная идентификация

Поступила в редакцию: 26.01.2026

Принята к печати: Accepted: 27.03.2026

В условиях массового выращивания культурных растений остро стоит вопрос борьбы с вредителями. Различные фитофаги приводят к огромным потерям урожая и, соответственно, экономическим потерям. Для борьбы с вредителями агрохозяйства применяют инсектициды, чаще всего химические. В соответствии с данными Россельхознадзора за первый квартал 2025 г. в России применили тонны пестицидов с максимумом в 600 тонн в Краснодарском крае (Россельхознадзор сообщает об объемах..., 2025). Однако обработки химическими средствами защиты растений приводят к негативным последствиям: развитию резистентности у насекомых-вредителей, накоплению пестицидов в почве, смертности среди нецелевых объектов, а также к нарушениям здоровья птиц, млекопитающих, в том числе и человека (Сухорученко, 2001; Борисова и др., 2022; Khan et al., 2023; Сухорученко и др., 2024).

Для решения этих проблем предложены различные подходы, одним из которых является применение биологических средств защиты растений, предполагающих использование организмов, в естественных условиях контролирующей численность вредителей. В список таких естественных агентов защиты растений входят энтомопатогенные грибы (ЭПГ), вызывающие в природе заболевания насекомых, которые могут приводить к эпизоотиям. В мировой практике на данный момент большинство биоинсектицидов создано на основе ЭПГ, относящихся к трем родам отдела Ascomycota: *Beauveria*, *Metarhizium* и *Isaria*

(=*Paecilomyces*). Также разработаны препараты на основе штаммов из родов *Akanthomyces*, *Tolypocladium*, *Hirsutella* и др. (de Faria et al., 2007; Артюшкина и др. 2023). В России в настоящее время в соответствии с «Государственным каталогом пестицидов и агрохимикатов... 2025» к применению разрешено 6 препаратов на основе энтомопатогенных грибов: Зеленый барьер СП и Биослип БВ, Ж на основе *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill, Биостоп, Ж на основе *B. bassiana*, *Bacillus thuringiensis* и *Streptomyces* sp, Биоверт СП – *Akanthomyces lecanii* (Zimm.) Spatafora, Kepler & B. Shrestha (= *Lecanicillium lecanii*), Метаризин, Ж на основе *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin и Метавайт, Ж на основе смеси штаммов *B. bassiana* и *M. anisopliae*. В связи с таким положением появляется необходимость поиска новых высокоэффективных штаммов-продуцентов. В частности, перспективы имеют энтомопатогенные грибы из рода *Akanthomyces* и других близких ему *Lecanicillium*-подобных грибов.

Грибы рода *Akanthomyces* – анаморфные кордицепитоидные грибы из отдела Ascomycota. В природе они встречаются на жесткокрылых, полужесткокрылых, клещах, пауках и т. д. Многие виды рода имеют узкую специализацию, однако внутри рода есть группа близких видов с широким спектром хозяев, а их способность паразитировать на отдельных видах насекомых определяется штаммом в большей степени, чем видом гриба. К этой группе относят такие виды как *A. lecanii*, *Akanthomyces muscarius* (Petch)

Spatafora, Kepler & B. Shrestha, *Akanthomyces uredinophilus* (M.J. Park, S.B. Hong & H.D. Shin) P.F. Cannon & P.M. Kirk, *Akanthomyces attenuatus* (Zare & W. Gams) Spatafora, Kepler & B. Shrestha, *Akanthomyces dipterigenus* (Petch) Spatafora, Kepler, Zare & B. Shrestha, *Akanthomyces sabanensis* (Chir.-Salom., S. Restrepo & T.I. Sanjuan) Chir.-Salom., T.I. Sanjuan & S. Restrepo и др. (Wang et al., 2024). Но чаще всего энтомопатогенные грибы этого рода встречаются на полужесткокрылых, в частности на сосущих вредителях растений, поэтому поиски активных изолятов внутри группы *Lecanicillium*-подобных грибов ведут именно для контроля численности этих насекомых. Так, различные штаммы грибов рода *Akanthomyces* уже давно показали свою эффективность в отношении белокрылок, трипсов и тлей как в лабораторных, так и в мелкочащечных и тепличных опытах (Cuthbertson, Walters 2005; Askary H., Yarmand H., 2007). Некоторые штаммы уже коммерциализированы в качестве биоинсектицидов, причем большинство препаратов зарегистрировано в странах с теплым и влажным климатом. Наиболее известны препараты Mucotal® (*A. muscarius*), эффективный в отношении белокрылок, трипсов и клещей и Vertalec® (*A. dipterigenus*), предназначенный для борьбы с различными видами тлей.

Несмотря на существование отдельных коммерческих продуктов, потенциал *Lecanicillium*-подобных грибов не

исчерпан. Такие штаммы могут стать основой для разработки более эффективных и специфичных биопрепаратов, расширяющих существующий ограниченный арсенал грибных средств биологической защиты растений в России.

Отдельной проблемой изучения *Lecanicillium*-подобных грибов является сложность их видовой идентификации по морфологическим признакам ввиду их крайнего сходства. Единственного региона ITS, применяемого в качестве универсального баркода, на данный момент недостаточно для точного определения видов, поэтому используют мультилокусный подход (Mitina et al., 2017; Zhou et al., 2020; Di Sora et al., 2025). Кроме того систематика данной группы организмов постоянно уточняется, выделяются новые виды и рода (Zare, Gams, 2001; Kepler et al., 2017; Zhang et al., 2020; Khonsanit et al., 2024), что значительно увеличивает требования к полноте молекулярных данных для разделения видов *Lecanicillium*-подобных грибов.

В настоящей работе новые природные изоляты *Lecanicillium*-подобных грибов были идентифицированы с помощью молекулярно-генетических методов, оценена их вирулентность в отношении двух опасных сосущих вредителей – персиковой тли *Myzus persicae* и оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* и изучены особенности микозов на этих насекомых.

Материалы и методы

Изоляты энтомопатогенных грибов

Для исследований были использованы 30 природных изолятов *Lecanicillium*-подобных грибов, собранных в Российской Федерации в 2019–2022 гг. и депонированных в «Государственной коллекции микроорганизмов, патогенных для растений и их вредителей ФГБНУ ВИЗР» (WFCC WDCM № 760, УНО). Преимущественно изоляты были обнаружены в Краснодарском крае и Московской области. Изоляты, обозначенные «SNP» были собраны в Сочинском национальном парке (табл. 1). Культуры поддерживались на агаризованной среде Чапека с дрожжевым экстрактом (состав, г/л дистиллированной воды: сахароза 20, дрожжевой экстракт 1, агар 20, KCl 0.5, K₂HPO₄ 1.0, MgSO₄ 0.5, NaNO₃ 2.0).

Молекулярная идентификация *Lecanicillium*-подобных изолятов

Для выделения ДНК использовали мицелий 7-суточных культур изолятов грибов, выращенных на питательной среде Чапека с дрожжевым экстрактом. Экстракцию ДНК проводили по методике без фенола и протеиназы K (Malysh et al., 2019).

Для идентификации изолятов были амплифицированы фактор элонгации трансляции (*tef*) (праймеры IF1a983F (5'-GCY CCY GGH CAY CGT GAY TTY AT-3' и IF1a1567R 5'-ACH GTR CCR ATA CCA CCS ATC TT-3'), участок ДНК большой рибосомальной субъединицы ITS (праймеры VLITS1 5'-GTC CCT GCC CTT GT A-3' и VLITS2 5'-CCT GGT GGT TTC TTT TCC-3'), участок митохондриального гена *nad1* (праймеры *nad1A* 5'-ATG GCS*AGT ATG CAA AGA AGA-3' и *nad1B* 5'-GCA TGT TCT GTC ATA AAS* CCA CTA AC-3') (Rehner et al., 2006; Kouvelis et al., 2008).

Процесс амплификации проводили в соответствии с протоколом, включающим первичную денатурацию при 95 °C 2 мин, 30 циклов денатурации при 95 °C 30 с, отжига

при специфичных для праймера температуре 2 мин, элонгации 30 с при 72 °C, а также заключающую элонгацию при 72 °C в течение 5 мин. Температура отжига для локуса ITS составила 50 °C, а для локусов TEF и NAD1 – 52 °C.

После ПЦР проводили электрофоретическое разделение ампликонов в 1% агаре, после чего проводили очистку с помощью GTC и осаждения ДНК на частицах диоксида кремния. Секвенирование очищенной ДНК проводили по Сэнгеру с помощью генетического анализатора ABI Prism 3500 в соответствии с указаниями производителя («Applied Biosystems»). Секвенирование проводили с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ.

Полученные последовательности просматривали и редактировали в BioEdit (Hall, 1999). Выравнивание проводили с помощью онлайн-сервиса MAFFT версии 7 (Kato et al., 2019). Последовательности TEF и ITS были объединены для дальнейшего анализа. Последовательности NAD1 анализировали отдельно. Для филогенетического анализа использовали метод байесовского заключения с помощью программы MrBayes 3.2.7. (Ronquist et al., 2012). Для определения наилучших моделей использовали MrModeltest v 2. Для партий объединенной последовательности ITS и TEF были использованы модели GTR+G и GTR+G+I соответственно, для последовательности локуса NAD1 – модель GTR+G.

Определение вирулентности изолятов

Вирулентность изолятов определяли в отношении персиковой тли *Myzus persicae* Sulzer и оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* Westwood.

