



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

ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2026 TOM 109 ВЫПУСК 2
 VOLUME ISSUE



Санкт-Петербург
St. Petersburg, Russia

Для оформления обложки использованы фотографии галлов, образованных тлями *Pemphigus* spp. Из статьи Н.С. Бабичева, М.А. Рязановой, И.А. Михайловой, Н.И. Кириченко (стр. 163–172) [ориг.]

The cover design includes the photos of galls formed by *Pemphigus* spp. aphids. From the article by N.S. Babichev, M.A. Ryazanova, I.A. Mikhailova, N.I. Kirichenko (p. 163–172) [orig.]

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
“Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений”
(ФГБНУ ВИЗР)

All-Russian Institute of Plant Protection

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

В Е С Т Н И К

ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2026 ТОМ
VOLUME **109** ВЫПУСК
ISSUE **2**

Санкт-Петербург
St. Petersburg, Russia
2026

ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Научно-теоретический рецензируемый журнал

Основан в 1939 г.

Издание возобновлено в 1999 г.

Учредитель: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР)

Зарегистрирован в ГК РФ по печати № 017839 от 03 июля 1998 г.

Главный редактор: В.А. Павлюшин

Зам. гл. редактора: И.А. Белоусов, Ю.С. Токарев

Ответственный секретарь: А.Г. Конончук

Технические секретари: Е.В. Полуэктова, С.Г. Удалов

Редактор англоязычных текстов: Токарев Ю.С.

Журнал «Вестник защиты растений» (ISSN: 1727-1320) включен в «Перечень изданий ВАК РФ» по следующим научным специальностям и отраслям науки:

1.5.14 – Энтомология (биологические науки),

1.5.18 – Микология (биологические и сельскохозяйственные науки),

4.1.1 – Общее земледелие. Растениеводство (биологические и сельскохозяйственные науки),

4.1.2 – Селекция, семеноводство и биотехнология растений (биологические и сельскохозяйственные науки),

4.1.3 – Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (биологические и сельскохозяйственные науки)

Индексируется в RSCI & Scopus, входит в «Белый Список» –

Единый государственный перечень научных изданий

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Афанасенко О.С., дбн, академик РАН, ВИЗР

Бекирджан Ч., PhD, Турция

Белоусов И.А., кбн, ВИЗР

Белякова Н.А., кбн, ВИЗР

Власов Д.Ю., дбн, СПбГУ

Ганнибал Ф.Б., кбн, ВИЗР

Гричанов И.Я., дбн, ВИЗР

Дзянь Синьфу, профессор, КНР

Егоров Е.А., дэн, академик РАН, СКФНЦСив

Игнатов А.Н., дбн, РУДН

Каракотов С.Д., дхн, академик РАН,

ЗАО «Щелково Агрохим»

Карпун Н.Н., дбн, Субтропический

научный центр РАН

Косман Е., профессор, Израиль

Краснов Ч., PhD, Израиль

Кюссон М., PhD, Канада

Лаврищев А.В., дсхн, СПбГАУ

Лаптиева А.Б., дбн, ООО «ИЦЗР»

Лунева Н.Н., дбн, ВИЗР

Лысов А.К., ктн, ВИЗР

Мавроди Д., профессор, США

Мехрабади М., PhD, Иран

Намятова А.А., кбн, ЗИН

Новикова И.И., дбн, ВИЗР

Павлюшин В.А., дбн, академик РАН, ВИЗР

Радченко Е.Е., дбн, ВИР

Савченко И.В., дбн, академик РАН, ВИЛАР

Санин С.С., дбн, академик РАН, ВНИИФ

Синев С.Ю., дбн, ЗИН

Соколова Ю.Я., дбн, США

Сорока С.В., дсхн, профессор, Белоруссия

Сухорученко Г.И., дсхн, ВИЗР

Ули-Маттила Т., профессор, Финляндия

Токарев Ю.С., дбн, ВИЗР

Упадышев М.Т., дбн, член-корреспондент РАН,

РГАУ-МСХА

Фролов А.Н., дбн, ВИЗР

Хлесткина Е.К., дбн, ВИР

Шамшев И.В., кбн, ЗИН

Шпанев А.М., дбн, АФИ

Ответственные редакторы выпуска:

Афанасенко О.С., Белякова Н.А., Ганнибал Ф.Б., Лунёва Н.Н., Токарев Ю.С.

Россия, 196608, Санкт-Петербург – Пушкин, шоссе Подбельского, 3, ВИЗР

Email: vestnik@vizr.spb.ru

<https://plantprotect.ru>



Содержимое данного выпуска распространяется на условиях Creative Commons Attribution License 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

Полнотекстовые обзоры / Full-text reviews**Фунгициды для защиты от оомицетов****Н.А. Крупенько**

Fungicides for protection against Oomycetes

N.A. Krupenko 116

Мини-обзоры / Mini-reviews**Ассортимент гербицидов для борьбы с гумеом (сорго алеппским)****А.С. Голубев**

Assortment of herbicides to control Johnsongrass (Aleppo grass)

A.S. Golubev 132

Полнотекстовые статьи / Full-text articles**Мониторинг вирулентности северо-западной популяции *Puccinia triticina* в 2023–2025 годах****Е.И. Гуляева, Е.Л. Шайдаюк**Virulence monitoring of the northwestern population of *Puccinia triticina* in 2023–2025

E.I. Gulyaeva, E.L. Shaydayuk 141

Фунгицидная защита пшеницы озимой от гриба *Pyrenophora tritici-repentis***О.Ю. Кремнева, И.В. Чеботок, К.Э. Гасян, А.М. Асатурова, Г.В. Волкова, Н.А. Жевнова**Fungicidal protection of winter wheat against the fungus *Pyrenophora tritici-repentis*

O.Yu. Kremneva, I.V. Chebotok, K.E. Gasyan, A.M. Asaturova, G.V. Volkova, N.A. Zhevnova 149

Молекулярно-генетические характеристики галлообразующих тлей *Pemphigus* spp. – вредителей тополей в Приенисейской Сибири**Н.С. Бабичев, М.А. Рязанова, И.А. Михайлова, Н.И. Кириченко**Molecular-genetic characteristics of gall-forming aphids *Pemphigus* spp. – the pests of poplars in Yenisei Siberia

N.S. Babichev, M.A. Ryazanova, I.A. Mikhailova, N.I. Kirichenko 163

Эффективность акарицидов в борьбе с клещом *Blattisocius tarsalis* в технологии массового разведения зерновой моли *Sitotroga cerealella***Г.П. Иванова, Т.И. Васильева, Н.А. Белякова**Effectiveness of acaricides in the control of the mite *Blattisocius tarsalis* in the mass rearing technology of the Angoumois grain moth *Sitotroga cerealella*

G.P. Ivanova, T.I. Vasilyeva, N.A. Belyakova 173

Токсичность инсектицидов для капустной моли *Plutella xylostella* в Северо-Западном регионе России**Д.А. Емельянов, Г.П. Иванова, Г.И. Сухорученко**Toxicity of insecticides for the diamondback moth *Plutella xylostella* in the northwestern region of Russia

D.A. Emelyanov, G.P. Ivanova, G.I. Sukhoruchenko 180

Изучение биологических особенностей и разработка методов лабораторного культивирования паразитоида *Dibrachys cavus* (Hymenoptera: Pteromalidae)**И.С. Агасьева, М.В. Петрищева, Е.О. Голобородько, В.С. Петрищев**Study of biological characteristics and development of methods for laboratory rearing of the parasitoid *Dibrachys cavus* (Hymenoptera: Pteromalidae)

I.S. Agasyeva, M.V. Petrishcheva, E.O. Goloborodko, V.S. Petrishchev. 191

Краткие сообщения / Short Communications**Стволовые насекомые – вредители сосны обыкновенной в ослабленном дефолиацией и низовым пожаром ленточном бору на юге Алтайского края****Н.И. Кириченко, А.А. Агеев, С.А. Астапенко, А.А. Ефременко, Н.С. Бабичев, Д.Г. Касаткин**

Xylophagous insect pests of Scots pine in a ribbon forest weakened by defoliation and ground fire in the south of the Altai Area

N.I. Kirichenko, A.A. Ageev, S.A. Astapenko, A.A. Efremenko, N.S. Babichev, D.G. Kasatkin205 198

Изменчивость российских популяций *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera, Aphididae) по вирулентности к сортам пшеницы**Е.Е. Радченко, Р.А. Абдуллаев**Variability of *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera, Aphididae) Russian populations in virulence to wheat varieties

E.E. Radchenko, R.A. Abdullaev. 204

ФУНГИЦИДЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ООМИЦЕТОВ

Н.А. Крупенько

ООО «Франдеса», Минск, Беларусь

e-mail: krupenko_natalya@mail.ru

Оомицеты являются обширной группой гетеротрофных организмов, ведущих свободноживущий или паразитический образ жизни. Среди последних большое экономическое значение имеют возбудители болезней сельскохозяйственных растений. Оомицеты вызывают такие вредоносные заболевания, как фитофтороз картофеля, ложную мучнистую росу (пероноспороз) винограда, овощных и крестоцветных культур. Они также поражают корневую систему многих растений, вызывая черную ножку, корневую гниль, корневые гнили. Высокая вредоносность заболеваний, вызываемых оомицетами, обуславливает поиск химических фунгицидов, обеспечивающих защиту от данных фитопатогенов. Учитывая существенные различия между истинными грибами и оомицетами, не все из известных в настоящее время соединений эффективны в отношении последних. В статье рассмотрены фунгициды разных химических классов, применяемые для защиты от оомицетов, проанализирована литература по механизмам и спектру их действия.

Ключевые слова: механизм действия фунгицидов, химические классы фунгицидов, действующее вещество, болезни растений, оомицеты

Поступила в редакцию: 17.02.2026

Принята к печати: 04.08.2026

Оомицеты (Oomycetes) – гетеротрофные организмы, обладающие некоторыми чертами грибов, но значительно от них отличающиеся (Cavalier-Smith, Chao, 2006). Они имеют вегетативное тело в виде неклочкового (ценоцитного) многоядерного мицелия, состоящего из диплоидных гиф. В их жизненном цикле присутствуют подвижные споры бесполого размножения (зооспоры) с двумя жгутиками разной формы (гетероконт) (Latijnhouwers et al., 2003; Deacon, 2006).

На клеточном и молекулярном уровне оомицеты также значительно отличаются от истинных грибов (таблица 1). Они содержат клеточные стенки, состоящие из целлюлозы и β -глюканов (у грибов в составе присутствует хитин), диплоидные ядра и растительные стеролы в мембранах. Митохондрии имеют трубчатые кристы, тогда как у истинных грибов они плоские (Буга, Крупенько, 2022; Bartnicki-Garsia, Wang, 1983; Triganò et al., 2004; Deacon, 2006). Такие отличия между оомицетами и истинными грибами говорят о том, что набор фунгицидов для борьбы с ними также должен заметно отличаться.

За последние двадцать лет были проведены филогенетические исследования, позволившие лучше понять эволюцию оомицетов, однако их классификация, особенно таксонов высших рангов, все еще является предметом обсуждения (Thines, Spring, 2005; Thines et al., 2015; Beakes, Thines, 2017).

Разные взгляды ученых порождают расхождения в терминологии и некоторую путаницу, особенно для специалистов, которые не погружены детально в особенности систематики данной группы организмов. Так, согласно одним данным, оомицеты входят в состав царства Chromista (Beakes et al., 2012; Cavalier-Smith, Chao, 2006). В то же время другие ученые относят их к царству Straminipila надцарства SAR (Straminipila, Alveolata, Rhizaria), куда

входят также бурые и диатомовые водоросли, являющиеся близкими родственниками оомицетов (Baldauf et al., 2000; Cavalier-Smith, 2018; Latijnhouwers et al., 2003; Beakes et al., 2012). Таксономические ранги таксонов более низкого уровня также разнятся в работах разных ученых (Beakes et al., 2012; Judelson, 2012; Beakes et al., 2014; Thines, 2014; Kamoun et al., 2015; Beakes, Thines, 2017).

Оомицеты часто называют псевдогрибами (грибоподобными организмами) (Cavalier-Smith, Chao, 2006), однако термин «псевдогрибы» достаточно широкий и включает в себя также такие таксоны как Hymenochaetomycota и Labyrinthulomycota (Tong, 1995; Kühn et al., 2004).

Ввиду разных точек зрения в отношении классификации оомицетов, в данной работе мы будем придерживаться номенклатуры, представленной в базе данных MycoBank (mycobank.org). Так, согласно данному ресурсу, виды *Phytophthora*, *Albugo*, *Peronospora* и др. не относятся к Oomycetes, а выделены в класс Peronosporomycetes. Оба класса составляют отдел Oomycota. Тем не менее, во избежание путаницы в данной работе мы будем придерживаться более привычного термина «оомицеты».

Отдел Oomycota насчитывает более 1200 видов, обитающих в воде и на суше (Thines, 2018). Многие из них являются возбудителями болезней растений и животных.

Сельскохозяйственное значение имеют представители классов Oomycetes и Peronosporomycetes (таблица 2), поражающие более 70 культур (Granke et al., 2012; Kamoun et al., 2015; Kousik et al., 2021). Наиболее вредоносные виды в мире – возбудители фитофтороза картофеля (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary); ложной мучнистой росы (пероноспороза) многих культур: винограда (*Plasmopara viticola* (Berk. & M.A. Curtis) Berl. & De Toni), тыквенных (*Pseudoperonospora cubensis* (Berk. & M.A. Curtis) Rostovzev), крестоцветных (*Hyaloperonospora brassicae*

Таблица 1. Основные признаки оомицетов

Мицелий	Диплоидный (2n), ценоцитный (неклеточный, без перегородок)
Вегетативное тело	Неклеточный мицелий, плазмодий
Половой процесс	Оогамия
Половые споры	Ооспоры
Бесполое размножение	Зооспоры и спорангии для распространения, хламидоспоры для выживания, конидии (<i>Peronosporales</i>)
Состав клеточной стенки	Целлюлоза и β -глюканы
Состав плазматической мембраны	Фукостерол
Митохондрии	Кристы трубчатые
Запасание энергии	В виде миколаминина, сходного с ламинарином красных водорослей
Бесполое размножение	Зооспоры, у некоторых – конидии

Table 1. Main features of Oomycetes

Mycelium	Diploid (2n), coenocytic (non-cellular, without septa)
Vegetative body	Non-cellular mycelium, plasmodium
Sexual reproduction	Oogamy
Sexual spores	Oospores
Asexual spores	Zoospores and sporangia for distribution, chlamydospores for survival, conidia (<i>Peronosporales</i>)
Cell wall composition	Cellulose and β -glucanases
Plasmalemma composition	Fucosterol
Mitochondria	Tubular cristas
Energy storage	In the form of mycolaminarin, similar to laminarin of red algae
Asexual reproduction	Zoospores, conidia

Таблица 2. Основные возбудители болезней сельскохозяйственных культур из отдела Oomycota

Класс	Порядок	Семейство	Род	Болезнь
Oomycetes	Saprolegniales	Leptolegniaceae	<i>Aphanomyces</i>	Корневая гниль, корнед, черная ножка
	Pythiales	Pythiaceae	<i>Globisporangium</i> , <i>Pythium</i>	
Peronosporomycetes	Peronosporales	Peronosporaceae	<i>Phytophthora</i>	Фитофтороз
			<i>Hyaloperonospora</i> , <i>Peronospora</i> , <i>Pseudoperonospora</i> , <i>Plasmopara</i> , <i>Bremia</i>	Ложная мучнистая роса (пероноспороз)
	Albuginales	Albuginaceae	<i>Albugo</i>	Белая ржавчина

Таблица 2. Main Oomycota causal agents of plant diseases

Class	Order	Family	Genera	Disease
Oomycetes	Saprolegniales	Leptolegniaceae	<i>Aphanomyces</i>	Root rot, black root, black leg
	Pythiales	Pythiaceae	<i>Globisporangium</i> , <i>Pythium</i>	
Peronosporomycetes	Peronosporales	Peronosporaceae	<i>Phytophthora</i>	Late blight
			<i>Hyaloperonospora</i> , <i>Peronospora</i> , <i>Pseudoperonospora</i> , <i>Plasmopara</i> , <i>Bremia</i>	Downy mildew
	Albuginales	Albuginaceae	<i>Albugo</i>	White rust

(Gäum.) Göker, Voglmayr, Riethm., M. Weiss & Oberw.), салата латук (*Bremia lactucae* Regel), лука (*Peronospora destructor* (Berk.) Casp. ex Berk. и др.; корневой гнили (*Globisporangium ultimum* (Trow) Uzuhashi, Tojo & Kakish.); белой ржавчины (*Albugo candida* (Pers. Ex J.F. Gmel.) Roussel) и др.

Следует также отметить, что существенную ревизию за последнее время претерпел также род *Pythium* sensu lato (в широком смысле). Так, Uzuhashi et al. (2015) разделили его на пять отдельных родов: *Pythium* sensu stricto (в узком смысле), *Globisporangium*, *Elongisporangium*, *Ovatisporangium* и *Pilasporangium*. С другой стороны, некоторые исследователи относят род *Pythium* sensu lato к неформальной группе базальных оомицетов (Thines, 2014).

Защита от болезней, вызываемых оомицетами, основывается главным образом на химическом методе. Однако, учитывая различия между ними и истинными грибами, не все из известных действующих веществ эффективны в отношении оомицетов. Поэтому выбор фунгицида для проведения защитных мероприятий в посевах различных сельскохозяйственных культур предполагает знание механизмов и спектра действия фунгицидов.

Перечень соединений, применяемых для защиты от оомицетов, достаточно обширен и включает фунгициды, ингибирующие многие клеточные процессы (таблица 3).