Испытания изолятов на персиковой тле проводили по методике, разработанной в ВИЗР (Mitina et al., 2021). Лабораторную популяцию тли поддерживали на конских бобах *Vicia faba* L. (Fabaceae) при комнатной температуре

Таблица 1. Места обнаружения и источники исследуемых изолятов

Table 1. Places of detection and sources of the studied isolates

Изолят Isolate	Хозяин / источник Host / Source	Место обнаружения Location of detection
SNP 2	Пустулы возбудителя ржавчины <i>Phragmidium</i> sp. на ежевике	Сочинский национальный парк (СНП), Матросская щель (Головинка)
SNP 3	Кокцида (Hemiptera, Coccoidea)	СНП, Матросская щель (Головинка)
SNP 10	Паук <i>Aranei</i> на ольхе	СНП, Каткова щель (Головинка)
SNP 17	Щитовка (Hemiptera, Coccoidea) на клене мелкоцветковом	СНП, Зубова Щель «Каньон прохладный» (Лазаревское)
SNP 24	Неидентифицированное насекомое на боярышнике	СНП, Ручей в 3 км от 33 водопадов (пос. Бол. Кичмай)
SNP 40	Щитовка (Hemiptera, Coccoidea)	СНП, Свирское ущелье (Лазаревское)
SNP 43	Тля (Hemiptera, Aphididae)	СНП, Свирское ущелье (Лазаревское)
SNP 44	Японская восковая ложнощитовка <i>Ceroplastes japonicus</i> (Hemiptera, Coccoidea)	СНП, Свирское ущелье (Лазаревское)
SNP 45	Щитовка (Hemiptera, Coccoidea)	СНП, Свирское ущелье (Лазаревское)
B1	Неидентифицированный миксомицет	Неизвестно
B2	Тля на гравилате	Московская обл., Раменское, поляна в лесу
B3	Комар-долгоножка (Diptera, Tipulidae)	Адыгея, округ поселка Каменноостского, водопады Руфабго
B4	Комар-долгоножка (Diptera, Tipulidae)	Адыгея, пос. Никель, у р. Сюк, на камне
B6	Гусеница неидентифицированного чешуекрылого на камне	Краснодарский край, Апшеронский р-н, Камышанова поляна, у водопада Школьного.
B7	Белокрылка <i>Aleyrodes lonicerae</i>	Респ. Адыгея, окрестности Майкопа, за военным городком Михайлово
B8	Белокрылка <i>A. lonicerae</i>	СНП, Агурское ущелье
B10	Медяница (Hemiptera, Psyllinea)	Респ. Адыгея, окрестности Майкопа, за военным городком Михайлово
Ak1	Щитовка (Hemiptera, Coccoidea)	Краснодарский край
Ak2	Щитовка (Hemiptera, Coccoidea)	Краснодарский край, СНП
Ak3	Японская восковая ложнощитовка <i>Ceroplastes japonicus</i>	Краснодарский край, г. Сочи
Ak4	Крапивный червец <i>Orthezia urticae</i>	Московская обл., Раменский район
Ak6	Цикадка <i>Metcalfa pruinose</i>	Респ. Адыгея, окрестности Майкопа
Ak7	Имаго зелёной цикадки <i>Cicadella viridis</i>	Московская обл., Раменский район
Ak8	Акациевая ложнощитовка <i>Parthenolecanium corni</i>	г.Белгород, лесопарк «Армячий лог»
Ak9	Белокрылка <i>A. lonicerae</i> на лабазнике	Московская обл., Одинцовский район,
Ak10	Белокрылка <i>Aleyrodes asari</i>	Московская обл., Одинцовский район
Ak11	Божья коровка <i>Harmonia axyridis</i>	Московская обл., Раменский район
Ak12	Урединиопустулы возбудителя ржавчины <i>Coleosporium tussilaginis</i>	Московская обл., Одинцовский район
Ak13	Урединиопустулы возбудителя ржавчины <i>Melampsorium alni</i>	Адыгея, окрестности пос. Каменноостского
Ak15	Урединиопустулы возбудителя ржавчины <i>Puccinia aegopodii</i>	Белгородская обл., лесопарк «Дубовое»

Изоляты, обозначенные «SNP», были собраны и выделены Митиной Г.В. и Черепановой М.А., остальные изоляты собраны и выделены Борисовым Б.А. (Москва, «Агробиотехнология»); изоляты B3, B7, B10 и Ak6 ранее были идентифицированы как *A. uredinophilus* (Черепанова и др., 2025).

Isolates indicated «SNP» are collected and isolated by Mitina G.V. and Cherepanova M.A., other isolates – by Borisov B.A. (“Agrobioteknologiya”, Moscow); isolates B3, B7, B10, and Ak6 were identified previously as *A. uredinophilus* (Cherepanova et al., 2025).

и 16-часовом световом дне. Для эксперимента получали личинок первого возраста на изолированных листьях во влажных камерах с 1% агаром (примерно 15–30 личинок на повторность). Листья с личинками тли окунали в суспензию изолятов с титром конидий 1×10^7 спор/мл.

В отношении белокрылки тестирование изолятов проводили по разработанной в ВИЗР методике (Митина, Сокорнова, 2013). Популяцию оранжерейной белокрылки *T. vaporariorum* поддерживали на растениях фасоли. Изолированные листья с личинками 2–3 возраста (25–50

личинок на лист) окунали с суспензией изолятов с титром конидий 5×10^6 спор/мл. Листья подсушивали и раскладывали на плотки. Чашки с плотками затягивали пленкой с микроотверстиями для вентиляции.

Все эксперименты проводили в 6 повторностях. Учеты проводили на 3 и 7 сутки после заражения насекомых путем подсчета мертвых, живых особей и мертвых особей с признаками микозов. Биологическую эффективность изолятов определяли по формуле Хендерсона-Тилтона.

Для определения достоверности различий использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) (SigmaPlot 12.5 Systat Software). При нормальном распределении значений использовали t-критерий Стьюдента, при

ненормальном распределении – критерий Краскела-Уоллиса. Для определения нормальности распределения использовали тест Шапиро-Уилка.

Результаты

Молекулярная идентификация *Lecanicillium*-подобных грибов

В результате редактирования и выравнивания полученных нуклеотидных последовательностей были получены сиквенсы ITS, TEF и NAD1 длиной в 538, 389 и 513 п.н. соответственно. При объединении последовательностей ITS и TEF получено 927 п.н. Все полученные последовательности по каждому локусу депонированы в Генбанке, номера доступа представлены в таблице 2. Поскольку современные данные Генбанка по локусу NAD1 достаточно малочисленны, было решено анализировать его отдельно в качестве вспомогательного.

В соответствии с филогенетическим деревом, построенным по объединенной последовательности ITS и TEF, изолят SNP3 однозначно объединен в кладу с референтным штаммом вида *Simplicillium lanosoniveum* (J.F.H. Beuma) Zare & W. Gams, Ak 13 – со штаммами вида *Flavocillium bifurcatum* Hong Yu bis, Y.B. Wang, Yao Wan, Q. Fan & Zhu L. Yang со 100%-ным уровнем поддержки. Семь изолятов (Ak1, Ak2, Ak3, SNP2, SNP17, SNP24 и B8) объединились со штаммами вида *A. lecanii*, 2 изолята (B1, B2) – со штаммами вида *A. uredinophilus*. Изоляты B4 и

SNP40 образовали монофилитическую группу с изолятами *A. uredinophilus*. Изоляты Ak7 и Ak10 заняли наиболее близкое положение к штамму вида *A. attenuatus*. Девять изолятов (Ak4, Ak8, Ak9, Ak11, Ak12, Ak15, B6, SNP10, SNP44) объединились в одну группу с референтными штаммами видов *A. muscarius*, *Akanthomyces pissetis* (Kope & I. Leal) Wan H. Chen, Y.F. Han & Z.Q. Liang, *A. attenuatus*, в том числе и с типовыми. Изоляты SNP43 и SNP45 расположились отдельно на данном филогенетическом дереве и требуют дополнительных исследований для идентификации. SNP43 оказался наиболее близок к штаммам вида *A. lecanii* (рис. 1).

В соответствии с филогенетическим деревом, построенным по локусу NAD1 изоляты B2, SNP40 образовали монофилитическую группу со штаммами V1 5, Ak6, B3, B7 и B10 вида *A. uredinophilus*. Изоляты Ak1, Ak3 и SNP2 образовали монофилитическую группу со штаммами вида *A. lecanii*. Большинство же изолятов, для которых удалось амплифицировать последовательности локуса NAD1, объединились со штаммами, отнесенными к виду *A. muscarius* (рис. 2).

Таблица 2. Номера доступа в Генбанке использованных в данном исследовании изолятов

Table 2. Accession numbers in the Genebank of isolates used in this study

Вид Species	Штамм/изолят Strain/isolate	Молекулярно-генетические локусы Molecular genetic loci		
		ITS	TEF	NAD1
<i>Akanthomyces uredinophilus</i>	KACC 44082 TYPE	-	KM283806	-
	KACC 47756	-	KM283807	-
	KUN 101466	MG948305	MG948315	-
	KACC 44066	-	KM283808	-
	CEP 054 (ARSEF 7460)	MH013232	MH062184	-
	CEP 057 (ARSEF 7207)	MH013506	MH062186	-
	CEP 108 (ARSEF 7462)	MH013508	MH062188	-
	V15	-	-	KF562152
	Ak6	PQ608619	ON059122	PQ610593
	B1	PQ590478	PQ610578	PQ610561
	B2	PQ590479	PQ610579	PQ610562
	B3	PQ608616	PP680801	PQ610590
	B4	PQ590480	PQ610580	-
	B7	PQ608617	-	PQ610591
B10	PQ608618	-	PQ610592	
SNP40	PQ590474	PQ610586	PQ610558	
<i>A. lecanii</i>	CBS 101247 TYPE= IMI 304807R	JN049836	DQ522359	EF512952
	CBS 102067 = IMI 338019R	MH862778	KM283818	EF513094
	Ak1	PQ590458	PQ610566	PQ610547
	Ak2	PQ590459	PQ610567	
	Ak3	PQ590460	PQ610568	PQ610548
	SNP2	PQ590469	PQ610583	PQ610556
	SNP17	PQ590472	-	-
	SNP24	PQ590473	-	-
	B8	-	PQ610582	PQ610564
<i>A. dipterigenus</i>	CBS 102072 (IMI 179172 = ATCC 46578 VERTALEC)	-	KM283819	EF512914
	CBS 126.27 TYPE (IMI 021167 = ATCC 46578)	OP756342	KM283820	-

Продолжение таблицы 2 // Table 2 continued

	CBS 143.62 TYPE (IMI 068689 = ATCC 28300)	MH858126	KM283821	-
	MYCOTAL (CBS 102071)	EF512971	-	EF512913
	CBS 318.70K (KV56)	-	-	EF512920
	V121	-	-	KF562153
	Ak4	PQ590461	PQ610569	PQ610549
	Ak8	PQ590463	PQ610571	PQ610551
<i>A. muscarius</i>	Ak9	-	PQ610572	PQ610552
	Ak11	PQ590465	PQ610574	-
	Ak12	PQ590466	PQ610575	PQ610554
	Ak15	PQ590468	PQ610577	PQ610555
	SNP10	PQ590471	PQ610585	-
	SNP44	PQ590476	PQ610588	-
	B6	-	PQ610581	PQ610563
<i>A. pissodis</i>	CBS 118231 TYPE	-	KM283822	-
	BBC7	-	MT027503	-
	CBS 170.76 TYPE	MH872739	OP762607	-
<i>A. attenuatus</i>	CBS 402.78	AJ292434	EF468782	-
	Ak7	PQ590462	PQ610570	PQ610550
	Ak10	PQ590464	PQ610573	PQ610553
<i>A. lepidopterorum</i>	GZAC SD05151	MT705971	-	-
<i>A. neocoleopterorum</i>	GZAC GY11241 TYPE	MN093295	MN097813	-
<i>Paracorniculantispora psalliotae</i> (= <i>L. psalliotae</i>)	CBS 367.86	-	KM283823	-
	ARSEF 2332	-	-	EF512963
<i>Neogamszarella antillana</i> (<i>L. antillanum</i>)	CBS 350.85 TYPE	MH861888	DQ522350	-
<i>L. fusisporum</i>	CBS 164.70	AJ292428	KM283817	-
	YFCC 6101 TYPE	MN576833	MN576951	-
<i>Flavocillium bifurcatum</i>	ARSEF 14694	OR582994	OR602802.1	-
	Ak13	PQ590467	PQ610576	-
	CBS 101267 (IMI 317442)	EF513003	DQ522357	-
<i>Simplicillium lanosoniveum</i>	IMI 303103B	-	-	EF512950
	SNP3	PQ590470	PQ610584	PQ610557
<i>Beauveria bassiana</i>	ARSEF 1564 TYPE	HQ880761	HQ880974	-
	SNP45	PQ590477	PQ610589	PQ610560
<i>Akanthomyces</i> sp.	SNP43	PQ590475	PQ610587	PQ610559

Полужирным шрифтом выделены изоляты, идентифицированные в данном исследовании.
Isolates identified in the current study are in bold.

Вирулентность в отношении персиковой тли *Myzus persicae*

Выявлено, что большинство изолятов обладают патогенными свойствами в отношении *M. persicae*, и на 7 сутки 22 изолята показали биологическую эффективность более 90%, достоверно отличающуюся от эффективности остальных изолятов. При этом 16 изолятов на 7 сутки достигли эффективности 100%, изоляты B1, B3, B7, B10, SNP40, Ak8 и Ak10 уже на 3 сутки проявили эффективность более 50%. Изоляты SNP2 и Ak2 не проявили патогенных свойств в отношении *M. persicae*, показывая эффективность ниже 0%. Биологическая эффективность 6 изолятов на 3 сутки варьировала от -3.9% до 38.8%, достигая на 7 сутки 12–60% (табл. 3). Смертность в контроле не превышала 25%, наблюдалось нарастание численности.

Смертность опытных насекомых сопровождалась наличием внешних признаков микозов. Доля тлей, обросших грибом, для ряда изолятов достигала 90–100% (табл. 3). Все патогенные изоляты вызывали у тлей микозы, характеризующиеся развитием воздушного мицелия на поверхности насекомого с последующим спорообразованием.

У большинства изолятов на третьи сутки наблюдалось начальное обрастание грибом с нижней части тела. Наиболее типичной была картина обросших грибными гифами лапок насекомых, хорошо различимых под бинокулярным микроскопом (рис. 3А, В). Обрастание лапок чаще всего регистрировалось у изолятов Ak6, SNP3, SNP10 и SNP40. При этом насекомые часто оставались живыми, но теряли способность передвигаться. В случаях, когда обрастание начиналось непосредственно с нижней части тела, гибель тли наступала, как правило, быстрее (рис. 3С). Для изолята Ak6 была также отмечена специфическая деформация тела заражённых тлей, выражавшаяся в скручивании в сторону брюшка (рис. 3Е), что, вероятно, связано с нарушением процесса линьки. Изоляты B1, B3 и B10 проявили наиболее высокую вирулентность: к третьим суткам они вызывали полное покрытие тела тлей мицелием, при этом доля погибших особей с признаками микоза превышала 85%.

К 7 суткам большинство особей тли погибало, а доля мертвых насекомых с признаками микоза, вызванного патогенными изолятами, достигала 75–100%. Макроскопическая картина микоза у большинства изолятов была

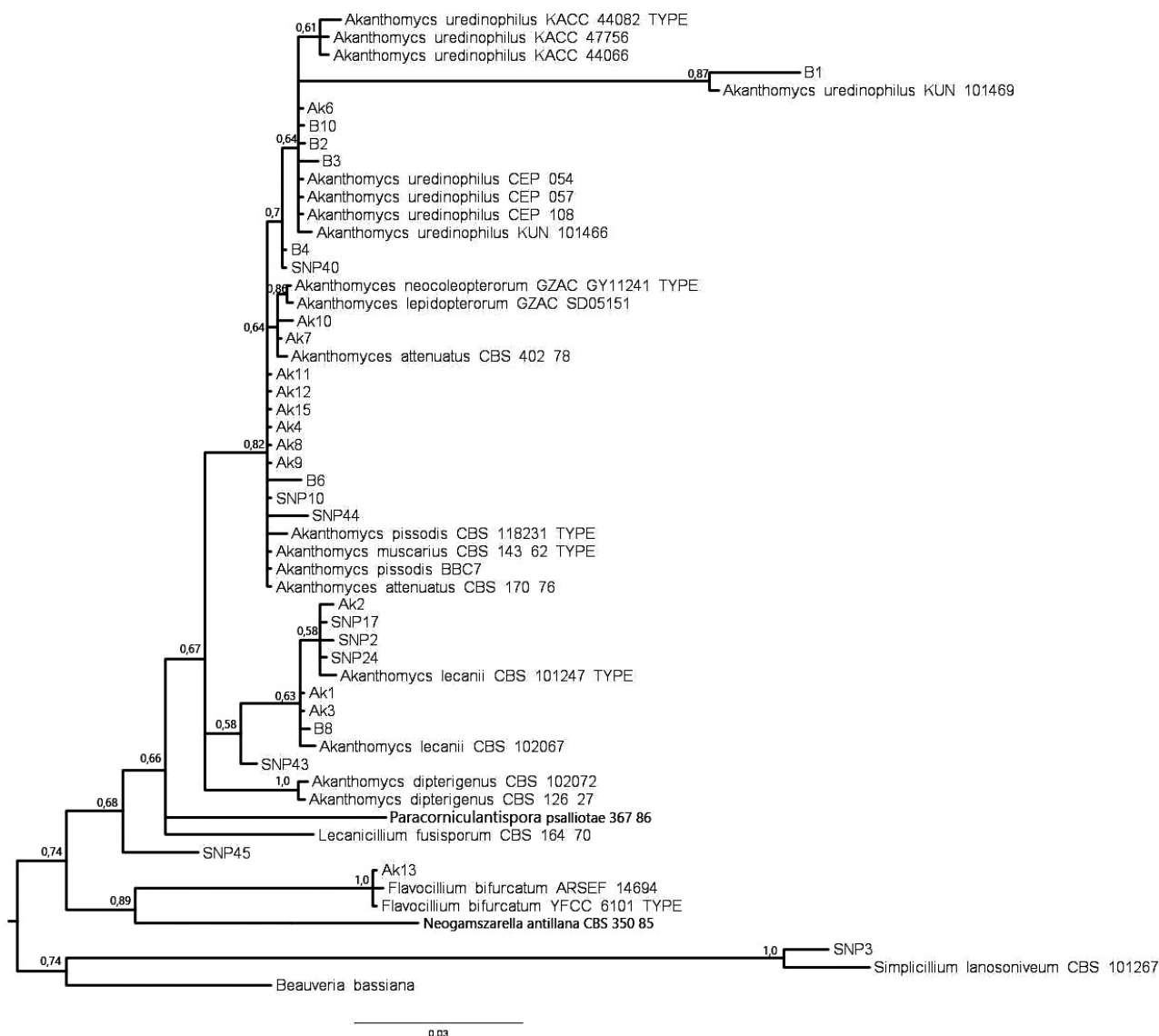


Рисунок 1. Филогенетическое дерево для объединенных нуклеотидных последовательностей генов ITS и TEF, построенное методом байесовского заключения (BI). Концевые ветви помечены обозначениями рода, вида и штамма; “TYPE” указывает на типовые штаммы данных видов. Размерная шкала соответствует 3% расхождения последовательностей по длине ветвей филограммы. В качестве внешней группы была использована конкатенация последовательностей энтомопатогенного гриба *B. bassiana* и гриба *Simplicillium lanosoniveum* (Hypocreales: Cordycipitaceae)

Figure 1. The phylogenetic tree for the combined nucleotide sequences of ITS and TEF genes, constructed by Bayesian inference (BI). Terminal branches are labeled by genus, species and strain designations; “TYPE” indicates specific type strains. The size bar corresponds to 3% sequence divergence with respect to phylogram branch lengths. The concatenation of sequences of the entomopathogenic fungus *B. bassiana* and the fungus *Simplicillium lanosoniveum* (Hypocreales: Cordycipitaceae) has been used as the outgroup

Таблица 3. Вирулентность природных изолятов *Lecanicillium*-подобных грибов в отношении *Myzus persicae*

Table 3. Virulence of natural *Lecanicillium*-like isolates towards *Myzus persicae*