Таблица 3. Фунгициды для защиты сельскохозяйственных культур от оомицетов (FRAC code list, 2026)

Механизм действия	Мишень действия	Химический класс	Химическая группа	Действующие вещества	Риск развития резистентности
Ингибирование метаболизма нуклеиновых кислот	РНК-полимераза 1	Фениламины	Ацилаланины	Беналаксил, беналаксил-М (киралаксил), металаксил, металаксил-М (мефеноксам), фуралаксил, Оксадиксил, Офукас	Высокий
			Оксазолидиноны Бутиролактоны	Гимексазол	Неизвестен
	Синтез ДНК/РНК (предположительно)	Гетероароматические соединения	Изоксазолы	Зоксамид	От низкого до среднего
Ингибирование цитоскелета и моторных белков	Полимеризация тубулина	Бензамины Тиазол-карбоксамиды	Толуамиды Этиламино-тиазол-карбоксамиды	Этабуксам	Средний
	Делокализация спектриноподобных белков	Бензамины	Пиридинилметил-бензамины	Флуопиколит, флуопимомид	Высокий
Ингибирование дыхания	Комплекс III: цитохром <i>bc1</i> (убихинон оксидаза) в сайте Qo	Стробилурины (QoI-фунгициды)	Метокси-акрилаты	Азоксистробин, пираксистробин	Высокий
			Метокси-карбаматы	Пиракlostробин	
			Оксимино-ацетаты	Крезоксим-метил, трифлуксистробин	
			Оксимино-ацетамиды	Метоминостробин	
	Комплекс III: цитохром <i>bc1</i> (убихинон редуктаза) в сайте Qi	QiI-фунгициды	Имидазолиноны	Фамоксадон	От среднего до высокого
			Циано-имидазолы	Циазофамид	
Ингибирование синтеза или транспорта липидов / целостности или функционирования мембран	Разобщители окислительного фосфорилирования		2,6-динитроанилины	Амисульбром	Низкий
	Комплекс III: цитохром <i>bc1</i> (убихинон редуктаза) в сайте Qi и Qo (способ связывания стигмателлина)	QioSI-фунгициды	Триазоло-пиримидиламины	Аметоктрадин	От среднего до высокого
	Перекисное окисление клетки (предположительно)	Гетероароматические соединения	1,2,4-тиадиазолы	Этридиазол	От низкого до среднего
	Проницаемость мембран, жирные кислоты (предположительно)	Карбаматы	Карбаматы	Пропамоккарб, пропикоккарб	От низкого до среднего
	Гомеостаз липидов и их перемещение/хранение	OSBPI-фунгициды	Пиперидинил-триазол-изоксазолины	Оксатиапипролин, флуоксапипролин	От среднего до высокого
			Амиды коричной кислоты	Диметоморф, флуморф, пириморф	
Ингибирование биосинтеза клеточной стенки	Синтез целлюлозы	Амиды карбоновых кислот	Валинамид карбаматы	Бентиаваликарб, ипроваликарб, валифеналат	От низкого до среднего
			Амиды миндальной кислоты	Мандипропамид	
			Фосфонаты	Этил фосфонаты	Низкий
Запуск защитных реакций растения	Неизвестен	Цианоацетамид-оксимы	Цианоацетамид-оксимы	Цимоксанил	От низкого до среднего
		Тетразолилоксимы	Тетразолилоксимы	Пикарбутразокс	Неизвестен
Мультисайтовое активное действие	Мультисайтовое контактное действие	Неорганические соединения	Неорганические соединения	Медь (различные соли)	Низкий
		Дитиокарбаматы и производные	Дитиокарбаматы и производные	Манкоцеб, манеб, метирам, пропинеб, тирам, цинеб, цирам	
		Фталимины	Фталимины	Каптан, каптафол, фолпет	
		Хлоронитрилы	Хлоронитрилы	Хлороталонил	
		Хиноны	Хиноны	Дитианон	

Table 3. Fungicides against Oomycetes (FRAC code list, 2026)

Mode of action	Target site	Group name	Chemical group	Active ingredient	Resistance risk
Nucleic acids metabolism inhibitors	RNA polymerase I	Phenylamides	Acylalanines	Benalaxyl, benalaxyl-M (kiralaxyl), metalaxyl, metalaxyl-M (mefenoxam), furalaxyl	High
			Oxazolidinones	Oxadixyl	
			Butyrolactones	Ofurace	
	DNA/RNA synthesis (proposed)	Heteroaromatics	Isoxazoles	Hymexazole	Unknown
Cytoskeleton and motor proteins inhibitors	Tubulin polymerization	Benzamides	Toluamides	Zoxamide	Low to medium
		Thiazole carboxamide	Ethylamino-thiazole-carboxamide	Ethaboxam	
	Delocalization of spectrin-like proteins	Benzamides	Pyridinylmethyl-benzamides	Fluopicolide, fluopimomide	Medium
Respiration inhibitors	Complex III: cytochrome <i>bc</i> 1 (ubiquinol oxidase) at Qo site	Strobilurines (QoI-fungicides)	Methoxy-acrylates	Azoxystrobin, pyraoxystrobin	High
			Methoxy-carbamates	Pyraclostrobin	
			Oximino-acetates	Kresoxim-methyl, trifloxystrobin	
			Oxazolidine-diones	Famoxadone	
	Complex III: cytochrome <i>bc</i> 1 (ubiquinone reductase) at Qi site	QiI-fungicides	Imidazolinones	Fenamidone	Medium to high
			Cyano-imidazole	Cyazofamid	
	Uncouplers of oxidative phosphorylation		Sulfamoyl-triazole	Amisulbrom	Low
	Complex III: cytochrome <i>bc</i> 1 (ubiquinol reductase) at Qi and Qo site (stigmatellin binding mode)	QioSI-fungicides	2,6-dinitro-anilines	Fluazinam	Medium to high
Lipid synthesis or transport / membrane integrity or function inhibitors	Cell membrane permeability, fatty acids (proposed)	Heteroaromatics	1,2,4-thiadiazoles	Etridiazole	Low to medium
		Carbamates	Carbamates	Propamocarb, prothiocarb	
	Lipid homeostasis and transfer/storage	OSBPI-fungicides	Piperidinyl-thiazole-isoxazolines	Oxathiapiprolin, fluoxapiprolin	Medium to high
Cell wall biosynthesis inhibitors	Cellulose synthase	Carboxylic acid amides	Cinnamic acid amides	Dimethomorph, flumorph, pyrimorph	Low to medium
			Valinamide carbamates	Benthiavalicarb, iprovalicarb, valifenalate	
			Mandelic acid amides	Mandipropamid	
Host plant defense inducers		Phosphonates	Ethyl phosphonates	Fosetyl-Al	Low
Unknown mode of action	Unknown	Cyanoacetamide-oxime	Cyanoacetamide-oxime	Cymoxanil	Low to medium
	Unknown	Tetrazolyloxime	Tetrazolyloximes	Picarbutrazox	Unknown
Chemicals with multi-site activity	Multi-site contact activity	Inorganic	Inorganic	Copper (different salts)	Low
		Dithiocarbamates and relatives	Dithiocarbamates and relatives	Mancozeb, maneb, metiram, propineb, ziram, zineb	
		Phthalimides	Phthalimides	Captan, captafol, folpet	
		Chloronitriles	Chloronitriles	Chlorothalonil	
		Quinones	Quinones	Dithianon	

Ингибиторы метаболизма нуклеиновых кислот

Генетическая информация у всех живых организмов закодирована в виде последовательности нуклеотидов в дезоксирибонуклеиновой кислоте (ДНК). Первый этап реализации этой информации состоит в образовании родственной ДНК молекулы – рибонуклеиновой кислоты (РНК), которая в свою очередь участвует в синтезе специфических белков (Сингер, Берг, 1998).

Синтез нуклеиновых кислот сходен у всех живых организмов, поэтому немногие из известных фунгицидов способны избирательно действовать на этот процесс у оомицетов.

В процессах репликации, транскрипции и трансляции участвуют многие ферменты, некоторые из которых, например, РНК-полимераза I, являются мишенями действия фунгицидов.

Фенилами́ды. В состав класса входят беналаксил, беналаксил-М (киралаксил), металаксил, металаксил-М (мефеноксам), фураляксили, оксадиксил, офурас.

Данные фунгициды хорошо растворимы в воде (за исключением беналаксил и беналаксил-М (киралаксил)). Они проявляют хорошее лечущее и искореняющее (антиспорангиальное) действие, т. к. наиболее эффективны в постинфекционные стадии развития: блокируют рост гиф, а также формирование гаусторий и спорангиев (Farh et al., 1981; Quaranta, 2016). Фенилами́ды не действуют на прорастание спор и конидий, образование зооспор, а также проникновение мицелия в растение (Fisher, Hayes, 1982; Matheron, Porchas, 2000; Oliver, Beckman, 2022). Это обусловлено тем, что споры содержат множество рибосом для обеспечения начального роста, следовательно, основной синтез РНК происходит после их прорастания (Gisi,

2002; Oliver, Beckman, 2022). Фенилами́ды нарушают функционирование РНК-полимеразы I – фермента, который осуществляет синтез молекул РНК на матрице ДНК (Quaranta, 2016).

Фунгициды из данного класса используются для защиты растений от возбудителей болезней из родов *Albugo*, *Bremia*, *Peronospora*, *Plasmopara*, *Pseudoperonospora*, *Pythium* и др., однако они неэффективны в отношении *Aphanomyces* (Gisi, 2002; Quaranta, 2016).

Внутри класса соединения различаются по действию на возбудителей болезней. Так, металаксил состоит из 2 энантиомеров (R и S). R-энантиомер (мефеноксам) *in vivo* примерно в 3–10 раз эффективнее по сравнению с металаксилем (Zadra et al., 2002) и характеризуется более продолжительным действием (Wang et al., 2014).

Гетероароматические соединения (химическая группа изоксазолы). Среди соединений данного класса для защиты от оомицетов применение нашел только гимексазол. Его механизм действия заключается в ингибировании синтеза нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), однако мишень действия не ясна (Nakanishi, Sisler, 1983). Фунгицид перемещается акропетально, а также проявляет некоторую ростостимулирующую активность на растения (Захарычев, 2022). Он более эффективен в отношении начальных стадий роста мицелия, прорастания спор (Gisi, 2002).

Гимексазол обладает специфической активностью в отношении возбудителей корневой гнили – *Aphanomyces* spp., *Pythium* spp., однако не действует на виды *Phytophthora* (Kato et al., 1990; Harveson et al., 2007). Помимо оомицетов гимексазол эффективен в отношении *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn (Kamimura et al., 1976).

Ингибиторы цитоскелета и моторных белков

Цитоскелет представляет собой сеть внутри цитоплазмы, обеспечивающую поддержание формы клетки и различные морфогенетические процессы. У грибов, оомицетов и дрожжей он представлен микротрубочками и актиновыми микрофиламентами (Raudaskoski et al., 1988; Heath, 1994).

Актиновые микрофиламенты – это две спирально закрученные цепочки из мономеров актина. В основном они сконцентрированы у внешней мембраны клетки, т. к. отвечают за ее форму, участвуют в межклеточном взаимодействии, передаче сигналов.

Микротрубочки представляют собой полые цилиндры, состоящие из димерного белка с субъединицами α - и β -тубулина (Raudaskoski et al., 1988). Они поддерживают форму клеток, участвуют во внутриклеточном транспорте органелл, формируют веретено деления, которое обеспечивает расхождение хромосом в делящейся клетке. Микротрубочки цитоплазмы могут образовываться или распадаться в зависимости от метаболических условий в клетке (Тютерев, 2010; Захарычев, 2022).

В настоящее время установлено, что в состав цитоскелета в клетках животных также входит белок спектрин, выстилающий внутреннюю сторону плазматической мембраны и формирующий своеобразный мост между цитоскелетом и плазмалеммой, что обеспечивает структурную целостность последней (Bennett, 1990; An et al., 2004). Впоследствии у растений, грибов, оомицетов и дрожжей

были открыты спектриноподобные белки (Degoussé et al., 2000; Braun, 2001), которые локализованы на верхушках растущих гиф и обеспечивают поддержание стабильности мембран в процессе роста мицелия (De Matteis, Morrow, 2000).

Фунгициды, нарушающие функционирование цитоскелета, могут действовать на микротрубочки, стабилизируя их и препятствуя распаду, либо блокируя агрегацию тубулина. Ингибируя функционирование спектриноподобных белков, некоторые соединения нарушают стабильность плазматической мембраны.

Бензамиды (химическая группа толуамиды). В состав класса входит зоксамид. Это контактный фунгицид с длительной активностью в газовой фазе, обладает хорошей дождеустойчивостью (Gisi, 2002).

Зоксамид блокирует сборку β -тубулина, ковалентно связываясь с ним во время митоза, что нарушает клеточное деление у патогенов (Young, Lewandowski, 2000; Young, Slawewski, 2001). Он препятствует удлинению ростковых трубок и росту мицелия, формированию зооспор и их прорастанию (Young, Slawewski, 2001).

Фунгицид проявляет активность в отношении оомицетов (*Phytophthora*, *Peronospora*), грибов (*Botrytis*, *Cercospora*) (Gisi, 2002; Young et al., 2011), а также простейших (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) (Young, 2012).

Тиазол карбоксами́ды. Среди соединений данного класса применяется только этабоксам. Он нарушает

сборку микротрубочек за счет связывания с β -тубулином (Uchida et al., 2005). Фунгицид эффективен в отношении оомицетов (*Phytophthora*, *Pythium*, *Pseudoperonospora*, *Plasmopara*), а также грибов *Cladosporium*, *Corynespora* (Kim et al., 1999; Kim et al., 2004; Zhang et al., 2005; Islam et al., 2018).

Бензамиды (химическая группа пиридинилметил бензамиды). В состав класса входят действующие вещества флуопиколит и флуопимомид. Они нарушают функционирование спектриноподобных белков, обеспечивающих стабильность мембраны за счет закоривания с белками цитоскелета (Захарычев, 2022). Так, в течение нескольких минут после обработки флуопиколитом спектриноподобный белок покидает примембранную область и формирует

в цитоплазме сферические образования. Это приводит к лизису мицелия преимущественно на верхушках гиф (Токин et al., 2007; Токин et al., 2019). Флуопиколит эффективен в отношении нескольких стадий развития оомицетов: роста мицелия, образования спорангиев, высвобождения и прорастания зооспор и др. (Токин et al., 2007; Lazzari et al., 2008; Jackson et al., 2010; Токин et al., 2019). Он используется для защиты от *Phytophthora*, *Pythium*, *Plasmopara*.

Флуопимомид имеет более широкий спектр действия и эффективен в отношении оомицетов, а также грибов *Rh. solani*, *Botrytis cinerea* Pers. и нематод (Zhang et al., 2013; Jingjing et al., 2020; Jiang et al., 2022; Liu et al., 2023).

Ингибиторы дыхания

На внутренней мембране митохондрий расположена дыхательная электрон-транспортная цепь, сопряженная с синтезом энергии (в виде аденозинтрифосфата – АТФ). Она состоит из четырех белковых комплексов, которые осуществляют перенос электронов на кислород, и пятого (АТФ-синтазы), участвующего только в переносе протонов (Захарычев, 2022).

Комплекс I (НАДН-убихинон оксидоредуктаза) принимает электроны от восстановленного никотинамидадениндинуклеотида (НАДН) и передает их на убихинон (Q). В это время происходит перенос 4 протонов из матрикса митохондрий через их внутреннюю мембрану в межмембранное пространство.

Комплекс III (убихинон-цитохром *c* оксидоредуктаза, или *bc1*-комплекс) принимает электроны от убихинона и передает их на цитохром *c*. При этом происходит перемещение протонов на наружную поверхность внутренней мембраны митохондрий.

В комплексе III на противоположных сторонах мембраны находятся два хиноновых реакционных центра: на внешней (*outside*) стороне – хинон-окисляющий (Qo), на внутренней (*inside*) – хинон-восстанавливающий (Qi). В Qo-центре происходит окисление 2-х молекул убигидрохинона (QH₂), что сопровождается переносом 4-х протонов в межмембранное пространство. Высвободившиеся при этом 4 электрона разделяются на два потока: 2 из них продолжают путь по высокопотенциальному пути дыхательной цепи, 2 других направляются по низкопотенциальному пути в Qi-центр на внутренней стороне, где происходит восстановление одной молекулы убихинона, для чего из матрикса выкачиваются 2 протона.

Первые два электрона тем временем передаются через железо-серный белок на цитохром *c1* комплекса, а с него – на цитохром *c* и далее к комплексу IV (Захарычев, 2022; Hunte et al., 2003).

Комплекс IV (цитохром *c* оксидаза) передает электроны от цитохрома *c* на молекулярный кислород, который восстанавливается до воды. В результате протоны переносятся на наружную поверхность внутренней митохондриальной мембраны.

Комплекс II (сукцинат-убихинон оксидоредуктаза) расположен на внутренней стороне внутренней мембраны митохондрий. Его выделение в отдельный комплекс условно, поскольку он функционирует как часть цикла трикарбоновых кислот, окисляя сукцинат до фумарата.

Как компонент дыхательной цепи он восстанавливает убихинон.

При работе комплексов I, II, III и IV происходит энергетически затратное закачивание протонов в межмембранное пространство посредством переносчика протонов и электронов – убихинона, растворенного в мембране.

Комплекс V, АТФ-синтаза, обеспечивает синтез АТФ за счет использования энергии, выделяющейся при перемещении через него протонов в сторону их низкой концентрации (против градиента) (Захарычев, 2022).

Упрощенная схема дыхательной цепи представлена на рисунке.

Каждый из комплексов является мишенью действия различных фунгицидов, многие из которых универсально токсичны для всех эукариот. Фунгициды, действующие на оомицеты, ингибируют работу комплекса III в различных его локусах, а также препятствуют синтезу АТФ, выступая в роли разобщителей окислительного фосфорилирования.

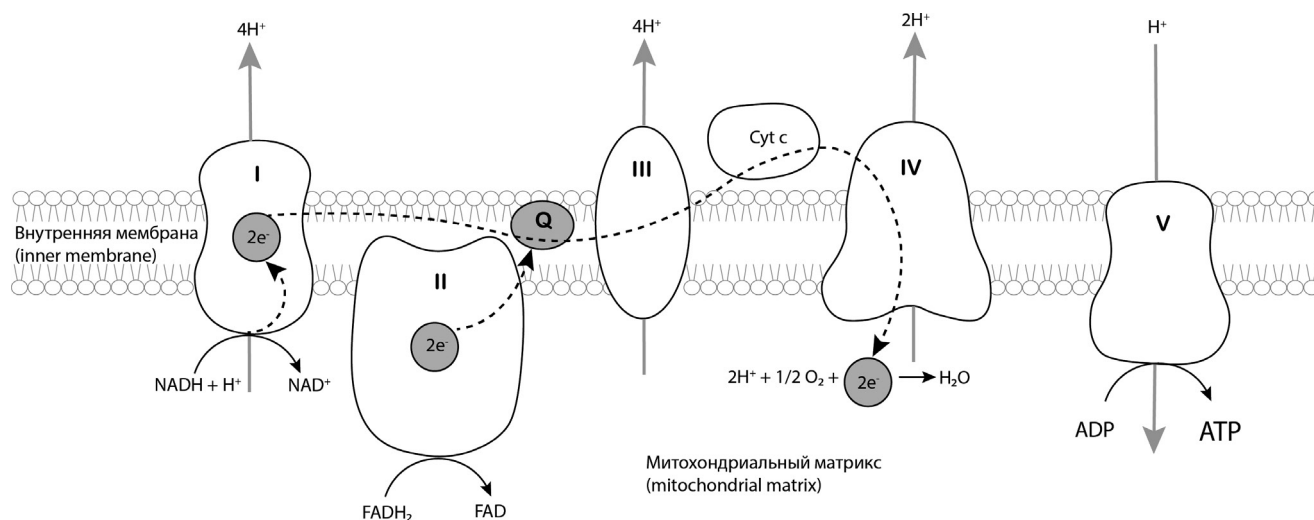
Стробилурины (*quinone outside inhibitors*, QoI – ингибиторы хинона на внешней мембране). Для защиты от оомицетов среди фунгицидов класса применяют азоксистробин, пироксистробин, пираклостробин, крезоксим-метил, трифлостробин, метоминостробин, фамоксадон, фенамидон.

Фунгициды QoI обладают преимущественно защитным (профилактическим) действием и блокируют начальное проникновение фитопатогенов в ткани растения (Bartlett et al., 2002; Balba, 2007). При обработке после заражения данные соединения препятствуют появлению споронии на пораженных тканях (Тюттерев, 2010; Bartlett et al., 2002).

Стробилурины связываются с сайтом окисления хинона (Qo) в комплексе III. Это нарушает перемещение электронов между цитохромом *b* и цитохромом *c1*, препятствует восстановлению хинона до убигидрохинона и прерывает цепь переноса электронов (Leroux, 1996; Sauter et al., 1999; Bartlett et al., 2002). В результате не образуется АТФ и клетки патогена погибают.

Обработка ингибиторами Qo увеличивает скорость фотосинтеза, препятствует старению листьев, что способствует повышению урожайности (Glaab, Kaiser, 1999; Venancio et al., 2003; Vincelli, 2012).

В пределах класса активность в отношении оомицетов варьирует в зависимости от действующего вещества. Так, крезоксим-метил, метоминостробин и трифлостробин



Условные обозначения (symbols):

---> путь двух электронов (two electrons path); Q – убихинон (ubiquinone); Cyt c – цитохром c (cytochrome c)

Рисунок. Дыхательная цепь митохондрий (рис. автора)

Figure. Mitochondrial respiratory chain (drawing by the author)

проявляют среднюю активность в отношении ложной мучнистой росы. В то же время азоксистробин и пираклостробин характеризуются высокой эффективностью в отношении *P. viticola* и *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp. (Bartlett et al., 2002).

На основании механизма действия в состав класса относят также действующие вещества фамоксадон и фенамидон, которые по химической структуре не являются стробилуринами. Данные фунгициды используют в основном для защиты от оомицетов (Тютереv, 2010), хотя, например, фамоксадон ингибирует также развитие *Alternaria solani* Sorauer и *Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvl., Verkley & Crous (Knight et al., 1997).

QiI (quinone inside inhibitors, OiI – ингибиторы хинона на внутренней мембране). Среди фунгицидов данного класса для защиты от оомицетов используют циазофамид и амисульбром.

Биохимический механизм действия фунгицидов QiI аналогичен таковому у стробилуринов, поскольку они ингибируют перенос электронов на участке *bc1* в митохондриях грибов (комплекс III), но нарушают восстановление хинона, расположенного на внутренней мембране митохондрий в сайте Qi (Тютереv, 2010; Захарычев, 2022).

QiI-фунгициды эффективны в отношении оомицетов, а также простейших (*P. brassicae*) (Yu et al., 2004). Они ингибируют все стадии жизненного цикла оомицетов, включая образование ооспор, подвижность зооспор и рост мицелия (Mitani et al., 2001a; Mitani et al., 2001b; Honda et al., 2009; Fontaine et al., 2019).

2,6-динитроанилины. В состав класса входит флуазинам. Механизм действия 2,6-динитроанилинов заключается в ингибировании синтеза АТФ за счет разобщения окислительного фосфорилирования, т. е. нарушения связи

между окислением субстрата и синтезом АТФ (Guo et al., 1991; Vitoratos, 2014). Это снижает протонный градиент через внутреннюю мембрану митохондрий. В результате протоны транспортируются обратно в митохондрии, минуя АТФ-синтазу (Захарычев, 2022).