№	Изолят Isolate	Биологическая эффективность, % Corrected mortality, %		Доля погибшей тли с признаками микоза, % Proportion of dead aphids with signs of mycosis, %	
		3 сут 3 days	7 сут 7 days	3 сут 3 days	7 сут 7 days
1	B1	83.4±7.5 a	92.1±6.5 a	86.3±5.2	93.9±5.4
2	B2	4.5±6.3 c	100 a	7.1±7.8	85.8±3.6
3	B3	67.5±11.9 ab	100 a	85.0±6.9	91.7±4.9
4	B4	37.2±4.3 b	100 a	88.0±8	100
5	B6	5.8±7.2 c	96.1±1.8 a	14.3±9.9	86.9±4.1
6	B7	72.8±2.9 ab	100 a	47.8±7.5	89.8±4.5
7	B8	5.0±8.0 b	100 a	38.9±8.5	89.3±4.3

Продолжение таблицы 3 // Table 3 continued

8	B10	88.5±4.9 a	100 a	94.9±1.7	96.9±3.1
9	SNP2	-119.2±89 d	-88.9±80.9 d	12.5±9.4	46.1±17.9
10	SNP3	15.4±5.0 bc	59.5±9.6 b	0	17.1±4.8
11	SNP10	38.9±11.3 b	100 a	47.9±12.2	89.7±4.7
12	SNP17	2.6±5.6 c	5.2±14.3 c	0	4.2±4.6
13	SNP24	38.8±11.3 b	51.8±11.3 b	2.8±3.04	22.3±12.1
14	SNP40	51.7±9.3 b	100±0 a	58.0±11.1	98.2±2.0
15	SNP43	-7.42±6.0 c	56.5±15.3 b	0	68.7±5.4
16	SNP44	29.17±7.7 b	100±0 a	26.3±7.8	92.5±4.0
17	SNP45	39.2±10.6 b	94.5±6.0 a	27.3±11.0	56.0±14.7
18	Ak1	16.7±6.2 bc	11.8±13.8 c	0	0
19	Ak2	-3.9±1.5 c	-3.3±6.2 c	0	38.5±8.3
20	Ak3	-7.0±5.8 c	14.6±12.0 c	0	31.3±23.6
21	Ak4	-6.5±4.2 b	95.6±4.4 a	0	86.1±4.5
22	Ak6	30.1±8.3 b	100 a	0	73.5±5.0
23	Ak7	39.9±15.2 b	100a	65.8±2.1	97.1±2.9
24	Ak8	53.8±11.8 b	100 a	79.2±8.3	98.4±1.6
25	Ak9	16.0±3.3 bc	99.0±0.8 a	26.7±17.6	90.7±1.3
26	Ak10	61.4±13.6 ab	100 a	66.9±13.4	89.8±5.3
27	Ak11	36.8±7.3 b	100 a	42.2±12.9	95.9±1.6
28	Ak12	23.5±6.5 c	100 a	50±20.4	91.7±3.9
29	Ak13	37.2±4.3 b	100 a	30.0±23.8	76.2±2.7
30	Ak15	40.7±8.5 b	100 a	43.7±19.7	87.9±5.6

Указано среднее значение и стандартная ошибка; разными буквами отмечены варианты, где различия между ними достоверны при P≤0.05 (попарное сравнение).

Mean value and standard error are indicated; different letters indicate the variants where the differences between them are reliable at P≤0.05 (pairwise comparison).

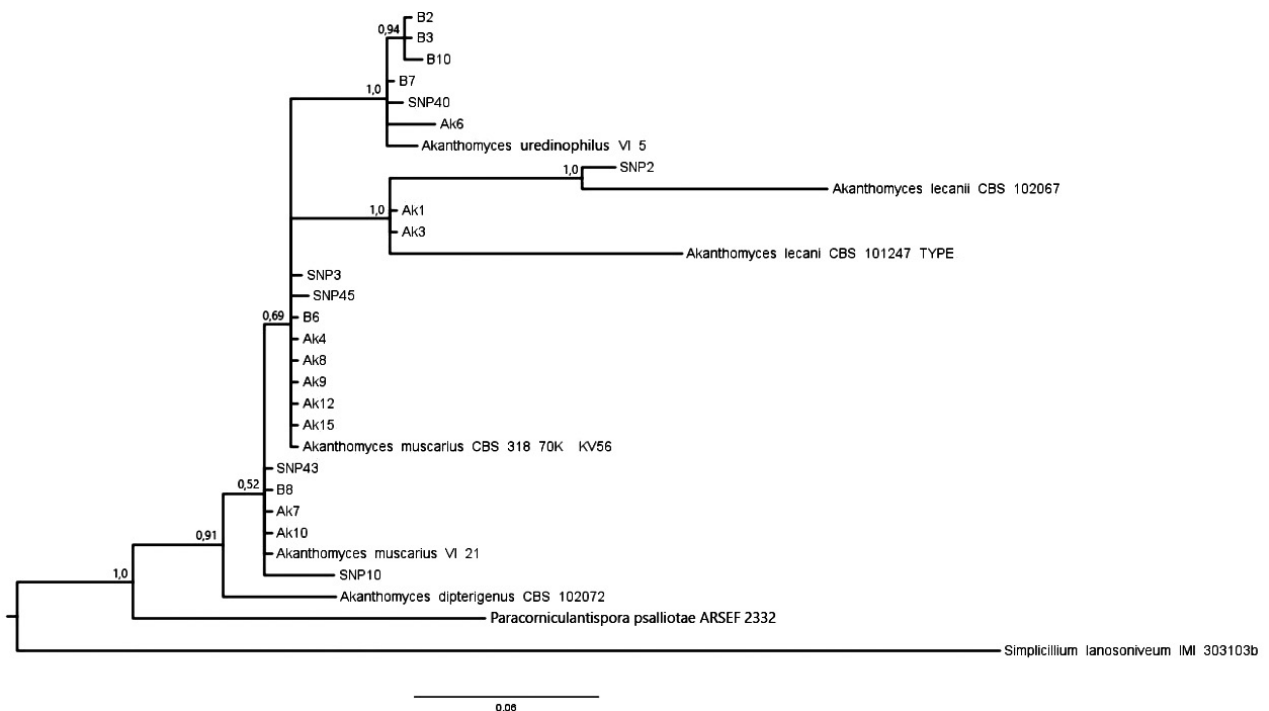


Рисунок 2. Филогенетическое дерево для нуклеотидной последовательности локуса NAD1, построенное методом байесовского заключения (БИ). Концевые ветви помечены обозначениями рода, вида и штамма; “TYPE” указывает на типовые штаммы данных видов. Размерная шкала соответствует 6% расхождению последовательностей по длине ветвей филограммы. В качестве внешней группы была использована последовательность гриба *Simplicillium lanosoniveum* (Hypocreales: Cordycipitaceae)

Figure 2. Phylogenetic tree for the nucleotide sequence of the NAD1 locus, constructed by Bayesian inference (BI). Terminal branches are labeled by genus, species and strain designations; “TYPE” indicates specific type strains. The size bar corresponds to 6% sequence divergence with respect to phylogram branch lengths. The NAD1 sequence from the *Simplicillium lanosoniveum* (Hypocreales: Cordycipitaceae) has been used as the outgroup

сходной: потемневшее или посеревшее тело насекомого окружал белый воздушный мицелий, от которого радиально отходили гифы с конидиеносцами и обилием конидий (рис. 3D). При этом для ряда изолятов были характерны следующие морфологические особенности: у изолята В8 гифы были приподняты над поверхностью субстрата и в ряде случаев закручивались в спираль (рис. 3F), мицелий изолята В4 плотно оплетал тело тли, сохраняя его контур, однако спороношение у этого изолята не наблюдалось за

учетный период (рис. 3С), Изолят В1 формировал два типа колоний: крупные, «пушистые», без видимых конидиальных структур, а также колонии с радиально расходящимися гифами, обильно покрытыми конидиями (рис. 3G). Для изолята В2 были характерны мелкие, слабо развитые колонии с короткими и редкими гифами, не скрывавшими потемневшее тело насекомого (рис. 3H). У изолята SNP3 (*S. lanosoniveum*) гифы образовывали неплотное сплетение непосредственно вокруг тела тли (рис. 3I).

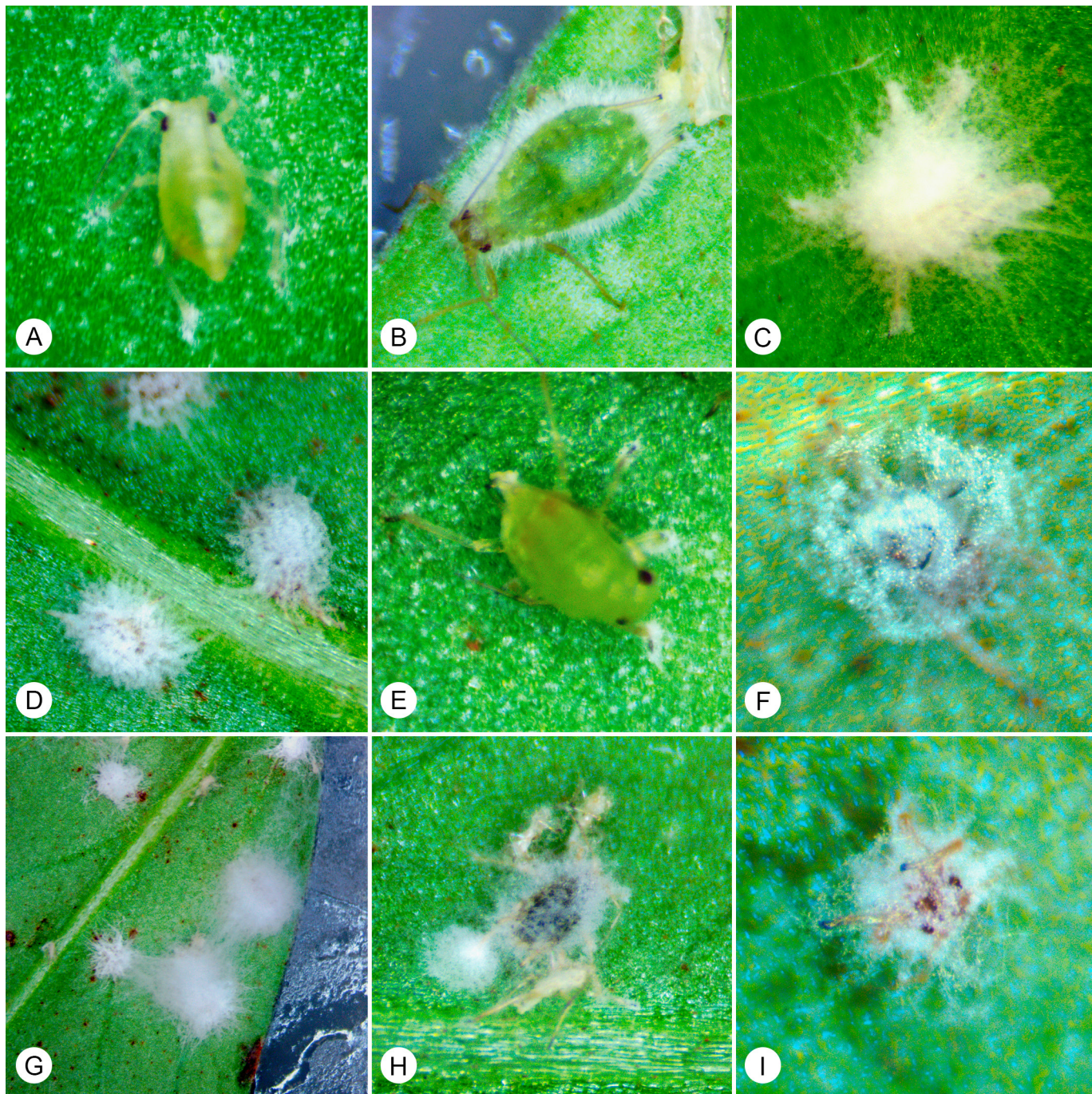


Рисунок 3. Внешний вид *Myzus persicae* при заражении различными изолятами *Lecanicillium*-подобных грибов: А) Ak6 3 на сут; В) Ak6 на 7 сут; С) В4 на 7 сут; D) В10 на 7 сут; Е) Ak6 на 3 сут; F) В8 на 7 сут; G) В1 на 10 сут; H) В2 на 10 сут; I) SNP3 на 7 сут

Figure 3. Morphology of *Myzus persicae* infected with various isolates of *Lecanicillium*-like fungi: А) Ak6 on 3 days; В) Ak6 on 7 days; С) В4 on 7 days; D) В10 on 7 days; Е) Ak6 on 3 days; F) В8 on 7 days; G) В1 on 10 days; H) В2 on 10 days; I) SNP3 on 7 days

Вирулентность изолятов в отношении оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum*

На личинках оранжерейной белокрылки были испытаны 22 изолята *Lecanicillium*-подобных грибов, показавших биологическую эффективность в отношении персиковой тли более 90% на 7 суток.

Все испытанные изоляты, за исключением В1, проявили патогенные свойства в отношении *T. vaporariorum*. Биологическая эффективность изолятов на 3 сутки варьировала от -1.6% (Ак6) до 56.7% (В2), а на 7 суток – от 27%

(Ак6) до 97.1% (SNP40). Было выявлено 15 высоковирулентных изолятов с биологической эффективностью более 80% на 7 сутки, не отличающейся друг от друга статистически. У 11 из них средняя эффективность превысила 90%. Среди них у 9 изолятов (Ак10, Ак11, Ак12, SNP40, SNP44, SNP45, В2, В6 и В10) биологическая эффективность превысила 30% уже на 3 суток (табл. 4). Смертность личинок в контроле не превышала 20%.

Таблица 4. Вирулентность природных изолятов *Lecanicillium*-подобных грибов в отношении *Trialeurodes vaporariorum*
Table 4. Virulence of natural *Lecanicillium*-like isolates towards *Trialeurodes vaporariorum*

№	Изолят Isolate	Биологическая эффективность, % Corrected mortality, %		Доля мертвых личинок с признаками микоза, % Proportion of dead larvae with signs of mycosis, %	
		3 сутки 3 days	7 суток 7 days	3 сутки 3 days	7 суток 7 days
1	Ак 4	15.4±7.3 b	71.5±14.5 c	39.8±13	61.2±7.6
2	Ак 6	-1.6±2.1 a	27.4±7.7 b	100±0	28.9±2.2
3	Ак 7	13.8±9.6 ab	90.2±6.7 d	78.7±14.3	79.6±6.9
4	Ак 8	6.9±11.1 ab	94.1±3.1 d	70.8±13.1	74.1±6.7
5	Ак 9	17.9±6.4 b	90.9±2.3 d	55.1±12.3	87.3±5.2
6	Ак 10	44.3±8.8 c	95.6±3.3 d	37.4±9.4	76.9±16
7	Ак 11	32.9±13.6 bc	91.4±5.2 d	52.6±10.7	78.7±9.3
8	Ак 12	32.5±6.7 bc	87.7±5.9 d	79.8±8.2	88.3±5.9
9	Ак 13	23±4.2 b	89.8±6.2 d	46.3±7.8	79.6±5.8
10	Ак 15	26.2±12.6 b	96.5±2.4 d	67.3±13.7	97.1±2.9
11	SNP 10	-0.8±5.9 a	82.9±4.4 c	50.2±15.4	75.4±10.7
12	SNP 40	34.4±6.6 b	97.1±2 d	41.1±4.9	38.5±6.3
13	SNP 44	41±10 c	87.4±7.2 cd	28.6±4.9	54.1±7.7
14	SNP 45	51.2±5.9 c	90.6±9.1 d	29.2±6.8	58.6±7.4
15	В1	-6.8±9.2 a	-3.4±2.3 a	0±0	1.1±1.1
16	В2	56.7±8.5 c	94.9±4.4 d	39.3±7.2	68.1±4.7
17	В3	18.3±2.6 b	80.8±11.3 cd	49.3±9	49.4±12.7
18	В4	20.6±8.3 b	91.4±3.2 d	72.1±7.6	83.3±7.8
19	В6	32±6 b	92.3±2.4 d	26.2±8.5	53.8±8.3
20	В7	17.3±8.9 b	73.1±6.1 c	88.5±7.1	45.9±8.4
21	В8	-1.8±3.3 a	76.2±3.6 c	70.9±18.7	58.5±12.9
22	В10	34.7±10.0 bc	76.5±6.4 c	85.4±5.5	41.3±8.5

Указано среднее значение и стандартная ошибка; разными буквами отмечены варианты, где различия между ними достоверны при $P \leq 0.05$ (парное сравнение); полужирным шрифтом выделены изоляты, идентифицированные в данном исследовании.

Mean value and standard error are indicated; different letters indicate the variants where the differences between them are reliable at $P \leq 0.05$ (pairwise comparison); isolates identified in the current study are in bold.

Смертность насекомых от гриба подтверждали наличием внешних признаков микозов (табл. 4). Изоляты формировали морфологически схожие пушистые или малопушистые белые колонии (рис. 4 А-Д). Со временем тело личинок усыхало, оставляя малозаметный белый налет гриба (рис. 4В). В некоторых случаях личинки выживали и развивались в имаго, однако отдельные взрослые особи были не способны выйти из пупария или имели дефекты

развития крыльев (рис. 4Е, F). У выживших имаго наблюдались начальные признаки заражения в виде белого налёта на ногах и крыльях. Насекомые проявляли поведенческую реакцию, пытаясь удалить конидии с помощью груминга, однако впоследствии они обрастали мицелием и погибали (рис. 4F).