Флуазинам – контактный фунгицид с длительным защитным действием. Он подавляет процесс образования зооспор, формирование аппрессориев, внедрение и рост гиф патогена. Обладает широким спектром активности в отношении грибов (виды *Botrytis*, *Alternaria*, *Rhizoctonia*, *Bipolaris*, *Fusarium*, *Monilinia*, *Venturia*, *Sclerotinia*, *Colletotrichum*), оомицетов (*Phytophthora*, *Pseudoperonospora*, *Plasmopara* и др.) и плазмодиофоромицетов (Mitani et al., 1996; Smith et al., 2008; Wang et al., 2016; Chen et al., 2018; Qu et al., 2018; Schepers et al., 2018; Li et al., 2020; Liu et al., 2021).

QioSI (quinone inside and outside inhibitor, stigmatellin binding mode – ингибиторы хинона на внутренней и внешней мембране, способ связывания стигмателлина). В состав класса входит аметоктрадин. Он действует на комплекс III в дыхательной цепи митохондрий, связываясь с сайтами Qo и Qi в зависимости от редокс статуса митохондриальной цепи (Oliver, Beckerman, 2022). Механизм действия аметоктрадина сходен с таковым у антибиотика стигмателлина (Gurung et al., 2008), который представляет собой производное хромона и имеет структурное сходство с убихиноном, поэтому в классификации FRAC в механизме действия фунгицида указан способ связывания стигмателлина (FRAC code list, 2024).

У *Ph. infestans* аметоктрадин действует преимущественно на образование, высвобождение и подвижность зооспор и прорастание цист (Töfoli et al., 2016).

Ингибиторы синтеза или транспорта липидов / целостности или функционирования мембран

Липиды играют важную роль в жизнедеятельности клеток. Они являются компонентами клеточных мембран, запасают энергию и участвуют в передаче клеточного сигнала. Синтез большинства липидов происходит в основном в эндоплазматическом ретикулуме (ЭПР), а затем

они транспортируются в другие клеточные компартменты с помощью везикул – везикулярный транспорт (Fagone, Jackowski, 2009). Такое перемещение возможно потому, что клетки эукариот характеризуются сложной системой связанных с мембраной органелл (ЭПР, аппарат Гольджи,

эндосомы, лизосомы, пероксисомы и плазматическая мембрана).

Однако некоторые органеллы, например, митохондрии не являются частью эндомембранной системы, поэтому перемещение к ним липидов происходит с помощью не-везикулярного транспорта, который происходит в местах контакта между органеллами – так называемых сайтах контакта мембран, находящихся между ЭПР и почти каждой другой связанной с мембраной органеллой (Wong et al., 2017). Сайты контакта мембран способствуют взаимодействию и коммуникации между органеллами, а также облегчают липидный обмен для белков-переносчиков липидов (Prinz et al., 2020). Последние содержат гидрофобную полость, которая изолирует молекулы липидов от цитозоля и таким образом осуществляют их транспорт между мембранами (Wong et al., 2017).

Одним из важных семейств белков-переносчиков липидов являются оксистерол-связывающие белки (**oxysterol-binding proteins – OSBPs**). Оксистеролы представляют собой производные стерола. В клетках они содержатся в небольших количествах и обеспечивают сигнальные функции, а также являются частью многих клеточных процессов (Russell, 2000; Björkhem, Diczfalussy, 2002; Olkkonen, Levine, 2004).

Фунгициды, относящиеся к данной группе, нарушают синтез, функционирование или транспорт липидов, что приводит к их окислительной деградации, нарушению проницаемости мембран или функционирования клеточных процессов с участием липидов (передача клеточного сигнала и др.).

Гетероароматические соединения (химическая группа 1,2,4-тиадиазолы). В состав класса входит этридиязол. Он вызывает перекисное окисление и гидролиз фосфолипидов мембран до свободных жирных кислот, разрушение митохондрий и подавляет сукцинатдегидрогеназу (Захарычев, 2022). Фунгицид применяют для защиты от *Pythium* spp., а также грибов *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp. (Mittlehner et al., 1998).

Карбаматы. В качестве фунгицидов для защиты от оомицетов применяют протиокарб, пропамокарб гидрохлорид (пропамокарб). Синтетическим путем получают

пропамокарб, однако для повышения растворимости и стабильности затем используется его соль (пропамокарб гидрохлорид) (PPDB: Pesticide Properties DataBase, 2025).

Несмотря на продолжительный период использования пропамокарба, механизм его действия до сих пор не совсем ясен. Фунгицид препятствует синтезу фосфолипидов и жирных кислот, нарушая проницаемость мембран (Захарычев, 2022; Oliver, Beckerman, 2022). Пропамокарб гидрохлорид влияет на рост мицелия, образование и прорастание спор. Действует на оомицеты (виды *Pythium*, *Phytophthora*, *Aphanomyces*) (Englander et al., 1980; Reilly, 1980; Rapp, Richter, 1982; Cohen, Coffey, 1986; Hu et al., 2007).

OSBPI (oxysterol binding protein homologue inhibition – ингибиторы связывания оксистерол-связывающего гомолога). В состав класса входят оксатиапипролин и флуоксапипролин.

Ингибиторы OSBP нарушают гомеостаз липидов и их транспорт за счет взаимодействия с оксистерол-связывающим белком (OSBP), который локализован в контактных сайтах ЭПР с комплексом Гольджи (Saheki, De Camilli, 2017) и участвует в перемещении липидов. Ингибирование OSBP нарушает также другие клеточные процессы: сигналинг, поддержание целостности клеточных мембран, синтез липидов, жизненно важных для функционирования клетки (Weber-Boyvatt et al., 2013; Cohen, 2015; Cohen et al., 2018).

Оксатиапипролин эффективно подавляет виды *Pseudoperonospora*, *Phytophthora*, *Plasmopara*, *Peronospora* (Cohen, 2015; Ji, Csinos, 2015; Qu et al., 2016; Cohen et al., 2017; Belisle et al., 2019), но не действует на *Pythium* spp. (Pasteris et al., 2016). Фунгицид ингибирует выход зооспор из спорангия, развитие спорангиофор и образование спорангиев, но слабо влияет на подвижность зооспор. При постинфекционном применении ингибирует рост мицелия и проявляет хорошие антиспорулянтные свойства (искореняющая активность) (Cohen, 2015; Pasteris et al., 2016; Cohen et al., 2018; Miao et al., 2018).

Флуоксапипролин имеет молекулярную структуру, близкую к таковой у оксатиапипролина, а также аналогичный механизм действия (Miao et al., 2021).

Ингибиторы биосинтеза клеточной стенки

Основной компонент клеточной стенки оомицетов – целлюлоза (Bartnicki-Garsia, 1968; Helbert et al., 1997), тогда как у настоящих грибов – хитин (Bartnicki-Garcia, 1968; Hardham, 2007). У *Phytophthora* spp. она составляет 32–35% от содержимого клеточной стенки (Mélida et al., 2013).

Ингибиторы биосинтеза клеточной стенки нарушают работу фермента целлюлозо-синтазы (Blum et al., 2012). Поскольку настоящие грибы не синтезируют целлюлозу, по отношению к ним данные фунгициды неактивны.

Амиды карбоновых кислот. В состав класса входят диметоморф, флуморф, пириморф, бентиаваликарб, ипроваликарб, валифеналат, мандипропамид.

Амиды коричной кислоты и валинамид карбаматы ингибируют синтез целлюлозы за счет блокирования фермента целлюлозо-синтазы (CesA3) (Blum et al., 2012).

Мишенью действия амидов миндальной кислоты (мандипропамид) является целлюлозо-синтазоподобный фермент PiCesA3 (Blum et al., 2010). В результате нарушается синтез клеточной стенки.

Амиды карбоновых кислот эффективны в отношении видов *Plasmopara*, *Phytophthora*, *Bremia*, *Pseudoperonospora*, но неэффективны к *Pythium* (Wang et al., 2009; Gisi, Sierotzki, 2015). Данные фунгициды не влияют на высвобождение зооспор из спорангия, подвижность и жизнеспособность зооспор, а также формирование цист, но подавляют прорастание вторичных зооспор, рост мицелия (Cohen et al., 1995; Huggenberger et al., 2005; Knauf-Beiter, Hermann, 2005; Wang et al., 2009; Blum et al., 2010). Высокая эффективность наблюдается при профилактическом применении, но некоторые соединения обладают лечебным действием (Cohen, Gisi, 2007; Wang et al., 2009).

Индукторы защитных реакций растения

Клетки растений обладают иммунитетом, который обеспечивает защиту от патогенов. Сначала происходит распознавание вредного организма по его отдельным метаболитам. Затем в растении запускается каскад последовательных биохимических реакций и включаются ответные реакции, составляющие неспецифическую устойчивость. Это приводит к накоплению фитогормонов, этилена, абсцизовой, жасмоновой, салициловой кислоты или других соединений (Третьякова и др., 2015). В результате растение изолирует вредный организм с помощью фитоалексинов и гидролитических ферментов (Илларионов, Деркач, 2022; Benhamou, 1996).

Фунгициды из данной группы запускают в растении защитные реакции, как правило, системную приобретенную устойчивость (*systemic acquired resistance – SAR*), в основном проявляющуюся в виде локального некроза в ответ на заражение фитопатогеном либо реакции гиперчувствительности (Третьякова и др., 2015). SAR защищает растения не только от оомицетов и грибов, но также от бактериальных, вирусных болезней и нематод (Третьякова и др., 2015; Захарычев, 2022). Помимо этого, соединения из данного класса могут обладать также прямым фунгицидным действием, которое проявляется в подавлении роста фитопатогенов.

Фосфонаты. В состав класса входит фосэтил алюминия. Фосфонаты встраиваются в растения в виде фосфитных ионов (HPO_3^{2-}), которые по химической структуре отличаются от фосфатов (PO_4^{3-}), и поэтому не оказывают действия на растения как удобрения (Oumette, Coffey, 1989; Thao, Yamakawa, 2009).

Фунгициды с неизвестным механизмом действия

Несмотря на интерес к изучению механизмов действия фунгицидов, не для всех соединений они известны в настоящее время. Согласно классификации FRAC, такие фунгициды выделены в отдельную группу.

Цианоацетамид-оксимины. В состав класса входит цимоксанил. Он активен в отношении видов *Phytophthora*, *Peronospora*, *Plasmopara* и др. (Klöppling, Delp, 1980; Захарычев, 2022). В лабораторных условиях фунгицид также подавляет рост гриба *B. cinerea* (Schwinn, Staub, 1995). Цимоксанил более эффективен в отношении роста гиф, чем высвобождения зооспор из спорангия и их прорастания (Ziogas, Davidse, 1987). Фунгицид ингибирует синтез РНК, ДНК и белков у *Phytophthora cinnamomi* Rands и *B. cinerea* (Ziogas, Davidse, 1987; Oliver, Beckerman, 2022). Не обнаружено влияния цимоксанила на синтез нуклеиновых

Фунгициды с мультисайтовой активностью

Белковые цепи ферментов часто содержат сульфгидрильные (SH), тиольные (R–SH) или аминогруппы (NH_2), которые жизненно необходимы для их каталитической активности.

Фунгициды с мультисайтовой активностью связываются с такими группами ферментов и препятствуют их нормальному функционированию, нарушая сразу несколько биохимических процессов у фитопатогенов. К мультисайтовым относятся неорганические и органические соединения. Они практически не проникают внутрь растения и

Фосэтил алюминия активен в отношении оомицетов (виды *Phytophthora*, *Pythium*, *Plasmopara*, *Bremia*), грибов и бактерий (Coffey, Joseph, 1985; Cohen et al., 1987; Afek, Sztejnberg, 1989; Chase, 1993; Lobato et al., 2010; Singh et al., 2021). Он передвигается в растении акропетально и базипетально (Cohen, Coffey, 1986; Coffey, 1987; Oumette, Coffey, 1990; Johnson et al., 2004;).

Действие фосфонатов может быть прямым и непрямым. В первом случае высокие концентрации фосфитов способствуют снижению роста и спороношения оомицетов *in vitro* (Garbelotto et al., 2009). Это связано с нарушением многих биохимических процессов (Martin et al., 1998; Stehmann, Grant, 2000; Garbelotto et al., 2007; Dann, McLeod, 2021). При этом установлено, что эффективность фосфонатов прямо пропорциональна их концентрации в тканях (Cohen, Coffey, 1986; Dolan, Coffey, 1988; Fenn, Coffey, 1989; Stehmann, Grant, 2000). Механизм прямого действия данных фунгицидов связан с нарушением фосфатного метаболизма в клетках патогенов, что препятствует синтезу АТФ. В результате не происходит прорастания спор и проникновения патогена в растение (Fenn, Coffey, 1984; Amiri, Bompeix, 2011).

Непрямое действие фосфонатов заключается в стимулировании защитного ответа растения – реакции гиперчувствительности (Smilie et al., 1989; Dunstan et al., 1990; Guest, Bompeix, 1990; Guest, Grant, 1991). Фосфонаты способствуют накоплению фитоалексинов и фенольных соединений, способствуют лигнификации и др. (Guest, Grant, 1991; Singh et al., 2021). Фенольные соединения токсичны для фитопатогена и препятствуют проникновению фитопатогенов в ткани.

кислот, белка, процесс дыхания. Механизм его действия остается неизвестным (Захарычев, 2022; Schwinn, Staub, 1995; Hillebrand, Zundel, 2007; Gisi, Sierotzki, 2008).

Тетразолилоксимины. В состав класса входит пикарбу-тразокс – новое действующее вещество. Это системный фунгицид, активный в отношении *Pythium*, *Globisporangium*, *Phytophthora*, *Peronospora* и др. (Ireland, 2019; Olaya et al., 2024).

Пикарбу-тразокс неэффективен в отношении подвижности зооспор (Olaya et al., 2024). Обработка фунгицидом приводит к набуханию и усиленному ветвлению мицелия, ингибирует образование зооспор, формирование цист и их прорастание (Watanabe et al., 2019). Механизм действия фунгицида в настоящее время неизвестен.

не накапливаются в его клетках, обладают широким спектром действия в отношении представителей различных систематических групп – грибов, оомицетов (La Torre et al., 2018), а некоторые соединения – также бактерий (La Torre et al., 2018; Scariot et al., 2018; Oliver, Beckerman, 2022). Для обеспечения высокой эффективности контактных фунгицидов требуется их наличие на поверхности защищаемых органов.

Неорганические соединения меди. Все препараты на основе солей меди являются контактными фунгицидами с

защитным действием. Они подавляют прорастание спор и конидий фитопатогенов, поэтому для обеспечения высокой эффективности должны быть нанесены на растения до заражения. Продолжительность защитного действия зависит от качества препаративной формы (прилипаемость, размер частиц), метеорологических условий и скорости роста растения и обычно не превышает 10 дней (Попов и др., 2003).

После обработки ионы меди (Cu^{++}) растворяются в воде, содержащейся на поверхности растений, проникают внутрь клеток и нарушают ряд ферментативных реакций за счет взаимодействия с ферментами, содержащими карбоксильные, имидазольные и тиольные группы. В результате происходит денатурация белков, изменяется проницаемость мембран, блокируется дыхательная активность и др. (Попов и др., 2003; La Torre et al., 2018).

Ионы меди действуют на оомицеты, грибы и бактерии (La Torre et al., 2018; Singh et al., 2021).

Один из недостатков препаратов меди – их фитотоксичность, которая особенно проявляется в годы с повышенной влажностью воздуха и продолжительным периодом выпадения осадков (Singh et al., 2021).

Дитиокарбаматы. Это контактные фунгициды, в состав которых входят атомы металлов. Например, манеб содержит марганец, цирам и цинеб – цинк, а манкоцеб – марганец и цинк. Тирам представляет собой фунгицид без металла в составе (Campanale et al., 2023). Дитиокарбаматы неспецифично действуют на клетки фитопатогена и ингибируют различные биохимические процессы, в которых участвуют сульфгидрильные группы ферментов. В результате нарушается биосинтез веществ, транспорт энергии и другие биохимические процессы в клетках, что приводит к гибели фитопатогенов (Campanale et al., 2023).

Дитиокарбаматы характеризуются защитным действием, они наиболее эффективны при использовании непосредственно перед заражением или сразу после него. Данные фунгициды обладают широким спектром действия в

отношении грибов, оомицетов и бактерий (Gullino et al., 2010).

Фталимиды. В состав класса входят каптан, каптафол, фолпет. Данные фунгициды взаимодействуют с тиольными и аминокислотными группами ферментов (Захарычев, 2022).

Они характеризуются защитными свойствами в отношении оомицетов (*P. viticola*, *Ph. infestans*), а также аскомицетов (*Venturia*, *Botrytis* и др.) (Oliver, Beckerman, 2022).

Каптан, каптафол и фолпет обладают тератогенной активностью и вызывают образование злокачественных новообразований почек при попадании на кожу, а также при употреблении обработанных ими овощей и фруктов. В связи с этим их применение строго регламентировано, а в ряде стран запрещено (Захарычев, 2022).

Хлоронитрилы. В состав класса входит хлороталонил. Это контактный фунгицид неспецифического (широкого) спектра действия. Он взаимодействует с сульфгидрильными группами ферментов, блокируя окисление глюкозы (Gallagher et al., 1992; Sherrard et al., 2003; Jintao et al., 2020). В результате нарушаются процессы гликолиза и выработки энергии, а также ингибируется полимеризация микротрубочек (Захарычев, 2022).

Хлороталонил эффективен в отношении грибов (*Rhizoctonia*, *Sclerotinia*) и оомицетов (*Pythium*) (Sherrard et al., 2003).

Хиноны. В состав класса входит дитианон. Это контактный фунгицид защитного действия, подавляющий прорастание спор патогенов на поверхности листьев. Дитианон взаимодействует с тиольными группами ферментов, участвующих в клеточном дыхании (Stammli et al., 2014). Фунгицид эффективен в отношении ложно-мучнисторосяных патогенов, а также аскомицетов (*Colletotrichum*, *Elsinoe*, *Venturia*, *Exobasidium* и др.) (Mustafee et al., 2007; Scariot et al., 2018). Он нарушает рост мицелия и прорастание конидий (Amponsah et al., 2012; Mirković et al., 2015).

Заключение

Оомицеты представляют собой таксономическую группу гетеротрофных организмов, которые, несмотря на наличие некоторых схожих с грибами признаков, существенно от них отличаются. Многие оомицеты являются возбудителями болезней сельскохозяйственных растений, вызывая фитофтороз, пероноспороз (ложную мучнистую росу), корневую гниль, белую ржавчину и др. Основным методом защиты посевов остается применение фунгицидов. Учитывая различия между грибами и оомицетами,

не все из известных действующих веществ эффективны в отношении последних. В настоящее время перечень фунгицидов для защиты от оомицетов достаточно обширен и насчитывает 21 химический класс. Они ингибируют метаболизм нуклеиновых кислот, цитоскелет и моторные белки, дыхание, синтез или транспорт липидов, биосинтез клеточной стенки и др., а также запускают защитные реакции в растении-хозяине.