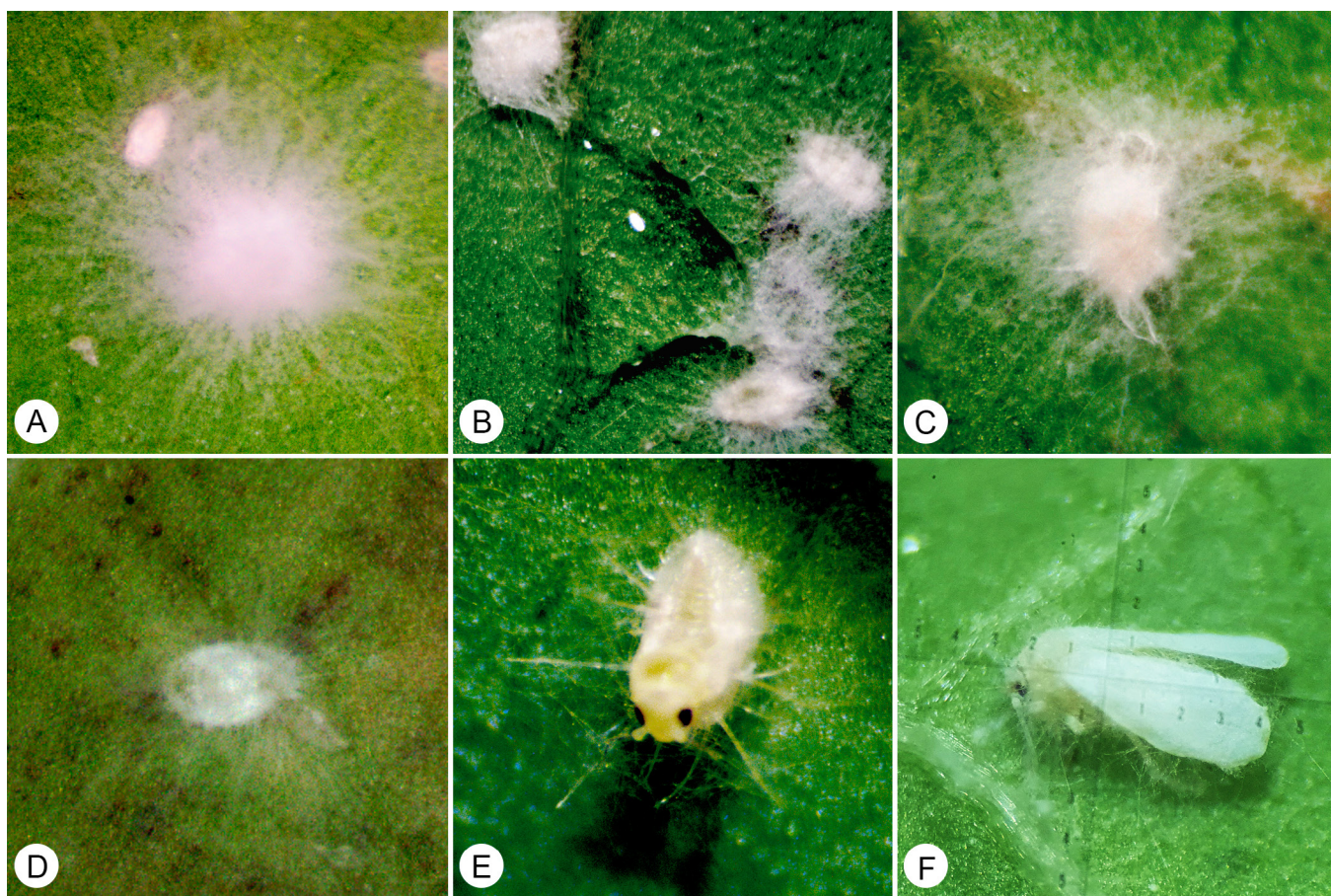


Рисунок 4. Особенности микозов личинок и имаго *Trialeurodes vaporariorum* при заражении различными изолятами *Lecanicillium*-подобных грибов: А) Ak7 на 7 сут; В) B10 на 7 сут; С) B7 на 7 сут; D) B3 на 7 сут; E) B7 на 7 сут; F) B10 на 7 сут

Figure 4. Features of mycoses of larvae and imago of *Trialeurodes vaporariorum* when infected with various isolates of *Lecanicillium*-like fungi: A) Ak7 on 7 days; B) B10 on 7 days; C) B7 on 7 days; D) B3 on 7 days; E) B7 on 7 days; F) B10 on 7 days

Обсуждение

В результате молекулярной идентификации в соответствии с полученными филогенетическими деревьями изолят Ak13 однозначно отнесен к виду *Flavocillium bifurcatum*, 7 изолятов отнесено к виду *A. lecanii*, 1 изолят B2 – к *A. uredinophilus*. Поскольку изоляты B4 и SNP40 были наиболее близки к кладе *A. uredinophilus*, а также, поскольку изолят SNP40 по локусу NAD1 объединился в группу с изолятами данного вида, оба изолята были отнесены к виду *A. uredinophilus*. В этой же группе находятся изоляты B3, B7, B10 и Ak6, ранее идентифицированные как *A. uredinophilus* (Черепанова и др., 2025). Девять изолятов предварительно отнесены к виду *A. muscarius*. Изоляты SNP43 и SNP45 идентифицированы до рода *Akanthomyces* sp., хотя согласно дереву по локусу NAD1 эти изоляты вошли в одну группу с представителями вида *A. muscarius*. Для уточнения их видовой принадлежности необходимо провести исследования по дополнительным локусам RPB1, RPB2, LSU и др., используемые для этой группы грибов. Изоляты Ak7 и Ak10 отнесены к виду *A. attenuatus* по локусам TEF и ITS. По локусу NAD1 они оказались в группе со штаммом VI 21 вида *A. muscarius*, однако ввиду малочисленности данных по локусу NAD1 о новых выделенных видах, к этим результатам стоит относиться с осторожностью.

Вид *Flavocillium bifurcatum*, представленный изолятом

Ak13, вероятно, был впервые найден на территории Российской Федерации. Ранее изолят этого вида был выделен из личинки неидентифицированной совки и описан китайскими исследователями в 2020 г. Анаморфа данного вида характеризуется наличием двух типов конидий: серповидных макроконидий и вытянутых микроконидий (Wang et al., 2020). Позднее представители *F. bifurcatum* были обнаружены на территории Кореи, США, Мексики и Словакии. При этом во всех случаях грибы данного вида выделяли или из почвы, или из насекомых (Goh et al., 2022; Hajek et al., 2023; Pérez-Anzúrez et al., 2024; Nosalj et al., 2024). В нашем же случае российский изолят Ak13 выделен из ржавчинных грибов, что расширяет потенциальный круг хозяев этого вида и делает его более перспективным в практической защите растений.

В данной работе локус NAD1 был использован только в качестве уточняющего, однако по данному локусу удалось четко разделить клады *A. uredinophilus* и *A. lecanii* с поддержкой ветвей 100%. Также внутри данного дерева предполагаемая клада *A. muscarius* разделена на 2 части. Ранее представленные здесь референтные штаммы относились к трем разным гаплотипам вида *A. muscarius* (Митина и др., 2015), но недавно было выявлено, что изолят VI 5, ранее отнесенный к гаплотипу С, оказался представителем вида *A. uredinophilus*. Возможно, данная ситуация

распространена и для других локусов, поскольку многие виды были описаны только в последние годы. Так Manfrino с соавторами в 2022 г, сравнив последовательности из Генбанка, предположили, что некоторые штаммы, идентифицированные в 2000-х годах как *A. muscarius* и *Akanthomyces sp.*, относятся к виду *A. uredinophilus*, который был впервые описан в 2015 г. (Park et al., 2015). Таким образом, можно предположить, что штаммы, различающиеся по гаплотипам, также окажутся представителями другого вида. При накоплении достаточного количества данных о новых выделенных видах и родах *Lecanicillium*-подобных грибов по локусу NAD1 этот участок митохондриального гена может быть информативным. Ранее было предложено мультилокусное генотипирование по трем локусам, по NAD1 в том числе, как достаточное для видового определения *Lecanicillium*-подобных грибов (Kouvelis et al., 2008; Mitina et al., 2017).

Все изоляты были испытаны в отношении опасного вредителя растений персиковой тли *M. persicae*. Выявлены 22 высоковирулентных изолята с биологической эффективностью более 90%. Среди них есть представители видов *A. muscarius*, *A. attenuatus*, *F. bifurcatum*, *A. lecanii* и *A. uredinophilus*. После испытания этих изолятов на оранжерейной белокрылке *T. vaporariorum* выявлено 15 высоковирулентных изолятов видов *A. muscarius*, *A. attenuatus*, *A. uredinophilus* и *F. bifurcatum* с биологической эффективностью более 80%.

Из 7 изолятов вида *A. lecanii* шесть изолятов, а также близкородственный изолят SNP43 показали биологическую эффективность ниже 60%. Причем изолят SNP2 вида *A. lecanii* показал отрицательную биологическую эффективность в отношении тли из-за значительного прироста численности насекомых в опыте, т.е. изолят, возможно, стимулировал размножение. Только изолят В8 того же вида, выделенный из белокрылки, был эффективен в отношении персиковой тли и оранжерейной белокрылки.

В литературе высказывалось предположение об узкой специализации вида *A. lecanii* в отношении щитовок (Gams, Zare, 2002), что подтверждалось последующими исследованиями (Kouvelis et al., 2008; Lopes et al., 2023). Однако были данные о выделении изолятов этого вида из белокрылок, тлей и даже представителей жесткокрылых. Вместе с тем есть некоторые сомнения в действительной принадлежности найденных авторами изолятов к виду *A. lecanii*, поскольку идентификация проводилась или по одному локусу ITS, что на данный момент недостаточно для точной видовой идентификации, или по морфологическим признакам, что весьма затруднительно ввиду крайне схожих внешних признаков у *Lecanicillium*-подобных грибов (Lu et al., 2022; Mejía, Espinel, 2022; Kushiyevev et al., 2022; Di Sora et al., 2025). В нашей работе четыре изолята *A. lecanii* были выделены из щитовок, но оставшиеся три – из ржавчины, белокрылки и тли (табл. 1), поэтому все же не стоит сужать спектр хозяев исключительно до щитовок и червецов. Рассмотренные в данном исследовании изоляты вида *A. lecanii* оказались неэффективными против персиковой тли, что также соотносится с некоторыми современными литературными данными, показывающими низкую эффективность представителей вида в отношении различных вредителей (Broumandnia et al., 2021; Lopes et al., 2023). Обычно *A. lecanii* считается перспективным

агентом борьбы с насекомыми, штаммы вида в различных исследованиях показывали высокую вирулентность в отношении трипсов, тлей, белокрылок (Hong et al., 2007; Diaz et al., 2009; Hanan et al., 2020). На основе штаммов данного вида существуют зарегистрированные биопрепараты против тлей в том числе, однако видовая принадлежность этих штаммов-продуцентов вызывает сомнения.

Все изоляты, отнесенные к видам *A. muscarius* и *A. attenuatus*, оказались перспективными агентами борьбы с обоими видами вредных насекомых, показывая биологическую эффективность более 70% на 7 сутки опытов. *A. muscarius* активно исследуется на протяжении десятилетий и показывает высокие значения вирулентности в отношении многих видов сосущих вредителей растений: белокрылок, тлей, мучнистых червецов, трипсов (Lopes et al., 2023; Di Sora et al., 2025). Вид *A. attenuatus* значительно реже становился объектом исследований несмотря на то, что был весьма эффективным в лабораторных и мелкоделяночных опытах. Чаще всего штаммы вида испытывали против различных видов тлей и трипсов. (Kim, Kim, 2008; Kim et al., 2008; Du et al., 2019; Yang et al., 2020). Результаты оценки биологической эффективности изолятов этих двух видов в данном исследовании также показали перспективы для борьбы с вредными насекомыми.

Изолят SNP3 вида *S. lanosoniveum* показал биологическую эффективность 60% в отношении *M. persicae*. Хотя обычно о представителях этого вида упоминают в контексте контроля фитопатогенных грибов, как показали наши исследования, они могут проявлять себя как энтомопатогены. При выявлении высоковирулентных изолятов у них, как и у представителей рода *Akanthomyces*, могут появиться перспективы применения в качестве биопестицида комплексного действия против насекомых и фитопатогенов (Wei et al., 2019).