Библиографический список (References)

- Буга СФ, Крупенько НА (2022) Сельскохозяйственная фитопатология с основами микологии. Минск: Коллоград. 284 с.
- Захарычев ВВ (2022) Грибы и фунгициды. СПб.: Лань. 272 с.
- Илларионов АИ, Деркач АА (2022) Иммунологический метод защиты растений: современное состояние и перспективы его практического использования. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета* 15(3):65–78
- Попов СЯ, Дорожкина ЛА, Калинин ВА (2003) Основы химической защиты растений. М.: Арт-Лион. 208 с.
- Сингер М., Берг П. (1998) Гены и геномы: в 2-х т. Т. 1. Пер. с англ. – М.: Мир. 373 с.
- Третьякова ОМ, Третьякова ЕМ, Евтушенков АН (2015) Природа устойчивости растений к фитопатогенам. *Земледелие и защита растений* 4:61–64
- Тютюрев СЛ (2010) Механизмы действия фунгицидов на фитопатогенные грибы. СПб.: ИПК «Нива». 172 с.
- Afek U, Sztejnberg A (1989) Effects of fosetyl-Al and phosphorous acid on scoparone, a phytoalexin associated with

- resistance of citrus to *Phytophthora citrophthora*. *Phytopathol* 79(7):736–739
- Amiri A, Bompeix G (2011) Control of *Penicillium expansum* with potassium phosphite and heat treatment. *Crop Protect* 30(2): 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.10.010>
- Amponsah NT, Jones E, Ridgway HJ, Jaspers MV (2012) Evaluation of fungicides for the management of *Botryosphaeria* dieback diseases of grapevines. *Pest Manag Sci* 68:676–683. <https://doi.org/10.1002/ps.2309>
- An X, Guo X, Sum H, Morrow J et al (2004) Phosphatidylserine binding sites in erythroid spectrin: location and implication for membrane stability. *Biochem* 43:310–315. <https://doi.org/10.1021/bi035653h>
- Balba H (2007) Review of strobilurin fungicide chemicals. *J Environ Sci Health, Part B*. 42(4):441–451. <https://doi.org/10.1080/0360123070131646>
- Baldauf SL, Roger AJ, Wenk-Siefert I, Doolittle WF (2000) A kingdom-level phylogeny of eukaryotes based on combined protein data. *Science* 290:972–977. <https://doi.org/10.1126/science.290.5493.972>
- Bartlett DW, Clough JM, Godwin JR, Hall AA et al (2002) Review the strobilurin fungicides *Pest Manag Sci* 58:649–662. <https://doi.org/10.1080/03601230701316465>
- Bartnicki-Garsia S (1968) Cell wall chemistry morphogenesis and taxonomy of fungi. *Annu Rev Microbiol* 22:87–108. <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.22.100168.00511>
- Bartnicki-Garsia S, Wang MC (1983) Biochemical aspects of morphogenesis in *Phytophthora*. In: Erwin DC, Bartnicki-Garsia S, Tsao PH (eds) *Phytophthora: its biology, taxonomy, ecology, and pathology*. Amer Phytopathol Soc. St Paul, MN. 121–137
- Beakes D, Honda D, Thines M (2014) Systematics of the Straminipila: Labyrinthulomycota, Hyphochytriomycota, and Oomycota. In: McLaughlin DJ, Spatafora JW (eds) *The Mycota*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 39–97. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55318-9_3
- Beakes GW, Glockling SL, Sekimoto S (2012) The evolutionary phylogeny of the oomycete ‘fungi’. *Protoplasma* 249:3–19. <https://doi.org/10.1007/s00709-011-0269-2>
- Beakes GW, Thines M (2017). Hyphochytriomycota and Oomycota. In: Archibald JM, Simpson AGB, Slamovits C (eds) *Handbook of the Protists*. Springer, Germany. 435–505. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28149-0_26
- Belisle RJ, Hao W, Mckee B, Arpaia ML et al (2019) Baseline sensitivities of new fungicides for *Phytophthora cinnamomi* causing avocado root rot in California. *Plant Dis* 103(8):2024–2032. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-18-1698-RE>
- Benhamou N (1996) Elicitor-induced plant defence pathways. *Trends Plant Sci* 1(7):233–240. [https://doi.org/10.1016/1360-1385\(96\)86901-9](https://doi.org/10.1016/1360-1385(96)86901-9)
- Bennett V (1990) Spectrin-based membrane skeleton: a multipotential adaptor between plasma membrane and cytoplasm. *Physiol Rev* 70:1029–1065. <https://doi.org/10.1152/physrev.1990.70.4.1029>
- Björkhem I, Diczfalussy U (2002) Oxysterols: friends, foes, or just fellow passengers? *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 22(5):734–742. <https://doi.org/10.1161/01.atv.0000013312.32196.49>
- Blum M, Boehler M, Randall E, Young V et al (2010) Man-dipropamid targets the cellulose synthase-like PiCeA3 to inhibit cell wall biosynthesis in the oomycete plant pathogen *Phytophthora infestans*. *Mol Plant Pathol* 11:227–243. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00604.x>
- Blum M, Gamper HA, Waldner M, Sierotzki H et al (2012) The cellulose synthase 3 (*CesA3*) gene of oomycetes: structure, phylogeny and influence on sensitivity to carboxylic acid amide (CAA) fungicides. *Fungal Biol* 116:529–542. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2012.02.003>. Epub 2012 Feb 13
- Braun M (2001) Association of spectrin-like proteins with the actin-organized aggregate of endoplasmic reticulum in the Spitzenkörper of gravitropically tip-growing plant cells. *Plant Physiol*. 125: 1611–1619. <https://doi.org/10.1104/pp.125.4.1611>
- Campanale C, Triozzi M, Ragonese A, Losacco D (2023) Dithiocarbamates: properties, methodological approaches and challenges to their control. *Toxics* 11:851. <https://doi.org/10.3390/toxics1100851>
- Cavalier-Smith T (2018) Kingdom Chromista and its eight phyla: a new synthesis emphasising periplastid protein targeting, cytoskeletal and periplastid evolution, and ancient divergence. *Protoplasma* 255:297–357. <https://doi.org/10.1007/s00709-017-1147-3>
- Cavalier-Smith T, Chao EE-Y (2006) Phylogeny and megasystematics of phagotrophic heterokonts (kingdom Chromista). *J Mol Evol* 62:388–420. <https://doi.org/10.1007/s00239-004-0353-8>
- Chase AR (1993) Efficacy of fosetyl-Al for control of some bacterial diseases on ornamentals. *Plant Dis* 77:771–776
- Chen Y-L, Mao X-W, Wang J-X, Wu L-Y et al (2018) Activity of the dinitroaniline fungicide fluazinam against *Bipolaris maydis*. *Pestic Biochem Physiol* 148:8–15. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.03.005>
- Coffey M, Joseph M (1985) Effects of phosphorous acid and fosetyl-Al on the life cycle of *Phytophthora cinnamomi* and *P. citricola*. *Phytopathol* 75(9):1042–1046. <https://doi.org/10.1094/Phyto-75-1042>
- Coffey MD (1987) *Phytophthora* root rot of avocado – an integrated approach to control in California. *Plant Dis* 71:1046–1052
- Cohen E, Shalom Y, Axelrod Y, Adato I et al (1987) Control and prevention of contact infection of brown rot disease with fosetyl-aluminium, and residue levels in post-harvest-treated citrus fruits. *Pestic Sci* 20(2):83–91. <https://doi.org/10.1002/ps.2780200202>
- Cohen Y (2015) The novel oomicide oxathiapiprolin inhibits all stages in the asexual life cycle of *Pseudoperonospora cubensis* – causal agent of cucurbit downy mildew. *PLoS ONE* 10(10):e0140015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140015>
- Cohen Y, Baider A, Cohen B-H (1995) Dimethomorph activity against oomycete fungal plant pathogens. *Phytopathol* 85:1500–1506. <https://doi.org/10.1094/Phyto-85-1500>
- Cohen Y, Ben Naim Y, Falach L, Rubin AE (2017) Epidemiology of basil downy mildew. *Phytopathol* 107(10):1149–1160. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-17-0017-FI>
- Cohen Y, Coffey MD (1986) Systemic fungicides and the control of Oomycetes. *Annu Rev Phytopathol* 24:311–338. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.24.090186.001523>

- Cohen Y, Gisi U (2007) Differential activity of carboxylic acid amide fungicides against various developmental stages of *Phytophthora infestans*. *Phytopathol* 97:1274–1283. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-10-1274>
- Cohen Y, Rubin AE, Galperin M (2018) Oxathiapiprolin-based fungicides provide enhanced control of tomato late blight induced by mefenoxam-insensitive *Phytophthora infestans*. *PLoS ONE* 13(9): e0204523. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204523>
- Dann E, McLeod A (2021) Phosphonic acid: a long standing and versatile crop protectant. *Pest Management Sci* 77:2197–2208. <https://doi.org/10.1002/ps.6156>
- De Matteis MA, Morrow J (2000) Spectrin tethers and mesh in the biosynthetic pathway. *J Cell Sci* 113:2331–2343. <https://doi.org/10.1242/jcs.113.13.2331>
- Deacon JW (2006) Fungal Biology. Fourth edition. Edinburgh, UK: Blackwell Publishing. 371 p.
- Degoussée N, Gupta GD, Lew BR, Heath IB (2000) A putative spectrin-containing membrane skeleton in hyphal tips of *Neurospora crassa*. *Fung Genet Biol* 30:33–44. <https://doi.org/10.1006/fgbi.2000.1201>
- Dolan TE, Coffey MD (1988) Correlative *in vitro* and *in vivo* behavior of mutant strains of *Phytophthora palmivora* expressing different resistances to phosphorous acid and fosetyl-Na. *Phytopathol* 78:974–978
- Dunstan RH, Smilie RH, Grant BR (1990) The effects of sub-toxic levels of phosphonate on the metabolism and potential virulence factors of *Phytophthora palmivora*. *Physiol Mol Plant Pathol* 36:205–220. [https://doi.org/10.1016/0885-5765\(90\)90026-t](https://doi.org/10.1016/0885-5765(90)90026-t)
- Englander L, Merlino JA, McGuire JJ (1980) Efficacy of two new systemic fungicides and ethazole for control of *Phytophthora* root rot of rhododendron, and spread of *Phytophthora cinnamomi* in propagation benches. *Phytopathol* 70:1175–1179. <https://doi.org/10.1094/Phyto-70-1175>
- Fagone P, Jackowski S (2009) Membrane phospholipid synthesis and endoplasmic reticulum function. *J Lipid Res* 50 Suppl: 5311–5316. <https://doi.org/10.1194/jlr.R800049-JLR200>
- Farih A, Tsao PH, Menge JA (1981) *In vitro* effects of metalaxyl on growth, sporulation, and germination of *Phytophthora parasitica* and *P. citrophthora*. *Plant Dis* 65:651–654. <https://doi.org/10.1094/PD-65-651>
- Fenn ME, Coffey MD (1984) Studies on the *in vitro* and *in vivo* antifungal activity of fosetyl-Al and phosphorous acid. *Phytopathol* 74:606–611.
- Fenn ME, Coffey MD (1989) Quantification of phosphonate and ethyl phosphonate in tobacco and tomato tissues and significance for the mode of action of two phosphonate fungicides. *Phytopathol* 79:76–82. <https://doi.org/10.1094/Phyto-79-76>
- Fisher DJ, Hayes AL (1982) Mode of action of the systemic fungicides furalaxyl, metalaxyl and ofurace. *Pestic Sci* 13:330–339. <https://doi.org/10.1002/ps.2780130316>
- Fontaine S, Remuson F, Caddoux L, Barrès B (2019) Investigation of the sensitivity of *Plasmopara viticola* to amisulbrom and ametoctradin in French vineyards using bioassays and molecular tools. *Pest Manag Sci* 75:2115–2123. <https://doi.org/10.1002/ps.5461>
- FRAC Code List 2024: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels. <https://www.frac.info/media/s1zfrjqa/frac-code-list-2026.pdf> (03.09.2026)
- Gallagher EP, Canada AT, Di Giulio RT (1992) The protective role of glutathione in chlorothalonil-induced toxicity to channel catfish. *Aquat Toxicol* 23:155–168. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(92\)90049-S](https://doi.org/10.1016/0166-445X(92)90049-S)
- Garbelotto M, Harnik TY, Schmidt DJ (2009) Efficacy of phosphonic acid, metalaxyl M and copper hydroxide against *Phytophthora ramorum* *in vitro* and *in planta*. *Plant Pathol* 58: 111–119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01894.x>
- Garbelotto M, Schmidt DJ, Harnik TY (2007) Phosphite injections and bark application of phosphite + Pentrabark™ control sudden oak death in coast live oak. *Arboricult Urb Forest* 33:309. <https://doi.org/10.48044/jauf.2007.035>
- Gisi U (2002) Chemical control of downy mildews. In: Spencer-Phillips PTN et al (eds) *Advances in Downy Mildew Research*. https://doi.org/10.1007/0-306-47914-1_4
- Gisi U, Sierotzki H (2008) Fungicide modes of action and resistance in downy mildews. *Eur J Plant Pathol* 122:157–167. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8973-2_12
- Gisi U, Sierotzki H (2015) Oomycete fungicides: phenylamides, quinone outside inhibitors, and carboxylic acid amides. In: Ishii H, Hollomon DW (eds) *Fungicide resistance in plant pathogens*. 145–174. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55642-8_10
- Glaab J, Kaiser WM (1999) Increased nitrate reductase activity in leaf tissue after application of the fungicide kresoxim-methyl. *Planta* 207:442–448. <https://doi.org/10.1007/s004250050503>
- Granke LL, Quesada-Ocampo L, Lamour K, Hausbeck MK (2012) Advances in research on *Phytophthora capsici* on vegetable crops in the United States. *Plant Dis* 96:1588–1600. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-12-0211-FE>
- Guest D, Bompeix G (1990) The complex mode of action of phosphonates. *Australas Plant Pathol* 19:113–114. <https://doi.org/10.1071/APP9900113>
- Guest D, Grant B (1991) The complex mode of action of phosphonates as antifungal agents. *Biol Rev* 66:159–187. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1991.tb01139.x>
- Gullino ML, Tinivella F, Garibaldi A, Kemmitt GM et al (2010) Mancozeb. Past, present, and future. *Plant Dis* 94(9):1076–1086. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-9-1076>
- Guo Z-J, Miyoshi H, Komyoji T, Haga T et al (1991) Uncoupling activity of a newly developed fungicide, fluazinam [3-chloro-N-(3-chloro-2,6-dinitro-4-trifluoromethylphenyl)-5-trifluoromethyl-2-pyridinamine]. *Biochimica Biophysica Acta* 1056: 89–92
- Gurung B, Yu L, Yu C-A (2008) Stigmatellin induces reduction of iron-sulfur protein in the oxidized cytochrome *bcl* complex. *J Biol Chem* 283(42):28087–28094. <https://doi.org/10.1074/jbc.M804229200>
- Hardham AR (2007) Cell biology of plant-oomycete interactions. *Cell Microbiol* 9:31–39. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2006.00833.x>
- Harveson RM, Windels CE, Smith JA, Brantner JR et al (2007) Fungicide registration and a small niche market: a case history of hymexazol seed treatment and the U.S. sugar beet industry. *Plant Dis* 91(7): 780–790. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-7-0780>

- Heath IB (1994) The cytoskeleton in hyphal growth, organelle movements, and mitosis. In: Wessels JGH, Meinhardt F (eds) *The Mycota I: Growth, Differentiation and Sexuality*. Berlin: Springer-Verlag. 43–65. https://doi.org/10.1007/978-3-662-11908-2_3
- Helbert W, Sugiyama J, Ishihara M, Yamanaka S (1997) Characterization of native crystalline cellulose in the cell walls of Oomycota. *J Biotech* 57:29–37. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(97\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(97)00084-9)
- Hillebrand S, Zundel J-L (2007) Newer fungicides with unknown mode of action. In: Krämer W, Schirmer U (eds) *Modern Crop Protection Compounds*. Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 709–726. <https://doi.org/10.1002/9783527619580.ch21>
- Honda T, Hasunuma N, Tanaka A, Sasaki K et al (2008) Characteristics of amisulbrom as a foliar use fungicide on Oomycetes disease. *PPO-Spec Rep* 2009(13):269–274
- Hu JH, Hong C, Stromberg EL, Moorman GW (2007) Effects of propamocarb hydrochloride on mycelial growth, sporulation, and infection by *Phytophthora nicotinae* isolates from Virginia nurseries. *Plant Dis* 91(4): 414–420. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-4-0414>
- Huggenberger F, Lamberth C, Iwanzik W (2005) Mandipropamid, a new fungicide against oomycete pathogens. Proceeding of the BCPC, Glasgow, Alton, UK. 87–92.
- Hunte C, Palsdottir H, Trumpower BL (2003) Protonmotive pathways and mechanisms in the cytochrome bc1 complex. *FEBS Lett* 545:39–46. [https://doi.org/10.1016/s0015-5793\(03\)00391-0](https://doi.org/10.1016/s0015-5793(03)00391-0)
- Ireland D (2019) Picarbutrazox fungicide (Vayantis): A novel molecule for oomycete protection in corn and soybeans. <https://mssoy.org/sites/default/files/documents/vayantis-seed-tr>.
- Islam S, Middya R, Mondal B, Khatua DC (2018) Effect of fungicides on lesion expansion of late blight of potato. *Int J Cur Microbiol Appl Sci* 7: 20–25. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.701.003>
- Jackson KL, Yin J, Csinos AS, Ji P (2010) Fungicidal activity of fluopicolide for suppression of *Phytophthora capsici* on squash. *Crop Prot* 29:1421–1427. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.08.001>
- Ji P, Csinos AS (2015) Effect of oxathiapiprolin on asexual life stages of *Phytophthora capsici* and disease development on vegetables. *Ann App Biol* 166(2):229–235. <https://doi.org/10.1111/aab.12176>
- Jiang L, Wang H, Zong X, Wang X, Wu C (2022) Effects of soil treated fungicide fluopimomide on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) disease control and plant growth. *Open Live Sci* 17:800–810. <https://doi.org/10.1515/biol-2022-0069>
- Jingjing L, Zhen M, Li N, Dong B et al (2020) Evaluating a new non-fumigant nematicide fluopimomide for management of southern root-knot nematodes in tomato. *Crop Prot* 129:105040 <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105040>
- Jintao H, Jintao I, Yingxiu W, Aizhong J (2020) Synthesis and fungicidal activity of chlorothalonil derivatives. *Plant Dis Pests* 11:15–17, 27. <https://doi.org/10.19579/j.cnki.plant-d.p.2020.03.006>
- Johnson DA, Inglis DA, Miller JS (2004) Control of potato tuber rots caused by oomycetes with foliar applications of phosphorous acid *Plant Dis* 88:1153–1159. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.10.1153>
- Judelson HS (2012) Dynamics and innovations within oomycete genomes: Insights into biology, pathology, and evolution. *Eukaryot Cell* 11(11):1304–1312. <https://doi.org/10.1128/EC.00155-12>.
- Kamimura S, Nishikawa M, Takahi Y (1976) Mode of action of soil fungicide hymexazol, 3-hydroxy-5-methylisoxazole, on *Fusarium oxysporum* f. *cucumerinum*. *Ann Phytopath Soc Jap* 42:242–252. <https://doi.org/10.3186/JPHYTOPATH.42.242>
- Kamoun S, Furzer O, Jones JDG, Judelson HS et al (2015) The top 10 oomycete pathogens in molecular plant pathology. *Mol Plant Pathol* 16:413–434. <https://doi.org/10.1111/mpp.12190>
- Kato S, Coe R, New L, Dick MW (1990) Sensitivities of various Oomycetes to hymexazol and metalaxyl. *J Gen Microbiol* 136:2127–2134
- Kim D, Chun S, Jeon J, Lee S et al (2004) Synthesis and fungicidal activity of ethaboxam against Oomycetes. *Pest Manag Sci* 60:1007–1012. <https://doi.org/10.1002/ps.873>
- Kim DS, Prak HC, Chun SJ, Yu SH et al (1999) Field performance of a new fungicide ethaboxam against cucumber downy mildew, potato late blight and pepper phytophthora blight in Korea. *Plant Pathol J* 15:48–52
- Klöppling HL, Delp CJ (1980) 2-(Cyano-N-l(ethylamino) carbonyl]-2-(methoxyimino)acetamide, a new fungicide. *J Agric Food* 28:467–468. <https://doi.org/10.1021/jf60228a010>
- Knauf-Beiter G, Hermann D (2005) Site of action of mandipropamid in the infection cycle of target fungi. *Proc BCPC Congress – Crop Sci Technol*. 1:99–104.
- Knight SC, Anthony VM, Brady AM, Greenland AJ et al (1997) Rationale and perspectives on the development of fungicides. *Annu Rev Phytopathol* 35:349–372
- Kousik CS, Quesada-Ocampo LM, Keinath A, Hausbeck M et al (2021) Managing stubborn oomycete plant pathogens. *Plant Health Progr* 22:215–218. <https://doi.org/10.1094/PHP-08-21-0114-FI>
- Kühn SF, Medlin LK, Eller G (2004) Phylogenetic position of the parasitoid nanoflagellate *Pirsonia* inferred from nuclear-encoded small subunit ribosomal DNA and a description of *Pseudopirsonia* n. gen. and *Pseudopirsonia mucosa* (Drebes) comb. nov. *Protist* 155:143–156.
- La Torre A, Iovino V, Caradonia F (2018) Copper in plant protection: current situation and prospects. *Phytopathol Mediter* 57(2):201–236. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-23407
- Latijnhouwers M, de Wit PJ, Govers F (2003) Oomycetes and fungi: similar weaponry to attack plants. *Trends Microbiol* 11:462–469. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2003.08.002>
- Lazzari V, Arcangeli G, Gualco A, Lazzati S et al (2008) Fluopicolide: a new effective active ingredient against oomycetes in grapes and vegetables. *Giornate Fitopatologiche* 2:135–140. <https://doi.org/10.1002/9783527619580.ch19>
- Leroux P (1996) Recent developments in the mode of action of fungicides. *Pestic Sci* 47(2):191–197. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199606\)47:2<191::AID-PS415>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199606)47:2<191::AID-PS415>3.0.CO;2-I)
- Li T, Xiu Q, Zhang J, Wang JX et al (2020) Pharmacological characteristics and efficacy of fluazinam against *Corynespora*

- cassicola*, causing cucumber target spot in greenhouse. *Plant Dis* 104:2449–2454. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-19-2649-RE>
- Liu A, Liu P, Xu Y, Wang B et al (2021) Encapsulation of fluazinam to extend efficacy duration in controlling *Botrytis cinerea* on cucumber. *Pest Manag Sci* <https://doi.org/10.1002/ps.6318>
- Liu B, Liu H, Zhang S, Ji X et al (2023) Evaluation of the reproductive toxicity of fluopimomide in *Meloidogyne incognita* and *Caenorhabditis elegans*. *Agronomy* 13:2471. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102471>
- Lobato MC, Olivieri FP, Andreu AB, Daleo GR (2010) Antimicrobial activity of phosphites against different potato pathogens. *J Plant Dis Prot* 117 (3):102–109. <https://doi.org/10.1007/BF03356343>
- Martin H, Grant BR, Stehmann C (1998) Inhibition of inorganic pyrophosphatase by phosphonate – a site of action in *Phytophthora* spp? *Pestic Biochem Physiol* 61: 65–77
- Matheron ME, Porchas M (2000): Impact of azoxystrobin, dimethomorph, fluazinam, fosetyl-Al, and metalaxyl on growth, sporulation, and zoospore cyst germination of three *Phytophthora* spp. *Plant Dis* 84:454–458. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.4.454>
- Mélida H, Sandoval-Sierra JV, Diéguez-Uribeondo J, Bulone V (2013) Analyses of extracellular carbohydrates in oomycetes unveil the existence of three different cell wall types. *Eukaryot Cell* 12:194–203. <https://doi.org/10.1128/EC.00288-12>
- Miao J, Dong X, Chi Y, Lin D et al (2018) *Pseudoperonospora cubensis* in China: its sensitivity to and control by oxathiapiprolin. *Pestic Biochem Physiol* 147:96–101. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.03.009>
- Miao J, Li C, Liu X, Zhang X et al (2021) Acticity and resistance-related point mutations in target protein PcORP1 of fluoxapiprolin in *Phytophthora capsici*. *J Agric Food Chem* 69:3827–3835. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05119>
- Mirković B, Tanović B, Hrustić J, Mihajlović M et al (2015) Toxicity of copper hydroxide, dithianon, fluazinam, tebuconazole and pyraclostrobin to *Didymella applanata* isolates from Serbia. *J Environ Sci Heal B* 50:175–183. <https://doi.org/10.1080/03601234.2015.982414>
- Mitani S, Araki S, Takii Y, Ohshima T et al (2001a) The biochemical mode of action of the novel selective fungicide cyazofamid: specific inhibition of mitochondrial complex III in *Pythium spinosum*. *Pest Biochem Physiol* 21:107–115. <https://doi.org/10.1006/pest.2001.2569>
- Mitani S, Araki S, Yamaguchi T, Takii Y et al (2001b) Biological properties of the novel fungicide cyazofamid against *Phytophthora infestans* on tomato and *Pseudoperonospora cubensis* on cucumber *Pest Manag Sci* 58:139–145. <https://doi.org/10.1002/ps.430>
- Mitani S, Ohhashi K, Yamaguchi T, Komyoji T (1996) Effect of fluazinam on infection process of *Alternaria alternata* Japanese pear pathotype. *J Pestic Sci* 21:61–63
- Mittlehner AW, Mertz JL, McManus JR, Putterman GJ (1998) Etridiazole – efficacy, mode of action and plant metabolism. Proceed Beltwide Cotton Conf 1:154–155
- Mustafee TP, Devnath A, Chowdhury A (2007) Efficacy of dimethomorph and dithianon against blight diseases of potato. *J Mycopathol Res* 45(1):85–89
- Mycobank Database. Fungal Databases, Nomenclature and Species Banks. 2004–2023. <https://www.mycobank.org> (03.09.2026)
- Nakanishi T, Sisler HD (1983) Mode of action of hymexazol in *Pythium aphanidermatum*. *J Pestic Sci* 8:173–181
- Olaya G, Linley R, Ireland D, Dorrance A et al (2024) Sensitivity of 40 *Pythium* species to the new fungicide Pacarbutrazox. *J Plant Dis Prot* 131:1137–1143. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00875-4>
- Oliver RP, Beckerman JL (2022) Fungicides in practice. Purdue University, USA. 240
- Olkkonen VM, Levine TP (2004) Oxysterol binding proteins: in more than one place at one time? *Biochem Cell Biol* 82:87–98. <https://doi.org/10.1139/O03-088>
- Ouimette DG, Coffey MD (1989) Phosphonate levels in avocado (*Persea americana*) seedlings and soil following treatment with fosetyl-Al or potassium phosphonate. *Plant Dis* 73:212–215. <https://doi.org/10.1094/PD-73-0212>
- Ouimette DG, Coffey MD (1990) Symplastic entry and phloem translocation of phosphonate *Pestic Biochem Physiol* 38:18–25. [https://doi.org/10.1016/0048-3575\(90\)90143-P](https://doi.org/10.1016/0048-3575(90)90143-P)
- Pasteris RJ, Hanagan MA, Bisaha JJ, Finkelstein BL et al (2016) Discovery of oxathiapiprolin, a new oomycete fungicide that targets an oxysterol binding protein. *Bioorg Med Chem* 24(3):354–361. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2015.07.064>
- PPDB: Pesticide Properties DataBase. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm> (03.09.2026)
- Prinz WA, Toulmay A, Balla T (2020) The functional universe of membrane contact sites. *Nat Rev Mol Cell Biol* 21(1):7–24. <https://doi.org/10.1038/s41580-019-0180-9>
- Qu TL, Shao YY, Csinos AS, Ji PS (2016) Sensitivity of *Phytophthora nicotianae* from tobacco to fluopicolide, mandipropamid, and oxathiapiprolin. *Plant Dis* 100(10):2119–2125. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-16-0429-RE>
- Qu X-p, Li J-C L, Wang J-X, Wu L-Y et al (2018) Effects of the dinitroaniline fungicide fluazinam on *Fusarium fujikuroi* and rice. *Pestic Biochem Physiol* 152:98–105. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.09.010>
- Quaranta L (2016) Phenylamide fungicides In: Lamberth C, Dinges J (eds) Bioactive carboxylic compound classes: pharmaceuticals and agrochemicals. First Edition. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 357–369. <https://doi.org/10.1002/9783527693931.ch27>
- Rapp L, Richter J (1982) Effect of propamocarb-hydrochloride (Previcur N) on several isolates of some *Pythium* and *Phytophthora* species *in vitro* and *in vivo*. *J Plant Dis Prot* 89:487–497
- Raudaskoski M, Salo V, Niini SS (1988) Structure and function of the cytoskeleton in filamentous fungi. *Karstenia* 28:49–60
- Reilly JJ (1980) Chemical control of black shank of tobacco. *Plant Dis* 64:274–277.
- Russell DW (2000) Oxysterol biosynthetic enzymes. *Biochim Biophys Acta* 1529:126–135. [https://doi.org/10.1016/s1388-1981\(00\)00142-6](https://doi.org/10.1016/s1388-1981(00)00142-6)
- Saheki Y, De Camilli P (2017) Endoplasmic reticulum-plasma membrane contact sites. *Annu Rev Biochem* 86:659–684. <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-061516-044932>
- Sauter H, Steglich W, Anke T (1999) Strobilurins: evolution of a new class of active substances. *Angew Chem Int*

- Ed 38:1328–1349. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3773\(19990517\)38:10<1328::AID-ANIE1328>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3773(19990517)38:10<1328::AID-ANIE1328>3.0.CO;2-1)
- Scariot FJ, Jahn L, Delamare APL, Echeverrigaray S (2018) Necrotic cell death induced by dithianon on *Saccharomyces cerevisiae*. *Pestic Biochem Physiol* 149:137–142. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.06.006>
- Schepers THAM, Kessel GJT, Lucca F, Förch et al (2018) Reduced efficacy of fluazinam against *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *Eur J Plant Pathol* 151(4):947–960. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1430-y>
- Schwinn F, Staub T (1995) In: Lyr H (ed) Modern Selective Fungicides 2. 326 Gustav Fischer Verlag. 339
- Sherrard RM, Murray-Gulde CL, Rodgers JH, Shah YT (2003) Comparative toxicity of chlorothalonil: *Ceriodaphnia dubia* and *Pimephales promelas*. *Ecotoxicol Environ Saf* 56:327–333. [https://doi.org/10.1016/s0147-6513\(02\)00073-8](https://doi.org/10.1016/s0147-6513(02)00073-8)
- Singh A, Thosar RU, Chavan V, Bhosale S et al (2021) Copper and phosphonate fungicides in disease management: an insight. *J Mycopathol Res* 59(4):337–348
- Smilie R, Grant BR, Guest D (1989) The mode of action of phosphite: evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp. in plants. *Phytopathol* 79:921–926. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-79-921>
- Smith DL, Garrison MC, Hollowell JE, Isleib TG et al (2008) Evaluation of application timing and efficacy of the fungicides fluazinam and boscalid for control of sclerotinia blight of peanut. *Crop Prot* 27:823–833. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.11.010>
- Stammler G, Teichmann M, Gold R (2014) Sensitivity of *Venturia inaequalis* to dithianon. In: Dehne HW, Deising HB Fraaije B, Gisi U et al (eds) Modern Fungicides and Antifungal Compounds VII. Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft, Braunschweig. 271–272
- Stehmann C, Grant BR (2000) Inhibition of enzymes of the glycolytic pathway and hexose monophosphate bypass by phosphonate. *Pestic Biochem Physiol* 67:13–24. <https://doi.org/10.1006/pest.1999.2465>
- Thao HTB, Yamakawa T (2009) Phosphite (phosphorous acid): fungicide, fertilizer or bio-stimulator? *Soil Sci Plant Nutr* 55:228–234. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765/2009.00365.x>
- Thines M (2014). Phylogeny and evolution of plant pathogenic oomycetes—a global overview. *Eur J Plant Pathol* 138:431–447. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0366-5>
- Thines M (2018) Oomycetes. *Curr Biol* 28:R812–R813. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.05.062>
- Thines M, Nam B, Nigrelli L, Beakes GW et al (2015) The diatom parasite *Lagenisma coscinodisci* (Lagenismatales, Oomycota) is an early diverging lineage of the Saprolegniomycetes. *Mycological Progress*, 14:75. <https://doi.org/10.1007/s11557-015-1099-y>
- Thines M, Spring O (2005). A revision of Albugo (Chromista, Peronosporomycetes). *Mycotaxon*. 92:443–458.
- Töfoli JG, Dominiques RJ, Jacobelis Jr. W, Tortolo MPL (2016) Ametocetradin: a new fungicide for potato late blight control. *Arg Inst Biol* 83:1–6. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000352014>
- Tong SM (1995) *Developayella elegans* nov. gen., nov. spec., a new type of heterotrophic flagellate from marine plankton *Eur J Protistol* 31(1):24–31.
- Toquin V, Barja F, Sirven C, Gamet S et al (2007) A new mode of action for fluopicolide: modofocation of the cellular localization of a spectrin-like protein. In: Denhe HW, Deising HB, Gisi U, Kuck KH et al (eds) Modern fungicides and antifungal compounds V. Friedrichroda, Germany. 27–38
- Toquin V, Latorse M-P, Beffa R (2019) Fluopicolide: a new anti-oomycete fungicide. In: Jeschke P, Witschel M, Krämer W, Schirmer U (eds) Modern Crop Protection Compounds, Third Edition. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 871–878
- Trigiano RN, Windham MT, Windham AS (2004) Plant pathology: concepts and laboratory exercises. CRC Press LLC. 702 p.
- Uchida M, Roberson RW, Chun S-J, Kim D-S (2005) In vivo effects of the fungicide ethaboxam on microtubule integrity in *Phytophthora infestans*. *Pest Manag Sci* 61:787–792. <https://doi.org/10.1002/ps.1045>
- Uzuhashi S, Okada G, Ohkuma M (2015) Four new Pythium species from aquatic environments in Japan. *Int J Gen Mol Microbiol* 107:375–391. <https://doi.org/10.1007/s10482-014-0336-8>
- Venancio WS, Rodrigues MAT, Begliomini E, de Souza NL (2003) Physiological effects of strobilurin fungicides on plants. *Publ UEPG Exact Soil Sci Agr Eng Ponta Grossa* 9(3):59–68
- Vincelli P (2012) QoI (Strobilurin) Fungicides: Benefits and Risks. <https://www.apsnet.org/edcenter/Pages/StrobilurinFungicides.aspx> (16.10.2025)
- Vitoratos AG (2014) Mode of action and genetic analysis of resistance to fluazinam in *Ustilago maydis*. *J Phytopathol* 162:737–746. <https://doi.org/10.1111/jph.12254>
- Wang H-C, Zhou M-G, Wang J-X, Chen C-J et al (2009) Biological mode of action of dimethomorph on *Pseudoperonospora cubensis* and its systemic activity in cucumber. *Agr Sci China* 8:172–181. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60025-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60025-0)
- Wang M, Hua X, Zhang Q, Yang Y et al (2014) Enantioselective degradation of metalaxyl in grape, tomato, and rice plants. *Chirality* 27:109–114. <https://doi.org/10.1002/chir.22397>
- Wang Y, Buan Y-B, Zhou M-G (2016) Baseline sensitivity and efficacy of fluazinam in controlling Sclerotinia stem rot of rapeseed. *Eur J Plant Pathol* 144:337–343. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0771-z>
- Watanabe S, Urihara I, Fujii T, Yamanaka H et al (2019) *Abstr. IUPAC2019 Ghent Crop Prot Chem* P3.26.
- Weber-Boyyat M, Zhong WB, Yan DG, Olkkonen VM (2013) Oxysterol-binding proteins: Functions in cell regulation beyond lipid metabolism. *Biochem Pharmacol* 86(1):89–95. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2013.02.016>
- Wong LH, Čopič, A, Levine TP (2017) Advances on the transfer of lipids by lipid transfer proteins. *Trends Biochem Sci* 42:516–530. <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2017.05.001>
- Young DH (2012) Zoxamide: an antitubulin fungicide for the control of Oomycete pathogens. In: Kramer W, Schirmer U, Jeschke P, Witschel M (eds) Modern crop protection compounds 2. Wiley-VCH, Weinheim. 739–748
- Young DH, Lewandowski VT (2000) Covalent binding of the benzamide RH-4032 to tubulin in suspension-cultured tobacco cells and its application in a cell-based

- competitive-binding assay. *Plant Physiol* 124:115–124. <https://doi.org/10.1104/pp.124.1.115>
- Young DH, Slawinski R (2001) Mode of action of zoxamide (RH-7281), a new Oomycete fungicide. *Pestic Biochem Physiol* 69, 100–111. <https://doi.org/10.1006/pest.2000.2529>
- Young DH, Xiaolan C, Lu X, Cai M et al (2011) Baseline sensitivity of natural population and resistance of mutants in *Phytophthora capsica* to zoxamide *Phytopathol* 101:1104–1111. <https://doi.org/10.1094/PHTO-01-11-0010>
- Yu Z, Strelkov SE, Hwang S-F (2004) Evaluation of amisulbrom products for management of clubroot of canola (*Brassica napus*). *Plants* 13:28. <https://doi.org/10.3390/plants13010028>
- Zadra C, Marucchini C, Zazzerini A (2002): Behavior of metalaxyl and its pure R-enantiomer in sunflower plants (*Helianthus annuus*). *J Agr Food Chem* 50:5373–5377. <https://doi.org/10.1021/jf020210>
- Zhang H, Zhai M, Wang K, Xu H, Tang J, Wang H (2013) Study on fungicidal activity and mode of action of a novel fungicidal agent, LH-2010A against *Rhizoctonia solani*. *Chin. J Pestic Sci* 15:43–9.
- Zhang XZ, Ryu KY, Kim JS, Cheon JU et al (2005) Changes in the sensitivity to metalaxyl, dimethomorph and ethaboxam of *Phytophthora infestans* in Korea. *Plant Pathol J* 21:33–38. <https://doi.org/10.5423/PPJ.2005.21.1.033>
- Ziogas BN, Davidse LC (1987) Studies on the mechanism of action of cymoxanil in *Phytophthora infestans*. *Pestic Biochem Physiol* 29(2):89–96. [https://doi.org/10.1016/0048-3575\(87\)90066-6](https://doi.org/10.1016/0048-3575(87)90066-6)

Translation of Russian References

- Buga SF, Krupenko NA (2022) [Agricultural phytopathology with mycology basis]. Minsk, Kolograd. 284 p. (In Russian)
- Illarionov AI, Derkach AA (2022) [Immunological method of plant protection: state and perspectives of its practical use]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* 15(3):65–78 (In Russian)
- Popov SYa, Dorozhkina LA, Kalinin VA (2003) [Basics of chemical plant protection]. M.: Art-Lion. 208 p. (In Russian)
- Singer M, Berg P (1998) [Genes and genomes: in 2 volumes]. Vol. 1. M.: Mir. 373 p. (In Russian)
- Tretyakova OM, Tretyakova EM, Evtushenkov AN (2015) [Nature of plant resistance to phytopathogens]. *Zemledelie i zaschita rasteniy* 4:61–64 (In Russian)
- Tyuterev SL (2010) [Modes of action of fungicides to phytopathological fungi]. SPb. 172 p. (In Russian)
- Zakharychev VV (2022) [Fungi and fungicides]. SPb: Lan. 272 p. (In Russian)

Plant Protection News, 2026, 109(2), p. 116–131

OECD+WoS: 4.01+AM (Agronomy); 1.06+QU (Microbiology)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2026-109-2-17548>

Full-text review

FUNGICIDES FOR PROTECTION AGAINST OOMYCETES

N.A. Krupenko

LLC “Frandsa”, Minsk, Belarus

e-mail: krupenko_natalya@mail.ru

Oomycetes are a large group of heterotrophic organisms that evolutionarily differ from true fungi. They can be either free-living or parasitic. Among the parasites, the causal agents of agricultural plant diseases are of great economic importance. Oomycetes cause devastating diseases such as potato late blight, downy mildew of grapes, vegetables, and cruciferous crops. They also infect the roots of many agricultural plants, causing blackleg and root rots. The severe damage caused by these diseases has driven the development of various chemical fungicides aimed at protecting crops against oomycetes. However, given the evolutionary differences between oomycetes and true fungi, some fungicides are not effective against oomycetes. This paper provides a review of the chemical classes of fungicides used for protection against Oomycota, their modes of action, and their activity spectra.

Key words: fungicide mode of action, fungicide chemical group, active ingredient, plant diseases, oomycetes

Submitted: 17.02.2026

Accepted: 04.08.2026

АССОРТИМЕНТ ГЕРБИЦИДОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С ГУМАЕМ (СОРГО АЛЕППСКИМ)

А.С. Голубев

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

e-mail: golubev100@mail.ru

Проведен анализ литературы по распространению, методам борьбы и ассортименту гербицидов против гумая в России и мире. Это вредоносное сорное растение опасно для многих сельскохозяйственных культур, включая кукурузу, сою, подсолнечник, хлопчатник и сахарный тростник. В Северном полушарии с потеплением климата его ареал расширяется в более высокие широты. Размножение семенами и корневищами обеспечивает высокую инвазивность. Система борьбы с гумаем должна быть интегрированной, включая совокупность агротехнических, механических и химических методов, последним должна отводиться значимая роль. Ассортимент гербицидов для его уничтожения достаточно широк и насчитывает десятки действующих веществ с разным механизмом действия. В России наиболее распространены ингибиторы ацетил-коэнзим А-карбоксилазы на основе клотодима, сетоксидима, квисаллофоп-П-тефурила, флуазифоп-П-бутила, пропаквизафоп и ингибиторы ацетолактатсинтазы на основе никосульфурона, римсульфурона, имазетапира, имзапира. Резистентные популяции выявлены по всему миру. На европейском континенте зафиксирован первый случай резистентности сорго алеппского к неселективному глифосату. Возможное направление совершенствования системы защитных мероприятий от сорго алеппского – биологический метод и поиск гербицидов с новыми механизмами действия.

Ключевые слова: действующие вещества, препараты, *Sorghum halepense*, сорные растения, пестициды, химический метод защиты

Поступила в редакцию: 20.05.2026

Принята к печати: 14.07.2026

Введение

Сорго алеппское (гумай) – *Sorghum halepense* (L.) Pers. – многолетнее злаковое сорное растение, в настоящее время обнаруженное в 124 странах мира. Естественный ареал этого вида – Западная Азия, Средиземноморье и Северная Африка, откуда он распространился по всему миру практически повсеместно, во многом за счет импорта и экспорта продовольствия (Yang et al., 2023). Вид встречается на территории Российской Федерации, при этом особую

значимость представляет для Кавказа. В силу биологических особенностей сорго алеппское является чрезвычайно вредоносным для растениеводства видом, засоряющим посевы широкого спектра сельскохозяйственных культур.