Вид *A. uredinophilus* малоизучен. Первые изоляты вида были найдены на ржавчине (Park et al., 2015), но затем были сделаны находки и на насекомых (Wei et al., 2018; Manfrino et al., 2022; Черепанова и др., 2025). Есть данные о высокой вирулентности штаммов *A. uredinophilus* в отношении двух видов тлей *Sitobion avenae* F. и *Aphis citricola* van der Goot (Meng et al., 2022). В нашем исследовании все изоляты были высоковирулентными в отношении персиковой тли *M. persicae*, но эффективность в отношении оранжерейной белокрылки *T. vaporariorum* значительно варьировала. Частично это соотносится с данными Manfrino с соавторами, где при испытании штаммов вида *A. uredinophilus* смертность личинок оранжерейной белокрылки была существенно ниже смертности *M. persicae* (Manfrino et al., 2022). Но для изолятов В3, В4 и SNP40 данного исследования значения биологической эффективности в отношении тли и белокрылки были сопоставимо высокими, т.е. имеются различия изолятов внутри вида *A. uredinophilus* по вирулентности в отношении разных хозяев.

Изоляты вида *F. bifurcatum* ранее были найдены на представителях чешуекрылых и полужесткокрылых, но проверка их патогенных свойств не проводилась (Wang et al., 2020; Hajek et al., 2023). В данном исследовании гриб *F. bifurcatum* был впервые испытан против сосущих насекомых, показав высокую вирулентность, что делает его перспективным продуцентом биопрепаратов, представляющим интерес для дальнейшего изучения.

Заключение

Таким образом, было идентифицировано 30 природных изолятов, отобрано 15 изолятов четырех видов (*A. muscarius*, *A. attenuatus*, *A. uredinophilus* и *F. bifurcatum*), проявивших высокую вирулентность в отношении двух опасных сосущих вредителей растений: оранжерейной белокрылки *T. vaporariorum* и персиковой тли *M. persicae*.

Вид *F. bifurcatum* впервые найден на территории России и впервые испытан на данных видах насекомых-вредителей. В дальнейшем нужно уточнить видовую принадлежность двух изолятов SNP43 и SNP45 и протестировать отобранные изоляты на других вредителях растений.

Благодарности

Авторы выражают признательность Б.А. Борисову (ООО «АгроБиоТехнология», Москва) за предоставленные изоляты ЭПГ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ ВИЗР FGEU-2025-0003.

Библиографический список (References)

- Артюшкина ТВ, Носова АВ, Рыбаков ЮА (2023) Инсектицидные препараты на основе энтомопатогенных грибов. *Биотехнология*. 39(6):97–107. <https://doi.org/10.56304/S0234275823060030>
- Борисова ЕЕ, Шуварин МВ, Сизова ЮВ, Заикин ВП (2022) Оценка воздействия химических средств защиты растений и агротехнологий на объекты окружающей среды. *Вестник НГИЭИ* 10(137):20–27. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-10-20-27>
- Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации Ч I Пестициды. М: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 2025. 638 с
- Митина ГВ, Сокорнова СВ (2013) Характер взаимодействия штаммов *Lecanicillium* spp. при совместном заражении оранжерейной белокрылки *Trialeurodes vaporariorum*. *Микология и фитопатология* 47(4):261–265
- Митина ГВ, Токарев ЮС, Казарцев ИА, Ули-Маттила Т (2015) Молекулярно-генетическая характеристика штаммов энтомопатогенных грибов рода *Lecanicillium* (= *Verticillium lecanii* s.l.). *Микология и фитопатология* 49(2):109–115
- Россельхознадзор сообщает об объемах применения пестицидов и агрохимикатов в регионах России за первый квартал 2025 года. <https://fsvps.gov.ru/news/rosselhoz nadzor-soobshhaet-ob-obemah-primenenija-pestitsidov-i-agrohimitatov-v-regionah-rossii-za-pervyj-kvartal-2025-goda/> (01.12.25)
- Сухорученко ГИ (2001) Резистентность вредных организмов к пестицидам-проблема защиты растений второй половины XX столетия в странах СНГ. *Вестник защиты растений* 1:18–37
- Сухорученко ГИ, Долженко ВИ, Ганнибал ФБ, Албантов Г и др. (2024) Резистентность вредных членистоногих, фитопатогенных грибов и грызунов к пестицидам. СПб: Издательский дом Петрополис. 672 с
- Черепанова МА, Митина ГВ, Чоглокова АА, Борисов БА (2025) Первые в России находки энтомопатогенного гриба *Akanthomyces uredinophilus* (Hypocreales, Cordycipitaceae) из Республики Адыгея. *Микология и фитопатология* 59(1):74–87. <https://doi.org/10.31857/S0026364825010091>
- Askary H, Yarmand H (2007) Development of the entomopathogenic hyphomycete *Lecanicillium muscarium* (Hyphomycetes: Moniliales) on various hosts. *Eur J Entomol* 104(1):67–72. <https://doi.org/10.14411/eje.2007.011>
- Broumandnia F, Rajabpour A, Parizipour MHG, Yarahmadi F (2021) Morphological and molecular identification of four isolates of the entomopathogenic fungal genus *Akanthomyces* and their effects against *Bemisia tabaci* on cucumber. *Bull Entomol Res* 111(5):628–636. <https://doi.org/10.1017/S0007485321000298>
- Cuthbertson AGS, Walters KFA (2005) Pathogenicity of the entomopathogenic fungus, *Lecanicillium muscarium*, against the sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* under laboratory and glasshouse conditions. *Mycopathologia* 160(4):315–319. <https://doi.org/10.1007/s11046-005-0122-2>
- de Faria MR, Wraight SP (2007) Myco-insecticides and myco-acaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biol Control* 43(3):237–256. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.001>
- Di Sora N, Turco S, Brugnati F, Isoli F et al (2025) “The Last of Them”: Entomopathogenic effect of *Akanthomyces muscarius* on the scale insect pest *Toumeyella parvicornis* under laboratory conditions, a potential biological control candidate. *Physiol Plant* 177(5):e70533. <https://doi.org/10.1111/ppl.70533>
- Diaz BM, Oggerin M, Lastra CCL, Rubio V et al (2009). Characterization and virulence of *Lecanicillium lecanii* against different aphid species. *BioControl* 54(6):825–835.
- Du C, Yang B, Wu J, Ali S (2019) Identification and virulence characterization of two *Akanthomyces attenuatus* isolates against *Megalurothrips usitatus* (Thysanoptera: Thripidae). *Insects* 10(6):168. <https://doi.org/10.3390/insects10060168>
- Gams W, Zare R (2002) New generic concepts in *Verticillium* sect. *Prostrata*. *Mycol Res* 106(2):129–131. <https://doi.org/10.1017/S0953756202225824>
- Goh J, Oh Y, Park YH, Mun HY et al (2022) Isolation and characterization of previously undescribed seventeen fungal species belonging to the order Hypocreales in Korea. *Korean J Mycol* 50(1):1–29. <https://doi.org/10.4489/KJM.20220001>
- Hajek AE, Everest TA, Clifton EH (2023) Accumulation of fungal pathogens infecting the invasive spotted lanternfly, *Lycorma delicatula*. *Insects* 14(12):912. <https://doi.org/10.3390/insects14120912>
- Hall TA (1999) BioEdit: A User-Friendly Biological Sequence Alignment Editor and Analysis Program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symp Ser* 41:95–98
- Hanan A, Nazir T, Basit A, Ahmad S, Qiu D (2020) Potential of *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) as a microbial control agent for green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) *Pak J. Zool* 52(1):131–140. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2020.52.1.131.137>