Цель исследования – провести анализ литературы по распространению *S. halepense*, методам его контроля и ассортименту гербицидов для борьбы с этим видом в России и мире.

Таксономическое положение и биологические особенности

Сорго алеппское *S. halepense* относится к отряду *Magnoliophyta* (Цветковые), классу *Liliopsida* (Лилиопсиды), порядку *Poales* (Мятликоцветные), семейству *Poaceae* (Мятликовые).

Большинство видов рода *Sorghum* являются дикорастущими, с различной меж- и внутривидовой совместимостью, варьирующей от 0 до 100% (Venkateswaran et al., 2019). Однако, как было показано, предки *Sorghum halepense*, *Sorghum bicolor* (L.) Moench и *Sorghum propinquum* (Kunth) Hitchc. имели общего предка и предполагаемое расхождение произошло около 2 миллионов лет назад (Guo et al., 2019).

Высота растений сорго алеппского может составлять от 0.5 до 2 м, стебли прямостоячие, голые, на узлах слегка волосистые. Пластинки листьев линейно-ланцетные, 1–1.5 см шириной, голые, со светлой средней жилкой, по краю зубчатые; листовое влагалище гладкое, язычок длиной до 5 мм, зеленовато-белый. Соцветие метельчатое, продолговатое, до 40 см длиной; плодородные колоски сидячие, волосистые; бесплодные колоски с короткой цветоножкой, почти безволосые. Колосковых чешуй 3, две нижние кожистые, третья пленчатая. Цветковые чешуи пленчатые, нижняя обыкновенно с остью до 2 см длиной, реже без ости,

верхняя маленькая, реснитчатая. Цветет с июня по август (Соколова, 2008).

Высокая степень способности внедрения (инвазии) в агроценозы *S. halepense* обусловлена его биологическими особенностями (Camargo Silva et al., 2024). Сорго алеппское может размножаться семенами путем самоопыления или перекрестного опыления, а также вегетативно через разветвленную корневищную сеть. При этом одно растение способно продуцировать до 80 000 семян (Anderson, 1996). Однако растения, появляющиеся из корневищ, имеют более высокие темпы роста даже в условиях стресса, и, как следствие, более конкурентоспособны по сравнению с сеянцами (Acciari, Guamet, 2010).

Семена *S. halepense* способны прорасти с глубины от 1 см (в 64% случаев) до 20 см (30%). До 6% семян способны прорасти с глубины 25 см (Tóth, Lehoczy, 2006). Идеальная температура прорастания в опытах составляла 30 °C; минимальная – 15 °C, а максимальная – 40 °C (Şin et al., 2024). Покой семян может быть ключевым фактором продолжительности жизни семян и жизнеспособности *S. halepense*, обеспечивая его восстановление после неблагоприятных вегетационных периодов (Huang, Hsiao, 1987).

Распространение, вредоносность

К концу XX века *S. halepense* встречалось на всех континентах, кроме Антарктиды, а границы его обитания предположительно находились между 55° северной широты и 45° южной широты (Holm et al., 1977).

Современные исследования, связанные с моделированием распространения сорго алеппского по всему миру, показали, что экологические переменные для этого процесса более значимы, чем переменные, связанные с землепользованием (Yang et al., 2023). Ожидается, что в будущем площади пахотных земель и городских районов будут постоянно увеличиваться, в то время как площади лугов будут уменьшаться, а присутствие *S. halepense* в этих типах землепользования в Северном полушарии будет постоянно расширяться и переноситься в более высокие широты по мере потепления климата (Klein, Smith, 2021).

На территории бывшего СССР сорго алеппское широко распространено в Средней Азии и Южном Казахстане, на Северном Кавказе и в Закавказье, реже встречается на юге европейской части и в других регионах Российской Федерации (Соколова, Будревская, 2008; Бобров и др., 2017; Олейникова, Гуркин, 2022).

Центр ареала *S. halepense* на Кавказе расположен на Центральном и Восточном Кавказе в границах Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Ингушетии, Чечни, а также в Предкавказье (Ставропольский край) (Шхагапсоева и др. 2017; Чадаева, Пшегусов, 2020; Терекбаев, Адиньяев, 2016).

Согласно прогнозам В.А. Чадаевой и Р.Х. Пшегусова (2020), к 2050 г. произойдет расширение площади местобитаний *S. halepense* за счет массового распространения на Западном и Восточном Кавказе (включая территорию Карачаево-Черкесии, Краснодарского края, Дагестана), на побережье Черного моря (Абхазия), в горах Грузии и Армении.

Сорго алеппское представляет опасность для широкого спектра сельскохозяйственных культур, таких как кукуруза *Zea mays* L., соя *Glycine max* (L.) Merr., подсолнечник *Helianthus annuus* L., хлопчатник *Gossypium* L., сахарный тростник *Saccharum officinarum* L., виноградники и ряда

других (Travlos et al., 2018; Özaslan, Kaçar, 2020; Süer, Tursun, 2024).

Потери урожая хлопчатника вследствие засорения этим видом могут достигать 65–86% (Dogan, Boz, 2005; Vasilakoglou et al., 2005). Урожайность зерновой кукурузы может снижаться на 57–88% (Mitskas et al., 2003). На этом же уровне находятся потери урожая сои (59–88%) (Williams, Hayes, 1984). *S. halepense* в посевах подсолнечника может приводить к недобору урожая этой культуры от 30 до 70% (Raul et al., 2019). Экономические затраты на борьбу с сорго алеппским в Турции оценены в 165 миллионов евро (Gunes et al., 2008).

Согласно Hamid с соавторами (2012), экстракты тканей корня *S. halepense* оказывают негативное воздействие на развитие всходов пшеницы, значительно снижая массу растений. Более того, вредоносность сорго алеппского не ограничивается конкуренцией с растениями культуры в течение одного вегетационного периода, это растение способно оказывать аллелопатическое воздействие на последующие культуры севооборота, такие как соя и кукуруза (Ştef et al., 2015).

Сорго алеппское также служит альтернативным хозяином многочисленных видов патогенов, к которым относятся *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum* (Hartman et al., 2020), вирус латентной мозаики персика PLMVd (Oksal et al., 2021), Иранский вирус мозаичной болезни кукурузы IJMV (Galbács et al., 2024), вирус карликовой мозаики кукурузы MDMV (Xie et al., 2021) и другие (Agyemang et al., 2025).

Исследования Da Silva с соавторами (2022) демонстрируют потенциал использования сорго алеппского в качестве силоса. В то же время другие авторы отмечают, что *S. halepense* может быть токсичным для домашнего скота (Riet-Correa et al., 2023; Giantin et al., 2024).

Пагубные последствия распространения *S. halepense* включают уменьшения количества местобитаний для местных видов, изменение сукцессионных моделей и сокращение биоразнообразия местной флоры (Rout et al., 2013; Lazzaro et al., 2020).

Меры борьбы

Борьба с *S. halepense* может быть эффективной при уничтожении как экземпляров, выросших из семян, так и тех, что появились из корневищ. Поскольку корневищная система этого вида чрезвычайно обширна и очень быстро распространяется в первый год, крайне важно принимать меры как можно раньше. Также крайне важно предотвратить перенос семян и корневищ с зараженных полей на незараженные. В этой связи следует отдавать предпочтение интегрированной системе защитных мероприятий (Integrated Weed Management – IWM), в которой агротехнические, механические и химические приемы должны использоваться вместе (Travlos et al., 2019; Štefanić et al., 2020; Khan et al., 2023).

До широкого распространения специальных противозлаковых гербицидов для борьбы с *S. halepense* широко использовались такие приемы обработки почвы, как глубокая вспашка, многократные обработки поля дисковой бороной, а после прорастания культурных растений – механическая и ручная прополка (Roienagu et al., 2005). Экспериментальным путем доказано, что нулевая обработка почвы, напротив, способствует широкому распространению многолетних видов сорных растений, в том числе *S. halepense*, что

приводит к необходимости использования большего количества гербицидов (Pant et al., 2021; Simić et al., 2020).

Важным приемом борьбы с сорго алеппским служит севооборот, с возможностью введения в него парового поля с проведением усиленных защитных мероприятий, включая механическую обработку почвы и внесение гербицидов широкого спектра действия (Andújar et al., 2014; Simić et al., 2020).

Elsekran и Üstüner (2024) доказали, что черный редис (*Raphanus sativus* L. var. *niger* J. Kern.) и кресс-салат (*Lepidium sativum* L.) эффективно подавляют прорастание и рост *S. halepense* благодаря своим аллелопатическим свойствам, а включение этих растений в севооборот может снизить использование гербицидов.

Изучение аллелопатического действия сорго алеппского на различные сорта гороха (*Pisum* L.) показало, что сорта Пульпудева и Пулдин обладали более высокой толерантностью, в отличие от сортов Деница и Вятово, которые были более чувствительны. Следовательно, возделывание таких толерантных сортов может являться перспективным дополнением к существующей стратегии борьбы с

сорными растениями, особенно в органическом производстве (Georgieva et al., 2021; Şin et al., 2024).

Правильный выбор срока посева сельскохозяйственных культур также является важным приемом использования агротехнических мероприятий. В опытах, проведенных в Италии, было продемонстрировано, что ранний посев кукурузы и хлопка обеспечивает снижение вредного воздействия *S. halepense* (Vidotto et al., 2016).

Применение микробиологических удобрений способно на первоначальном этапе развития обеспечивать более быстрый рост растений кукурузы и повышать ее конкурентоспособность по отношению к *S. halepense* (Dolijanović et al., 2023).

Использование брезента для подавления сорных растений разных биологических групп является эффективным приемом защиты растений (Law et al., 2008; Ricotta, Masiunas, 1991). В опытах было продемонстрировано, что корневища и семена *S. halepense* при благоприятных условиях окружающей среды могут быть легко инактивированы за счет соляризации с использованием прозрачного брезента (Stapleton, 2012). Очень эффективным для снижения численности сорго алеппского могут быть также укрытие черным брезентом и затопление парового поля (Camargo Silva et al., 2024).

Наиболее широко представленными в ассортименте гербицидами являются препараты на основе действующих веществ, ингибирующих ацетил-КоА-карбоксилазу, к которым относятся клетохим, флуазифоп-П-бутил, галоксифоп-П-метил и другие (табл. 1). Эти гербициды обычно проявляют высокую селективность по отношению к широкому кругу сельскохозяйственных культур и вносятся в период их вегетации. Например, использование препарата Селект, КЭ (120 г/л клетохима) Ариста Лайф-сайенс С.А.С. рекомендовано путем опрыскивания посевов вегетирующей культуры в нормах применения 1.6–1.8 л/га, когда высота *S. halepense* составляет от 10 до 20 см, независимо от фазы развития таких культур, как свекла сахарная, свекла столовая, подсолнечник, соя, рапс яровой и рапс озимый (Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов..., 2024).

Ко второй группе широко распространенных гербицидов, подавляющих как двудольные, так и злаковые сорные растения, относятся ингибиторы ацетолактатсинтазы. Это препараты на основе действующих веществ группы сульфонилмочевин, таких как никосульфурон, римсульфурон, форамсульфурон, и на основе имазетапира и имзапира из группы имидазолинонов. Их обычно вносят в период вегетации культурных растений. Так, гербицид Дублон, СК (40 г/л никосульфурона) АО Фирма «Август» используется в нормах применения 1–1.5 л/га путем опрыскивания посевов в фазе 3–6 листьев кукурузы при высоте *S. halepense* 10–20 см. Гербицид Кассиус, ВРП (250 г/кг римсульфурона) АО «Щелково Агрохим» в норме применения 0.05 кг/га используется путем опрыскивания посевов кукурузы в фазе 2–6 листьев культуры и в ранние фазы роста сорных растений с добавлением 200 мл/га ПАВ Сателлит, Ж (900 г/л этоксилата изодецилового спирта). Обработку посадок картофеля по вышеуказанным регламентам применения проводят после окулировки (Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов..., 2024).

Следует упомянуть о группе неселективных гербицидов самого широкого спектра действия, которые могут

Гидромульча на основе пшеничной соломы, рисовой шелухи и субстрата для выращивания грибов также способна снизить прорастание корневищ *S. halepense* в среднем на 50 % (Mas et al., 2021). В то же время использование синтетической мульчи обеспечивает гораздо более эффективный контроль сорго алеппского, чем органическая мульча из скорлупы миндаля (Kitiş, İbrişim, 2024).

Следует упомянуть о перспективах биологического метода борьбы с *S. halepense*. В тепличных экспериментах было установлено, что *Exserohilum rostratum* (Drechsler) Leonard & Suggs позволяет контролировать растения *S. halepense* (Chandramohan, Charudattan, 2001). Millhollon (2000) показал, что *Sporisorium cruentum* (Kuhn) K. Vanky имеет значительный потенциал в качестве агента биологического контроля *S. halepense* в посевах сахарного тростника. Изоляты *Aspergillus* spp. из корней *S. halepense* также могут быть потенциальным биологическим средством борьбы с этим сорным растением (Kabashi et al., 2023). Однако адекватный контроль *S. halepense* чрезвычайно сложен без использования гербицидов, и для успешного очищения полей от этого вида зачастую необходимо проведение нескольких обработок (Dogan, Boz, 2005).

Ассортимент гербицидов

быть использованы для борьбы с *S. halepense* на паровых полях, землях несельскохозяйственного назначения, полях, предназначенных под посев сельскохозяйственных культур и других объектах. К действующим веществам этой группы относятся: глифосат (ингибитор 5-енолпирувиллики-мат-3-фосфатсинтазы), глюфосинат (ингибитор глутаминсинтазы) и дикват (вызывающий нарушение транспорта электронов фотосистемы I). Например, гербицид Торнадо 500, ВР (500 г/л глифосата кислоты в виде изопропиламмонной соли) АО Фирма «Август» используют в нормах применения 3–4 л/га на полях, предназначенных под посев яровых зерновых, овощных, картофеля, бобовых, технических (в том числе льна), масличных, бахчевых, цветочных, декоративных газонных культур (Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов..., 2024).

Ряд гербицидов на основе действующих веществ с другими механизмами действия в настоящее время не используются на территории Российской Федерации. К ним относятся препараты на основе диурона (ингибитора фотосинтеза в фотосистеме II), норфлуразона (ингибитора фитоендесатуразы) и другие.

Также давно исключены из ассортимента пестицидов, допущенных для использования в нашей стране, гербициды на основе таких действующих веществ, как ацетахлор и ЕПТЦ, относящиеся к ингибиторам синтеза жирных кислот с очень длинной цепью.

В то же время препараты на основе С-метолахлора (Дуал Голд, КЭ) и диметенамида (Винг-П, КЭ) с тем же механизмом действия присутствуют в ассортименте, но не имеют рекомендованных регламентов для эффективной борьбы с многолетними злаковыми сорными растениями. Аналогичная ситуация сложилась с препаратами Пледж, СП на основе флумиоксазина (ингибитора протопорфириногенаксидазы), Мерлин, ВДГ на основе изоксафлютола (ингибитора гидроксибензилпируватдиоксигеназы), Стомп Професионал, МКС на основе пендиметалина (ингибитора сборки микротрубочек). Остальные гербициды на основе указанных в таблице 1 действующих веществ, которые

Таблица 1. Ассортимент гербицидов для борьбы с сорго алеппским

Table 1. Assortment of herbicides for Johnsongrass management

Действующее вещество Active compound	Названия препаратов в РФ Preparation names in Russia	Защищаемые культуры Protected crops	Ссылки References
ингибиторы ацетил-коэнзим А-карбоксилазы			
Клетодим	Селект, Центурион, Граминион, Селектор, Цензор, Легион и др.	Свекла сахарная, свекла столовая, подсолнечник, соя, рапс яровой и озимый, картофель и др.	Yazlik, Uremis, 2016
Сетоксидим	-	Соя	Yazlik, Uremis, 2016
Квизалофоп-П-тефурил	Пантера, Хилер, Лира и др.	Картофель, лен-долгунец, лук, морковь, капуста белокочанная, соя, рапс хлопчатник и др.	Gürbüz, Alptekin, 2024 Саидов и др., 2014 Калинова и др., 2012 Толибов, 2015
Флуазифоп-П-бутил	Фюзилад Форте, Легионер и др.	Подсолнечник, картофель, соя и др.	Karkanis et al., 2022 Калинова и др., 2012
Пропаквизафоп	Шогун	Свекла сахарная, капуста белокочанная, подсолнечник, соя, люцерна и др.	Oklu et al., 2024 Калинова и др., 2012
Галоксифоп-П-метил	Зеллек-супер, Хайфоп, Орион и др.	Свекла сахарная и кормовая, лен-долгунец, люцерна и др.	Oklu et al., 2024
Циклоксидим	Стратос Ультра	Соя, подсолнечник, свекла сахарная, картофель, виноградники и др.	Kanatas et al., 2021
ингибиторы ацетолактатсинтазы			
Никосульфурон	Дублон, Вояж, Приоритет и др.	Кукуруза	Meyer et al., 2015 Karkanis et al., 2020 Тарчоков и др., 2021
Римсульфурон	Титус Кассиус, Маис и др.	Картофель, кукуруза	Travlos et al., 2019 Тарчоков и др., 2021 Редюк, 2017
Имазетапир, имзапир	Евро-Лайтнинг	устойчивые к гербицидам гибриды с/х культур	Meyer et al., 2015 Johnson et al., 2003
Форамсульфурон	МайсТер	Кукуруза	Travlos et al., 2019
ингибитор 5-енолпирувилшикимат-3-фосфатсинтазы			
Глифосат	ГлифосАрт Торнадо, Спрут	Пары, виноградники, земли нс/х	Dogan et al., 2009 Travlos et al., 2019 Bararpour et al., 2023 Popovic et al., 2024 Церетели и др., 2020
ингибитор глутаминсинтетазы			
Глюфосинат	Мегаполис	Земли нс/х, пары	Ceseski et al., 2017
нарушение транспорта электронов фотосистемы I			
Дикват	Реглон Форте	Виноградники, картофель	Ceseski et al., 2017
ингибиторы фотосинтеза в фотосистеме II – связывающие белки серина 264			
Диурон	-	Цитрусовые, кукуруза, хлопок, виноград	Ceseski et al., 2017
ингибиторы синтеза жирных кислот с очень длинной цепью			
ЕПТЦ	-	Хлопок, картофель, сафлор, сахарная свекла, подсолнечник, помидоры	Ceseski et al., 2017
С-метолахлор	Дуал Голд	Кукуруза	Tóth, Lehoczky, 2007
Ацетохлор	-	Кукуруза	Tóth, Lehoczky, 2007
Диметенамид	Винг	Кукуруза	Tóth, Lehoczky, 2007
ингибиторы протопорфириногеноксидазы			
Флумиоксазин	Пледж	Кукуруза, хлопок, чеснок	Ceseski et al., 2017
ингибиторы фитоендесатуразы			
Норфлуразон	-	Цитрусовые, виноград, нектарины	Ceseski et al., 2017
ингибиторы сборки микротрубочек			
Эталфлуралин	-	Фасоль, подсолнечник	Ceseski et al., 2017
Оризалин	-	Виноградники, земли нс/х	Ceseski et al., 2017
Трифлуралин	-	Сахарная свекла, подсолнечник, помидоры	Ceseski et al., 2017
Пендиметалин	Стомп	Кукуруза	Tóth, Lehoczky, 2007
ингибитор гидроксибензилпируватдиоксигеназы			
Изоксафлютол	Мерлин	Кукуруза	Tóth, Lehoczky, 2007
иные механизмы действия			
Напропамид	-	Перец, клубника, помидоры	Ceseski et al., 2017

ингибируют сборку микротрубочек, в Российской Федерации не используются.

Кроме однокомпонентных препаратов, в ассортименте средств борьбы с *S. halepense* присутствуют значительное количество комбинированных гербицидов на основе вышеуказанных действующих веществ, которые проявляют высокую эффективность против этого вида, в том числе гербициды отечественного производства Дублон Голд, ВДГ (600 г/кг никосульфурона + 150 г/кг тифенсульфурон-метила) и Крейцер, ВДГ (650 г/кг никосульфурона + 60 г/кг тифенсульфурон-метила + 40 г/кг флорасулама) (Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов..., 2024). Внесение 2.0 л/га двухкомпонентного гербицида Меткий, МД, содержащего 75.0 г/л мезотриона и 30.0 г/л никосульфурона очищало посевы кукурузы от *S. halepense* на 80% при исходной засоренности необработанного контроля

– 49–80 шт./м². При этом, рентабельность такого приема составляла 129%, чистый доход – 46200 руб./га (Тарчоков и др., 2023).