- Hong SI, Kim K (2007) Selection of entomopathogenic fungi for aphid control. *J Biosci Bioeng* 104(6):498–505. <https://doi.org/10.1263/jbb.104.498>
- Katoh K, Rozewicki J, Yamada KD (2019) MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. *Brief Bioinform* 20(4):1160–1166. <https://doi.org/10.1093/bib/bbx108>
- Kepler RM, Luangsa-Ard JJ, Hywel-Jones NL, Quandt CA, Sung GH et al (2017) A phylogenetically-based nomenclature for Cordycipitaceae (Hypocreales). *IMA Fungus* 8(2):335–353. <https://doi.org/10.5598/imafungus.2017.08.02.08>
- Khan BA, Nadeem MA, Nawaz H, Amin MM et al (2023) Pesticides: impacts on agriculture productivity, environment, and management strategies. *Emerging contaminants and plants: Interactions, adaptations and remediation technologies* Cham: Springer International Publishing:109–134 https://doi.org/10.1007/978-3-031-22269-6_5
- Kim HY, Lee HB, Kim YC, Kim IS (2008) Laboratory and field evaluations of entomopathogenic *Lecanicillium attenuatum* CNU-23 for control of green peach aphid (*Myzus persicae*). *J Microbiol Biotechnol* 18(12):1915–1918 <https://doi.org/10.4014/jmb.0800.235>
- Kim JJ, Kim KC (2008) Selection of a highly virulent isolate of *Lecanicillium attenuatum* against cotton aphid *J Asia-Pac Entomol* 11(1):1–4. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2008.02.001>
- Kouvelis VN, Sialakouma A, Typas MA (2008) Mitochondrial gene sequences alone or combined with ITS region sequences provide firm molecular criteria for the classification of *Lecanicillium* species. *Mycol Res* 112(7):829–844. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2008.01.016>
- Kushiyev R, Tunçer C, Özdemir İO, Erper İ et al (2022) Molecular characterization of native entomopathogenic fungi from ambrosia beetles in hazelnut orchards of Turkey and evaluation of their in vitro efficacy. *Insects* 13(9):824. <https://doi.org/10.3390/insects13090824>
- Lopes RB, Souza TAD, Mascarin GM, Souza GM et al (2023) *Akanthomyces* diversity in Brazil and their pathogenicity to plant-sucking insects. *J Invertebr Pathol* 200:107955. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2023.107955>
- Lu Q, Wang P, Ali A, Zang LS (2022) Molecular identification and virulence of four strains of entomopathogenic fungi against the whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *J Econ Entomol* 115(3):731–738. <https://doi.org/10.1093/jee/toac031>
- Malysh J, Kononchuk A, Frolov A (2019) Detection of microsporidia infecting beet webworm *Loxostege sticticalis* (Pyraloidea: Crambidae) in European and Asian parts of Russia in 2006–2008. *Plant Protect News* 2:45–51. [https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-2\(100\)-45-51](https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-2(100)-45-51)
- Manfrino R, Gutierrez A, Diez del Valle F, Schuster C et al (2022) First description of *Akanthomyces uredinophilus* comb. nov. from Hemipteran insects in America. *Diversity* 14(12):1118. <https://doi.org/10.3390/d14121118>
- Mejía C, Espinel C (2022) In vitro versus in planta: Comparing the compatibility of *Akanthomyces lecanii* with pesticides against *Trialeurodes vaporariorum*. *J Appl Entomol* 146(10):1272–1280. <https://doi.org/10.1111/jen.13064>
- Meng Y, Wellabada Hewage Don PID, Wang D (2022) A new strain of *Lecanicillium uredinophilum* isolated from Tibetan plateau and its insecticidal activity. *Microorganisms* 10(9):1832. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091832>
- Mitina G, Kazartsev I, Vasileva A, Yli-Mattila T. (2017) Multilocus genotyping based species identification of entomopathogenic fungi of the genus *Lecanicillium* (= *Verticillium lecanii* s.l.). *J Basic Microbiol* 57(11):950–961. <https://doi.org/10.1002/jobm.201700092>
- Mitina G. V., Stepanycheva, E. A., Chogloкова, A. A., & Cherepanova, M. A. (2021). Features of behavioral reactions of the peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Hemiptera, Aphididae) to volatile organic compounds of entomopathogenic fungi of the Genus *Lecanicillium*. *Entomol Rev*, 101(8):1015–1023. <https://doi.org/10.1134/S0013873821080017>
- Nosalj S, Dlapa P, Hrabovský A, Kollár J et al (2024) Biological and physico-chemical properties of the soil in an acidified environment influenced by previous mining activities at the Šobov locality (SLOVAKIA). *Biologia* 79(6):1639–1652. <https://doi.org/10.1007/s11756-024-01638-0>
- Park MJ, Hong SB, Shin HD (2015). *Lecanicillium uredinophilum* sp. nov. associated with rust fungi from Korea. *Mycotaxon* 130(4), 997–1005.
- Pérez-Anzúrez G, Mendoza-de Gives P, Olmedo-Juárez A, López-Arellano ME et al (2024) First Record of *Flavocillium subprimulinum* (Cordycipitaceae, Hypocreales) in Mexico: morphological and molecular characterisation, nematocidal activity of its liquid culture filtrates against *Haemonchus contortus* and protease activity. *J Fungi (Basel)* 10(1):56. <https://doi.org/10.3390/jof10010056>
- Rehner SA, Posada F, Buckley EP, Infante F et al (2006) Phylogenetic origins of African and Neotropical *Beauveria bassiana* s.l. pathogens of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* *J Invertebr Pathol* 93(1):11–21. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2006.04.005>
- Ronquist F, Teslenko M, Van Der Mark P, Ayres DL et al (2012) MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Syst Biol* 61(3):539–542. <https://doi.org/10.1093/sysbio/sys029>
- Wang Y, Wang ZQ, Luo R, Souvanhnachit R et al (2024) Species diversity and major host/substrate associations of the genus *Akanthomyces* (Hypocreales, Cordycipitaceae). *MycKeys* 101:113. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.101.109751>
- Wang YB, Wang Y, Fan Q, Duan DE et al. (2020). Multigene phylogeny of the family *Cordycipitaceae* (Hypocreales): new taxa and the new systematic position of the Chinese cordycipitoid fungus *Paecilomyces hepiali*. *Fungal Divers* 103(1): 1–46. <https://doi.org/10.1007/s13225-020-00457-3>
- Wei DP, Wanasinghe DN, Chaiwat TA, Hyde KD (2018) *Lecanicillium uredinophilum* known from rusts, also occurs on animal hosts with chitinous bodies. *Asian J Mycol* 1(1): 63–73. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/9/4/8>
- Wei DP, Wanasinghe DN, Hyde KD et al (2019) The genus *Simplicillium*. *MycKeys* 60:69–92. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.60.38040>
- Yang B, Du C, Ali S, Wu J (2020) Molecular characterization and virulence of fungal isolates against the bean flower thrips, *Megalurothrips usitatus* Bagnall (Thysanoptera: Thripidae). *Egypt J Biol Pest Control* 30(1):50. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00225-0>
- Zare R, Gams W (2001) A revision of *Verticillium* sect. Prostrata. 1V. The genera *Lecanicillium* and *Simplicillium*

gen. nov. *Nova Hedwigia* 73(1–2):1–50. <https://doi.org/10.1127/nova.hedwigia/73/2001/1>
 Zhang ZF, Zhou SY, Eurwilaichitr L, Ingsriswang S, Raza M et al (2020) Culturable mycobiota from Karst caves in China II, with descriptions of 33 new species. *Fungal Divers* 103:1–68. <https://doi.org/10.1007/s13225-020-00453-7>

Zhou Y, Li Z, Xu Z, Zhang J, Wang Y et al (2020) Fast recognition of *Lecanicillium* spp., and its virulence against *Frankliniella occidentalis* *Front Microbiol* 11:561381. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.561381>

Translation of Russian References

Artyushkina TV, Nosova AV, Rybakov YuA (2023) [Insecticidal preparations based on entomopathogenic fungi]. *Biotekhnologiya* 39(6):97–107. <https://doi.org/10.56304/S0234275823060030> (In Russian)
 Borisova EE, Shuvarin MV, Sizova YuV, Zaikin VP (2022) [Assessment of the impact of chemical plant protection products and agrotechnologies on environmental objects]. *Vestnik NGIEI* 10(137):20–27. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-10-20-27> (In Russian)
 State catalogue of pesticides and agrochemicals approved for use in the territory of the Russian Federation. Part I. Pesticides (2025) Moscow: *Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Rossiiskoi Federatsii*. 638 p. (In Russian)
 Mitina GV, Sokornova SV (2013) [The nature of interaction of *Lecanicillium* spp. strains during co-infection of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum*]. *Mikologiya i fitopatologiya* 47(4):261–265 (In Russian)
 Mitina GV, Tokarev YuS, Kazartsev IA, Uli-Mattila T (2015) [Molecular genetic characteristics of entomopathogenic fungus strains of the genus *Lecanicillium* (= *Verticillium*

lecanii s.l.)]. *Mikologiya i fitopatologiya* 49(2):109–115 (In Russian)

Rosselkhoznadzor reports on the volumes of use of pesticides and agrochemicals in the regions of Russia for the first quarter of (2025) <https://fsvps.gov.ru/news/rosselkhoznadzor-soobshhaet-ob-obemah-primenenija-pesticidov-i-agrohimiKatov-v-regionah-rossii-za-pervyj-kvartal-2025-goda/> (01.12.25) (In Russian)

Sukhoruchenko GI (2001) [Resistance of harmful organisms to pesticides - a plant protection problem of the second half of the 20th century in the CIS countries]. *Plant Protection News* 1:18–37 (In Russian)

Sukhoruchenko GI, Dolzhenko VI, Gannibal' FB, Albantov G et al (2024) [Resistance of harmful arthropods, phytopathogenic fungi, and rodents to pesticides]. St. Petersburg: Izdatel'skii dom Petropolis. 672 p. (In Russian)

Cherepanova MA, Mitina GV, Chogloкова AA, Borisov BA (2025). First-Ever discoveries of the entomopathogenic fungus *Akanthomyces uredinophilus* in Russia. *Biology Bulletin Reviews* 15(2):S185-S197. <https://doi.org/10.1134/S2079086425600985>

Plant Protection News, 2026, 109(1), p. 49–62

OECD+WoS: 1.06+RQ (Mycology); 1.06+QU (Microbiology)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2026-109-1-17599>

Full-text article

MOLECULAR GENETIC ANALYSIS OF NEW NATURAL ISOLATES OF *LECANICILLIUM*-LIKE FUNGI AND STUDY OF THEIR PATHOGENIC PROPERTIES

M.A. Cherepanova*, G.V. Mitina, A.A. Chogloкова

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

*corresponding author, e-mail: CherepMA@mail.ru

The widespread use of chemical insecticides in agriculture is associated with numerous adverse effects, which substantiates the necessity of biological plant protection development. Entomopathogenic fungi are considered as promising biocontrol agents against arthropod pests. This study aimed to isolate and characterize new natural isolates of *Lecanicillium*-like fungi discovered in Russia and to evaluate their virulence against two dangerous sucking pests: the peach aphid *Myzus persicae* and the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum*. Thirty isolates collected from various regions of Russia in 2019–2022 were identified using molecular genetic methods targeting the ITS, TEF, and NAD1 loci. The isolates were identified as *Akanthomyces lecanii*, *A. muscarius*, *A. attenuatus*, *A. uredinophilus*, *Flavocillium bifurcatum*, and *Simplicillium lanosoniveum*. *Flavocillium bifurcatum* being recorded in Russia for the first time. Laboratory bioassays revealed high variability in isolate virulence. Twenty two isolates demonstrated over 90% biological efficacy on the 7 day against *M. persicae*, among them 16 isolates achieved 100% efficacy. From 22 tested isolates 15 showed over 80% efficacy towards *T. vaporariorum*. The most promising isolates belong to the species *A. uredinophilus*, *A. muscarius*, *A. attenuatus*, and *F. bifurcatum*. The latter was tested against both target pests for the first time. Consequently, 15 highly virulent isolates were selected as promising agents for the control of aphids and whiteflies.

Keywords: biological control, entomopathogenic fungi, *Akanthomyces*, *Myzus persicae*, *Trialeurodes vaporariorum*, molecular identification

Submitted: 26.01.2026

Accepted: 27.03.2026