Необходимо упомянуть о том, что до недавнего времени существенной проблемой являлась защита посевов зернового сорго от сорго алеппского ввиду ботанической близости этих растений и невозможности использовать на культуре общепринятые гербициды, ингибирующие ацетил-коэнзим А-карбоксилазу (acetyl-coenzyme A carboxylase – ACCase). Однако после коммерциализации линий зернового сорго, устойчивых к гербицидам, открылись новые возможности для борьбы с сорными растениями на посевах этой культуры: была разработана линия зернового сорго TamArk™, обладающая устойчивостью к ингибиторам ACCase, таким как квизалофоп и феноксапроп (Fleming et al., 2023).

Резистентность

Масштабное применение гербицидов с одним механизмом действия способствует возникновению резистентности, т.е. приобретенной устойчивости отдельных популяций сорго алеппского к гербицидам.

К настоящему моменту доказана устойчивость *S. halepense* к гербицидам, ингибирующим ацетил-Ко-А-карбоксилазу, таким как квизалофоп, сетоксидим, флуазифоп-бутил, пропаклизафоп, квизалофоп, галоксифоп и пиноксаден (Bradley et al., 2001; Scarabel et al., 2014; Panozzo, Sattin, 2021; Papapanagiotou et al., 2022, González-Torralva, Norsworthy, 2024).

Также была обнаружена резистентность к гербицидам из группы сульфонилмочевин, ингибирующим ацетолаттатсинтазу (acetolactate synthase – ALS): многократное применение никосульфурона привело к созданию устойчивых биотипов *S. halepense*, обладающих в 33–46 раз большей устойчивостью к гербицидам, чем восприимчивые контрольные растения (Hernández et al., 2015). Выявлена устойчивость популяций *S. halepense* к имидазолинонам, обладающим тем же механизмом действия, в частности к имазетапире (Panozzo et al., 2017; Porri et al., 2024).

Для борьбы с резистентными популяциями *S. halepense* необходимо использование комбинированных препаратов или баковых смесей гербицидов с разным механизмом действия (Meyer et al., 2015). Также для этих целей используют неселективные общеистребительные препараты, например гербициды на основе глифосата. Этот прием хорош тем, что позволяет в условиях парового поля справиться с популяциями сорго алеппского, которые приобрели устойчивость к селективным гербицидам, применявшимся во время вегетации сельскохозяйственных культур (в первую очередь, к наиболее распространенным ингибиторам ACCase и ALS).

В то же время следует отметить, что полное решение проблемы резистентности сорных растений на данном этапе не выглядит однозначным, так как сорго алеппское выработало устойчивость даже к общеистребительному глифосату. Так, в Арканзасе был выявлен устойчивый биотип *S. halepense*, который был в пять-семь раз менее чувствителен к глифосату, чем восприимчивый (Riar et al., 2011). Несколько лет назад в Испании был отмечен первый случай резистентности *S. halepense* к глифосату на европейском континенте (Vazquez-Garcia et al., 2020).

Заключение

Сорго алеппское – вредоносное многолетнее злаковое сорное растение, засоряющее посевы многих сельскохозяйственных культур. Его высокая инвазивность обусловлена биологическими особенностями, среди которых следует выделить способность к размножению как семенами, так и через разветвленную корневищную сеть. Борьба с *S. halepense* должна быть основана на интегрированной системе защитных мероприятий, в которой ведущая роль принадлежит агротехническим, механическим и химическим приемам. Ассортимент гербицидов для уничтожения *S. halepense* в мире достаточно широк и насчитывает несколько десятков наименований действующих веществ с разным механизмом действия. В Российской Федерации

наиболее распространены ингибиторы ацетил-коэнзим А-карбоксилазы на основе клетоидима, сетоксидима, квизалофоп-П-тефурила, флуазифоп-П-бутила, пропаклизафоп и ингибиторы ацетолаттатсинтазы на основе никосульфурона, римсульфурина, имазетапира, имаззапира. Резистентные популяции отмечены к гербицидам с обоими названными механизмами действия. В последние годы на европейском континенте отмечен первый случай резистентности сорго алеппского к глифосату. В этой связи для совершенствования системы защитных мероприятий от *S. halepense* перспективным представляется развитие биологического метода, а также поиск гербицидов с новыми механизмами действия.

Библиографический список (References)

Бобров ЮА, Лукашева ТВ, Кузнецова ЯВ, Поздеева ЛМ (2017) Адвентивные виды однодольных Республики Коми. *Фиторазнообразие Восточной Европы* 11(4):75–99
Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации (2024) М.: МСХ.
Калинова ЦХ, Христовов АИ, Златев СС (2012) Изменения в листовом обмене газами сорго алеппского

(*Sorghum halepensis* (L.) Pers) и картофеля (*Solanum tuberosum* L.) после третирования системными листовыми гербицидами. *Вестник ИРГСХА* 50:18–23
Олейникова ЕМ, Гуркин СВ (2022) Анализ сеgetального компонента агрофитоценозов лесостепи Воронежской области. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия.* 8(4):192–204

- Редюк СИ (2017) Защита картофеля от сорных растений. *Вестник защиты растений* 2(92):55–58
- Саидов СТ, Толибов АК, Пиров ТТ (2014) Влияние гербицида «Пантера», используемого в борьбе с многолетними сорняками на продуктивность хлопчатника. *Доклады Таджикской академии сельскохозяйственных наук* 4(42):14–16
- Соколова ТД (2008) Сорго алеппское, Джонсова трава, Гумай. В кн.: Афонин АН, Грин СЛ, Дзюбенко НИ, Фролов АН (ред.) Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения [DVD-версия]. https://agroatlas.ru/ru/content/weeds/Sorghum_halepense/
- Соколова ТД, Будревская ИА (2008) Ареал и зоны вредности сорго алеппского (*Sorghum halepense* (L.) Pers.). В кн.: Афонин АН, Грин СЛ, Дзюбенко НИ, Фролов АН (ред.) Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения [DVD-версия]. https://agroatlas.ru/ru/content/weeds/Sorghum_halepense/map/
- Тарчоков ХШ, Тутукова ДА, Матаева ОХ (2023) Меткий, МД – новый отечественный гербицид для борьбы с сорняками на посевах кукурузы. *Зерновое хозяйство России* 15(6):105–110. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-89-6-105-110>
- Тарчоков ХШ, Чочаев ММ, Матаева ОХ (2021) Эффективные приемы возделывания гибридов и родительских особей кукурузы в агротехнологиях нового поколения Кабардино-Балкарской Республики. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН* 3(101):82–91. <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-3-101-82-91>
- Терекбаев АА, Адиньяев ЭД (2016) Результаты мониторинга изменений в видовом составе и ареалах распространения сорных растений равнинной зоны Чеченской Республики за 2014–2016 гг. *Известия Горского государственного аграрного университета* 53(3):47–50
- Толибов АК (2015) Эффективное уничтожение моголетних трудно искореняемых сорняков на посевах хлопчатника селективным гербицидом «Пантера». *Доклады Таджикской академии сельскохозяйственных наук* 1(43):25–28
- Церетели ИС, Саркисян ГЖ, Агаронян АГ (2020) Действие ГлифосАрма на корневища многолетних злаковых сорняков. *Защита и карантин растений* 11:21–22
- Чадаева ВА, Пшегусов ВА (2020) Современное и прогнозируемое распространение *Sorghum halepense* (L.) Pers. на Кавказе. *Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук* 20(1):46–52. <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2020-20-1-46-52>
- Шхагапсоева КА, Надзирова РЮ, Шхагапсоев СХ (2017) Инвазионные растения во флоре Кабардино-Балкарии и их анализ. *Известия Горского государственного аграрного университета* 54(4):156–159
- Acciaresi HA, Guiamet JJ (2010) Below- and above-ground growth and biomass allocation in maize and *Sorghum halepense* in response to soil water competition. *Weed Res* 50(2):481–492. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00794.x>
- Agyemang ED, Ofosu R, Desiderio F, Galbacs ZN et al (2025) The Occurrence and Diversity of viruses identified in monocotyledonous weeds. *Agronomy* 15(1):74. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010074>
- Anderson WP (1996) *Weed Science: principles and applications*. Third edition. St. Paul: West Publishing Company. 388 p.
- Andújar D, Rueda-Ayala V, Dorado J, Gerhards R et al (2014) Multivariate analysis of the agricultural management presence of *Sorghum halepense* (L.) Pers. relationships in maize crops. *Gesunde Pflanzen* 66:17–22. <https://doi.org/10.1007/s10343-013-0310-9>
- Bararpour T, Korres N, Argenta J, Tseng TM et al (2023) Evaluation of herbicides for the control of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) and johnsongrass (*Sorghum halepense* L.) under non-crop conditions. *J Agric Sci* 15(3):1–9. <https://doi.org/10.5539/jas.v15n3p1>
- Bradley KW, Wu J, Hatzios KK, Hagood ES et al (2001) The mechanism of resistance to aryloxyphenoxypropionate and cyclohexanedione herbicides in a johnsongrass biotype. *Weed Sci* 49(4):477–484. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2001\)049\[0477:TMORTA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0477:TMORTA]2.0.CO;2)
- Camargo Silva G, Yu J, Herndon L, Samuelson S et al (2024) Evaluation of organic options for Johnsongrass (*Sorghum halepense*) control during winter fallow. *Weed Sci* 72:275–283. <https://doi.org/10.1017/wsc.2024.14>
- Ceseski AR, Al-Khatib K, Dahlberg J (2017) Biology and management of Johnsongrass (*Sorghum halepense*). *Calif Agric* 8569. <https://doi.org/10.3733/ucanr.8569>
- Chandramohan S, Charudattan R (2001) Control of seven grasses with a mixture of three fungal pathogens with restricted host ranges. *Biol Control* 22(3):246–255. <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0974>
- Da Silva CS, Tucker JJ, Maia FJ, Lourenço JM et al (2022) The impact of maturity stages on yield, quality, and nutritive value of ensiled Johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers.]. *Transl Anim Sci* 6(4). <https://doi.org/10.1093/tas/txac118>
- Dogan M, Boz Ö (2005) The concept of reduced herbicide rates for the control of johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) in cotton during the critical period for weed control. *JPD* 112(1):71–79
- Dogan MN, Ünay A, Boz Ö, Ögüt D (2009) Effect of pre-sowing and pre-emergence glyphosate applications on weeds in stale seedbed cotton. *Crop Protect* 28(3):503–507. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.01.013>
- Dolijanović Ž, Oljača S, Šeremešić S, Poštić D et al (2023) The effect of different microbial fertilizers on the weediness of maize. *Ann Univ Craiova Agric Montan Cadastre* 53(1):108–112. <https://doi.org/10.52846/aamc.v53i1.1444>
- Elsekran M, Üstüner T (2024) Allelopathic effects of black radish (*Raphanus sativus* L. var. niger J. Kern.) and garden cress (*Lepidium sativum* L.) plants on johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) plant in tomato cultivation. *J Agric Nat Resour* 27(1). <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.1431385>
- Fleming J, Norsworthy JK, Bagavathiannan M, Barber T (2023) Sensitivity of TamArk™ grain sorghum and monocot weed species to ACCase- and ALS-inhibiting herbicides. *Weed Technol* 37(4):402–409. <https://doi.org/10.1017/wet.2023.51>
- Galbács ZN, Agyemang ED, Pásztor G, Takács AP et al (2024) Viromes of monocotyledonous weeds growing in crop fields reveal infection by several viruses suggesting their virus reservoir role. *Plants*. 13:2664. <https://doi.org/10.3390/plants13182664>
- Georgieva N, Kosev V, Kalapchieva S (2021) A study on the allelopathic tolerance of garden pea varieties to *Sorghum halepense* (L.) Pers. Extracts. *Pesticidi i Fitomedicina* 36(2):91–99. <https://doi.org/10.2298/pif2102091g>
- Giantin S, Franzin A, Brusa F, Montemurro V et al (2024) Overview of cyanide poisoning in cattle from *Sorghum*

- halepense* and *S. bicolor* cultivars in Northwest Italy. *Animals* 14(5):743. <https://doi.org/10.3390/ani14050743>
- González-Torralva F, Norsworthy JK (2024) Target-site mutations Ile1781Leu and Ile2041Asn in the ACCase2 gene confer resistance to fluazifop-p-butyl and pinoxaden herbicides in a johnsongrass accession from Arkansas, USA. *Plant Direct* 8(3). <https://doi.org/10.1002/pld3.576>
- Gunes E, Uludag A, Uremis I (2008) Economic impact of johnsongrass (*Sorghum halepense* [L.] Pers.) in cotton production in Turkey. *J Plant Dis Prot Suppl* 21:515–520
- Guo H, Jiao Y, Tan X, Wang X et al (2019) Gene duplication and genetic innovation in cereal genomes. *Genome Res* 29:261–269. <https://doi.org/10.1101/gr.237511.118>
- Gürbüz R, Alptekin H (2024) Effect of pre- and post-emergence herbicides on weed control and yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* 11(2):141–156. <https://doi.org/10.19159/tutad.1412074>
- Hamid N, Ansari TZ, Abolfazl T (2012) Effect of weed allelopathic of sorghum (*Sorghum halepense*) on germination and seedling growth of wheat Alvand cultivar. *Ann Biol Res* 3:1283–1293
- Hartman T, Tharnish B, Harbour J, Yuen, GY et al (2020) Alternative hosts in the families Poaceae and Cyperaceae for *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum*, causal agent of bacterial leaf streak of corn. *Phytopathology* 110(6):1147–1152. <https://doi.org/10.1094/phyto-04-19-0132-r>
- Hernández MJ, León R, Fischer AJ, Gebauer M et al (2015) Target-site resistance to nicosulfuron in Johnsongrass (*Sorghum halepense*) from Chilean corn fields. *Weed Sci* 63(3):631–640. <https://doi.org/10.1614/ws-d-14-00167.1>
- Holm LG, Plucknett DL, Pancho, JV, Herberger JP (1977) The World's Worst Weeds. Honolulu: University Press. 609 p.
- Huang WZ, Hsiao AI (1987) Factors affecting seed dormancy and germination of Johnsongrass, *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Weed Res* 27(1):1–12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1987.tb00730.x>
- Johnson W, Li J, Wait J (2003) Johnsongrass control, total nonstructural carbohydrates in rhizomes, and regrowth after application of herbicides used in herbicide-resistant corn (*Zea mays*). *Weed Technol* 17:36–41. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2003\)017\[0036:JCTNCI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2003)017[0036:JCTNCI]2.0.CO;2)
- Kabashi B, Massimi M, Radócz L (2023) The potential of biological control on invasive weed species. *Acta Agraria Debreceniensis* 2:73–75. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/2/12028>
- Kanatas P, Antonopoulos N, Gazoulis I, Travlos IS et al (2021) Screening glyphosate-alternative weed control options in important perennial crops. *Weed Sci* 69(6):704–718. <https://doi.org/10.1017/wsc.2021.55>
- Karkanis A, Athanasiadou D, Giannoulis K, Karanasou K et al (2020) Johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) interference, control and recovery under different management practices and its effects on the grain yield and quality of maize crop. *Agronomy* 10(2):266. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020266>
- Karkanis A, Nakopoulos D, Palamioti C, Giannoulis KD et al (2022) Effects of post-emergence herbicides and period of johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) control on growth and yield of sunflower crops. *Agronomy* 12(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy12030581>
- Khan NM, Mujtaba G, Anwar A, Khan MAB (2023) Negative influence of Johnson grass (*Sorghum halepense* L.) on yield of crops along with the strategies to suppress its growth with chemical and other management approaches – A review. *AJAAR* 23(3):46–52. <https://doi.org/10.9734/ajaar/2023/v23i3466>
- Kitiş YE, İbrişim H (2024) Effects of mulching and flaming on weed control and almond growth in a newly established almond orchard. *Hortscience* 59(9):1369–1377. <https://doi.org/10.21273/hortsci18047-24>
- Klein P, Smith CM (2021) Invasive Johnsongrass, a threat to native grasslands and agriculture. *Biologia* 76(2):413–420. <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00625-5>
- Law DM, Bhavsar V, Snyder J, Mullen M et al (2008) Evaluating solarization and cultivated fallow for Johnsongrass (*Sorghum halepense*) control and nitrogen cycling on an organic farm. *Biol Agric Hortic* 26:175–191. <https://doi.org/10.1080/01448765.2008.9755079>
- Lazzaro L, Bolpagni R, Buffa G, Gentili R et al (2020) Impact of invasive alien plants on native plant communities and Natura 2000 habitats: state of the art, gap analysis and perspectives in Italy. *JEM* 274(15):111140. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111140>
- Mas MT, Pardo G, Pueyo J, Verdú AMC et al (2021) Can hydromulch reduce the emergence of perennial weeds? *Agronomy* 11(2):393. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020393>
- Meyer CJ, Norsworthy JK, Stephenson DO, Bararpour MT et al (2015) Control of johnsongrass in the absence of glyphosate in midsouth cotton production systems. *Weed Technol* 29(4):730–739. <https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00057.1>
- Millhollon R (2000) Loose kernel smut for biocontrol of *Sorghum halepense* in *Saccharum* sp. Hybrids. *Weed Sci* 48(5):645–652. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0645:LKSFBO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0645:LKSFBO]2.0.CO;2)
- Mitskas MB, Tsolis CE, Eleftherohorinos IG, Damalas CA (2003) Interference between corn and johnsongrass (*Sorghum halepense*) from seed or rhizomes. *Weed Sci* 51(4):540–545. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0540:IBCAJS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0540:IBCAJS]2.0.CO;2)
- Oklu, H, Gürbüz R, Alptekin H (2024) Management of Johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) in alfalfa cultivation areas of Iğdır province. *JoA* 7(1):45–62. <https://doi.org/10.46876/ja.1399331>
- Oksal HD, Aydın S, Baran M, Emir C et al (2021) Persimmon (*Diospyros kaki* L.) and johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers.] are new natural hosts of peach latent mosaic viroid. *Appl Ecol Environ Res* 19(6):4629–4639. https://doi.org/10.15666/aer/1906_46294639
- Özaslan C, Kaçar EP (2020) Weed flora of vineyards in Diyarbakır Province, Turkey. *Agric Sci Digest* 40(4):335–342. <https://doi.org/10.18805/ag.d-259>
- Panozzo S, Milani A, Scarabel L, Balogh A et al (2017) Occurrence of different resistance mechanisms to acetolactate synthase inhibitors in European *Sorghum halepense*. *Agric Food Chem* 65:7320–7327. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01243>
- Panozzo S, Sattin M (2021) Fitness costs associated to an Ile2041Asn mutation in the geophyte *Sorghum halepense* resistant to ACCase-inhibiting herbicides. *Front Agron* 3. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.711840>
- Pant C, Sah SK, Marahatta S, Dhakal S (2021) Weed dynamics in no-till maize system and its management: a review. *Agron J Nepal* 5:168–177. <https://doi.org/10.3126/ajn.v5i01.44838>
- Papapanagiotou AP, Loukovitis D, Damalas CA, Eleftherohorinos IG (2022) Identification of an acetyl-CoA carboxylase-resistant johnsongrass (*Sorghum halepense* L.)

- population from a cotton field in northern Greece. *Weed Biol Manag* 22(4):88–93. <https://doi.org/10.1111/wbm.12256>
- Poienaru S, Sarpe N, Sarpe I (2005) The chemical control of *Shorgum halepense* (Johnson grass) in soybean culture in the Danube meadow. *Commun Agric Appl Biol Sci* 70(3):459–463
- Popovic T, Kalac A, Jovovic Z, Raičević D et al (2024) Influence of different methods of weed control on the vineyard weed synusia in Podgorica subregion. *Agricult Forestry* 70(1) <https://doi.org/10.17707/agricultforest.70.1.11>
- Porri A, Panozzo S, Sisay MT, Scarabel L et al (2024) 3D structure of acetolactate synthase explains why the Asp-376-Glu point mutation does not give the same resistance level to different imidazolinone herbicides. *Pestic Biochem Physiol* 204:106070. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2024.106070>
- Raul C, Ramona S, Joana G (2019) The cyclohexanediones effect on the *Sorghum halepense* control in the sunflower agroecosystem. *Res J Agric Sci* 51(4):262–272
- Riar DS, Norsworthy JK, Johnson DB, Scott CR et al (2011) Glyphosate Resistance in a Johnsongrass (*Sorghum halepense*) Biotype from Arkansas. *Weed Sci* 59(3):299–304. <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00150.1>
- Ricotta JA, Masiunas JB (1991) The effects of black plastic mulch and weed control strategies on herb yield. *HortScience* 26:539–541. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.5.539>
- Riet-Correa F, Machado M, Micheloud JF (2023) Plants causing poisoning outbreaks of livestock in South America: A review. *Toxicon X* 17(9):100150. <https://doi.org/10.1016/j.toxcx.2023.100150>
- Rout ME, Chrzanowski TH, Smith WK, Gough L (2013) Ecological impacts of the invasive grass *Sorghum halepense* on native tallgrass prairie. *Biol Invasions* 15(2):327–339. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0289-7>
- Scarabel L, Panozzo S, Savoia W, Sattin M (2014) Target-site accase-resistant johnsongrass (*Sorghum halepense*) selected in summer dicot crops. *Weed Technol* 28(2):307–315. <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00137.1>
- Simić M, Dragicevic V, Brankov M, Šenket M (2020) Does continuous cropping of maize contribute to infestation with Johnsongrass (*Sorghum alepense* (L.) Pers.)? *Pesticidi i Fitomedicina* 35(3):161–172. <https://doi.org/10.2298/pif2003161s>
- Simić M, Dragicevic V, Chachalis D, Dolijanović Ž et al (2020) Integrated weed management in long-term maize cultivation. *Zemdirbyste* 107(1):33–40. <https://doi.org/10.13080/z-a.2020.107.005>
- Şin B, Kadioğlu İ, Yıldırım C (2024) Determination of some biological properties of the seeds of the Johnson grass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.). *J Agric Biotechnol* 5(2):71–78. <https://doi.org/10.58728/joinabt.1536338>
- Şin B, Yılmaz M, Köse M, Okçu ÖÜ (2024) Investigation of the allelopathic effects of different faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes against various weeds. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 12(6):918–923. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i6.918-923.6734>
- Stapleton JJ (2012) Feasibility of solar tents for inactivating weedy plant propagative material. *J Pest Sci* 85:17–21. <https://doi.org/10.1007/s10340-011-0412-z>
- Ştef R, Cărăbeţ A, Grozea I, Radulov I (2015) Allelopathic effects produced by Johnsongrass extracts over germination and growth of crop plants. *Bulletin of university of agricultural sciences and veterinary medicine Cluj-Napoca agriculture* 72(1):239–245. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:11180>
- Štefanić E, Maletić Đ, Zima D, Stefanic I (2020) et al Economic evaluation of different strategy for weed management in garlic production. *Zbornik Veleučilišta u Rijeci* 8(1):445–454. <https://doi.org/10.31784/zvr.8.1.5>
- Süer İE, Tursun N (2024) Weeds in the cotton growing areas in the Southeastern Anatolia Region. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 28(2):209–221. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.1406951>
- Tóth V, Lehoczy E (2007) The analysis of the effect of different herbicides on Johnson-grass in maize. *Commun Agric Appl Biol Sci* 72(2):279–282
- Tóth, V, Lehoczy E (2006) Investigations on the germination depth of Johnson grass (*Sorghum halepense* [L.] pers). *Commun Agric Appl Biol Sci* 71:803–808
- Travlos IS, Bilalis DJ, Katsenios N, De Prado R (2018) Sustainable weed control in vineyards. In: *Weed Control: Sustainability, Hazards, and Risks in Cropping Systems Worldwide*. Boca Raton: CRC Press. 526–542
- Travlos IS, Montull JM, Kukorelli G, Malidza, G et al (2019) Key aspects on the biology, ecology and impacts of johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers] and the role of glyphosate and non-chemical alternative practices for the management of this weed in Europe. *Agron J* 9:717. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110717>
- Vasilakoglou I, Dhima K, Eleftherohorinos I (2005) Allelopathic potential of bermudagrass and johnsongrass and their interference with cotton and corn. *Agron J* 97:303–313. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2005.0303A>
- Vazquez-Garcia JG, Palma-Bautista C, Rojano-Delgado AM, De Prado R et al (2020) The first case of glyphosate resistance in johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) in Europe. *Plants* 9(3):313. <https://doi.org/10.3390/plants9030313>
- Venkateswaran K, Elangovan M, Sivaraj N (2019) Origin, domestication and diffusion of *Sorghum bicolor*. In: *Breeding sorghum for diverse end uses*. 15–31. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101879-8.00002-4>
- Vidotto F, Fogliatto S, Milan M, Ferrero A (2016) Weed communities in Italian maize fields as affected by pedo-climatic traits and sowing time. *EJA* 74:38–46. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.018>
- Williams CS, Hayes RM (1984) Johnsongrass (*Sorghum halepense*) competition in soybeans (*Glycine max*). *Weed Sci* 32:498–501
- Xie W, Marty DM, Xu J, Khatri N et al (2021) Simultaneous gene expression and multi-gene silencing in *Zea mays* using maize dwarf mosaic virus. *BMC Plant Biol* 21:208. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02971-1>
- Yang M, Zhao H, Xian X, Qi Y et al (2023) Reconstructed global invasion and spatio-temporal distribution pattern dynamics of *Sorghum halepense* under climate and land-use change. *Plants* 12(17):3128. <https://doi.org/10.3390/plants12173128>
- Yazlik A, Uremis I (2016) Evaluation of autotoxic potential of Johnsongrass and its integrated application with herbicides. *J Econ Admin Sci* 9:44–49

Translation of Russian References

- Bobrov YuA, Lukasheva TV, Kuznetsova YaV, Pozdeeva LM (2017) [Adventitious species of monocots of the Komi Republic]. *Fitoraznoobraziye Vostochnoy Evropy* 11(4):75–99 (In Russian)

- Chadaeva VA, Pshegusov VA (2020) [Current and projected distribution of *Sorghum halepense* (L.) Pers. in the Caucasus]. *Doklady Adygskey (Cherkesskoy) Mezhdunarodnoy akademii nauk* 20(1):46–52 (In Russian) <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2020-20-1-46-52>
- Kalinova ShKh, Khristoskov AI, Zlatev SS (2012) [Changes in foliar gas metabolism of Aleppo sorghum (*Sorghum halepense* (L.) Pers) and potato (*Solanum tuberosum* L.) after treatment with systemic foliar herbicides]. *Vestnik IrGSHA* 50:18–23 (In Russian)
- Oleynikova EM, Gurkin SV (2022) [Analysis of the segetal component of agrophytocenoses of the forest-steppe of the Voronezh region]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya* 8(4):192–204 (In Russian)
- Redyuk SI (2017) [Protecting potatoes from weeds]. *Vestnik zashchity rasteniy* 2(92):55–58 (In Russian)
- Saidov ST, Tolibov AK, Pirov TT (2014) [The effect of the herbicide “Panther” used to control perennial weeds on cotton productivity]. *Doklady Tadzhikskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* 4(42):14–16 (In Russian)
- Shkhagapsoeva KA, Nadzirova RYu, Shkhagapsoev SKh (2017) [Invasive plants in the flora of Kabardino-Balkaria and their analysis]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* 54(4):156–159 (In Russian)
- Sokolova TD (2008) [Sorghum Aleppo, John's grass, Gumai]. In: Afonin AN, Grin SL, Dzyubenko NI, Frolov AN (eds.) *Agroekologicheskiy atlas Rossii i sopredelnykh stran: ekonomicheski znachimye rasteniya, ikh vrediteli, bolezni i sornye rasteniya [DVD-versiya]*. https://agroAtlas.ru/ru/content/weeds/Sorghum_halepense/ (In Russian)
- Sokolova TD, Budrevskaya IA (2008) [The range and harmfulness zones of Aleppo sorghum (*Sorghum halepense* (L.) Pers.)]. In: Afonin AN, Grin SL, Dzyubenko NI, Frolov AN (eds.) *Agroekologicheskiy atlas Rossii i sopredelnykh stran: ekonomicheski znachimye rasteniya, ikh vrediteli, bolezni i sornye rasteniya [DVD-versiya]*. https://agroAtlas.ru/ru/content/weeds/Sorghum_halepense/map/ (In Russian)
- State Catalog of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use in the Russian Federation (2024), as of December 27, 2024. Moscow: Ministry of Agriculture of Russian Federation (In Russian)
- Tarchokov KhSh, Chochaev MM, Mataeva OKh (2021) [Effective methods for cultivating hybrids and parental corn varieties in new generation agricultural technologies of the Kabardino-Balkarian Republic]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* 3(101):82–91 (In Russian) <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-3-101-82-91>
- Tarchokov KhSh, Tutukova DA, Mataeva OKh (2023) [Metkiy, MD—a new domestic herbicide for weed control in corn crops]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* 15(6):105–110 (In Russian) <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-89-6-105-110>
- Terekbaev AA, Adinyaev E'D (2016) [Results of monitoring changes in the species composition and distribution areas of weeds in the lowland zone of the Chechen Republic for 2014–2016]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* 53(3):47–50
- Tolibov AK (2015) [Effective destruction of perennial hard-to-eradicate weeds in cotton crops with the selective herbicide “Panther”]. *Doklady Tadzhikskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* 1(43):25–28 (In Russian)
- Tsereteli IS, Sarkisyan GZh, Agaronyan AG (2020) [The effect of GlyphosArm on the rhizomes of perennial cereal weeds]. *Zaschita i karantin rasteniy* 11:21–22 (In Russian)
- Plant Protection News, 2026, 109(2), p. 132–140
- OECD+WoS: 4.01+AM (Agronomy); 1.06+QU (Plant Sciences) <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2026-109-2-18105>

Mini-review**ASSORTMENT OF HERBICIDES TO CONTROL JOHNSONGRASS (ALEPPO GRASS)**

A.S. Golubev

*All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia**e-mail: golubev100@mail.ru*

Literature data are analyzed concerning prevalence, control methods and herbicide assortment against Johnsongrass in Russia and worldwide. *Sorghum halepense* is a noxious weed threatening many agricultural crops, including corn, soybean, sunflower, cotton, and sugarcane. In Northern Hemisphere, with climate warming, its area widens to higher latitudes. Reproduction with seeds and rhizomes facilitates its high invasiveness. Johnsongrass management systems should be integrate agronomic, mechanical, and chemical methods (emphasizing the latter). Herbicide assortment against *S. halepense* is extensive, comprising dozens of active ingredients with different action mechanisms. In Russia, acetyl-CoA carboxylase inhibitors based on clethodim, sethoxydim, quizalofop-P-tefuryl, fluazifop-P-butyl, and propaquizafop, and acetolactate synthase inhibitors based on nicosulfuron, rimsulfuron, imazethapyr, and imazapyr are most common. Resistant weed populations are identified worldwide. First glyphosate resistance case is recorded in Europe. To improve control measures, biological methods and novel action mechanisms of herbicides should be considered.

Keywords: active compounds, preparations, *Sorghum halepense*, weeds, pesticides, chemical control method

Submitted: 20.05.2026

Accepted: 14.07.2026

МОНИТОРИНГ ВИРУЛЕНТНОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ *Puccinia trititica* В 2023–2025 ГОДАХ

Е.И. Гультяева*, Е.Л. Шайдаюк

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

*ответственный за переписку, e-mail: eigulytaeva@gmail.com

Бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia trititica*) – широко распространенное заболевание пшеницы во всех регионах России, включая Северо-Запад. Многолетние популяционно-генетические исследования патогена позволяют оценить динамику изменчивости вирулентности патогена и скорректировать стратегии селекции на устойчивость к бурой ржавчине. Цель данной работы – мониторинг вирулентности и расового состава северо-западной популяции *P. trititica* в 2023–2025 гг. и оценка ее многолетней изменчивости (2001–2025 гг.). Показана высокая эффективность генов *Lr9*, *Lr19*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr42*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53* и *Lr57* в условиях Северо-Запада. В 2024–2025 гг. в регионе выделены изоляты патогена, вирулентные к носителям ранее высокоэффективного гена *Lr24*. Всего в 2023–2025 гг. в северо-западной популяции определено 17 фенотипов (рас) и только четыре из них были зафиксированы в 2000–2022 гг. Многолетняя изменчивость региональной популяции в 2001–2025 гг. в основном затрагивает варьирование частот вирулентности патогена к линиям Thatcher с генами *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c* и *Lr15*. В 2020–х годах они существенно снизились. Сравнительный анализ северо-западной популяции в 2001–2025 гг. показал ее стабильную последовательную изменчивость. Популяции 2001–2010 гг. умеренно отличались от 2012–2019 гг. и более значимо – от популяций 2020–2024 гг. Коллекция 2025 г. существенно отличалась от анализированных ранее популяций. Также проанализированы урединиообразцы *P. trititica*, собранные на пырее в 2025 г. Показано высокое сходство их профилей вирулентности с образцами, собранными на мягкой пшенице. Это подтверждает, что пырей может являться резерватом инфекции бурой ржавчины для посевов мягкой пшеницы на Северо-Западе и вносить свой вклад в разнообразие региональной популяции патогена.

Ключевые слова: бурая ржавчина, вирулентность, пшеница, расовый состав, *Lr*-гены

Поступила в редакцию: 12.04.2026

Принята к печати: 11.06.2026

Введение

Северо-Западный экономический регион расположен в северной части Нечерноземной зоны Российской Федерации, на Русской (Восточно-Европейской) равнине. Имеет общие внешние границы с Латвией, Эстонией, Белоруссией и Финляндией, и граничит с Центральными районами России. В состав региона входят Ленинградская, Новгородская и Псковская области, а также город федерального значения Санкт-Петербург. Более 70% сельхозпродукции приходится на животноводство, которое значителен здесь определяющей отраслью. Растениеводство представлено производством зерна, картофеля, кормовых культур. Среди зерновых культур в регионе широко возделывается озимая и яровая пшеница, которая преимущественно выращивается на фуражные цели для обеспечения потребности животноводческих хозяйств. В последние годы в регионе также нарастают площади семеноводческих посевов.

Изменения климата и непредсказуемые абиотические и биотические стрессы перманентно создают угрозу для производства зерна в регионе. Поражение культуры фитопатогенами – один из ключевых факторов, влияющих на урожайность. Основной вредоносный комплекс, развивающийся на мягкой пшенице в условиях Северо-Запада, включает возбудителей ржавчины, мучнистой росы и пятнистостей. Среди видов ржавчины – бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia trititica* Eriks.) – наиболее распространенное заболевание в регионе. Она появляется в фазы

цветения-молочной спелости, а максимальное развитие наблюдается к концу вегетации культуры (Ишкова и др., 2004; Гультяева и др., 2017). В 2020-х годах значимость бурой ржавчины существенно снизилась. Заболевание традиционно характеризовалось высокой вредоносностью до 2010-х годов. Экстремально жаркие сезоны 2010–2011 гг. были неблагоприятны для развития патогена. С 2012 г. отмечается возобновление сильного развития болезни. В этот же период в регионе стала нарастать значимость гембиотрофных патогенов – возбудителей пятнистостей (септориоза и пиренофороза) (Гультяева и др., 2017; Шпанев и др., 2017). В 2020-х годах они стали доминировать в фитопатогенном комплексе пшеницы на Северо-Западе и в других российских регионах. В 2020–2023 гг. бурая ржавчина в посевах пшеницы отсутствовала или встречалась локально со слабой степенью проявления. Депрессия развития болезни в этот период отмечена во всех российских регионах (Gulytaeva et al., 2020, 2025) и за рубежом (Aboukhaddour et al., 2019; Hanzalová et al. 2020; McCallum et al. 2021, 2025). В 2024–2025 гг. при ежегодном выездном мониторинге посевов озимой и яровой мягкой пшеницы на Северо-Западе, проводимом Всероссийским институтом защиты растений (ВИЗР), зафиксировано возобновление развития болезни. Бурая ржавчина встречалась на производственных посевах восприимчивых сортов и

коллекционных полях научно-исследовательских учреждений, где представлено широкое разнообразие генотипов.

Инокулом *P. triticina* на Северо-Запад может заноситься воздушными потоками из других российских регионов и приграничных стран Западной Европы, где заболевание проявляется в более ранние сроки. Резерватами инфекции могут служить и дикорастущие злаки. Это предопределяет высокое генетическое разнообразие северо-западной популяции патогена. Большинство российских сортов пшеницы, возделывавшихся на производственных, селекционных и коллекционных посевах до 2010-х гг., было восприимчиво к бурой ржавчине (Мироновская 808, Инна, Московская 39, Ленинградка, Иргина, Ирень, Ленинградская 97, Амир, МИС, Эстер, Лада и др.). С помощью молекулярных маркеров у них были постулированы малоэффективные гены устойчивости к бурой ржавчине (*Lr*-гены) *Lr1*, *Lr3* и *Lr10* (Gulyaeva et al., 2023). В последующий период сортимент возделываемых сортов начал расширяться. В регионе стали возделывать как новые отечественные сорта (Галина, Скипетр, Московская 56, Дарья), так и иностранные (Skigen, Smuga, Balitus, Sonett, Calixo, Тризо, Дарья, Сударыня). Некоторые из этих сортов обладают

различным уровнем устойчивости к бурой ржавчине. Высокоэффективные *Lr*-гены у них не обнаружены, однако показано широкое распространение частично эффективных генов, которые встречаются по отдельности или в различных сочетаниях. Например, у сорта Skigen определены гены *Lr10*, *Lr13*, *Lr17* (Serfling et al., 2011); Скипетр – *Lr10*, *Lr26*; Sonett – *Lr1*, *Lr20*; Московская 56 – *Lr1*; Дарья, Тризо – *Lr20*; Ленинградская 6 – *Lr10* (Gulyaeva et al., 2023). Расширение генетического разнообразия возделываемых сортов пшеницы и занос инфекции из соседних регионов – существенный фактор изменчивости северо-западной популяции *P. triticina* по признаку вирулентности.

Ежегодный мониторинг вирулентности *P. triticina* на Северо-Западе проводится в ВИЗР с 2000 г. (Ишкова и др., 2004; Гультяева и др., 2009; Gulyaeva et al., 2023). Определены временные различия между составом северо-западной популяции в периоды 2001–2010 гг., 2012–2019 гг. и 2020–2021 гг. (Gulyaeva et al., 2023). Цель данной работы – продолжение мониторинга вирулентности и расового состава северо-западной популяции *P. triticina* в 2023–2025 гг. и оценка многолетней динамики ее изменчивости.

Материалы и методы

Инфекционный материал, представленный листьями с урединиопустулами *P. triticina*, был собран на сортах мягкой пшеницы в Ленинградской и Псковской областях в 2023–2025 г. Инокулом собирали на образцах *Triticum aestivum* L., выращиваемых на производственных посевах, коллекционных и селекционных участках научно-исследовательских учреждений и Государственных сортоучастков (ГСУ). В мелкоделяночных опытах (коллекционные или селекционные посева) с одного сорта собирали по 1–5 пораженных листьев (1 образец популяции). На производственных посевах инфекционный материал собирали с 10–20 растений в нескольких отдаленных точках поля (3–4 образца). Всего в 2023–2025 гг. материал исследований из Ленинградской области был представлен 34 образцами *P. triticina* (2025 г. – 17, 2024 г. – 15, 2023 г. – 2), из Псковской области – 6 образцами (2024 г. – 2, 2025 г. – 4). В 2025 г. при обследовании посевов озимой пшеницы в Ленинградской области было обнаружено несколько растений пырея, пораженных бурой ржавчиной. Для сравнения состава популяций на мягкой пшенице и пырее – возможном резерватре инфекции *P. triticina*, с него был также получен инфекционный материал.

Собранные листья подсушивали и хранили в эксикаторе с силикагелем в холодильнике (температура 2–5 °С). Каждый образец *P. triticina* был размножен и далее клонирован. Для размножения инфекции сухие листья с урединиопустулами привязывали к листьям 8–10 проростков восприимчивого сорта озимой пшеницы Michigan Amber с помощью пищевой пленки. Растения сбрызгивали водой (для создания влажной камеры) и укрывали проволоочными каркасами с полиэтиленом. В течение суток сосуды с растениями выдерживали в темноте при температуре 20–22 °С. На второй день инфекционный материал (сухие листья) снимали. Далее растения инкубировали на свету-установке в контролируемых условиях при температуре 20–22 °С (фотопериод: 16 ч – день, 8 ч – ночь). Симптомы болезни развивались на 7–8 день. Сбор урединиоспор каждого инфекционного образца *P. triticina* проводили

дважды на 9–10 и 15–16 сутки с использованием вакуумного насоса. Для получения монопустульных изолятов использовали листья с отдельно расположенными пустулами. Из одного инфекционного образца, собранного в мелкоделяночных опытах, получали по 1–2 монопустульных изолята, с производственных посевов – по 3–5 изолятов. Для этого вырезали отрезок листа с пустулой и растирали урединиоматериал по поверхности листа (1 пустула – 1 горшок с растением). Последующую инкубацию растений проводили по выше представленным параметрам. Чтобы предотвратить контаминацию между изолятами, сосуды с растениями изолировали каркасами с перфорированным целлофаном.

Для анализа вирулентности использовали сборный инокулом каждого инфекционного образца *P. triticina* и выделенные из него монопустульные изоляты. Сорок почти изогенных *Lr*-линий Thatcher и сортов с генами *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr3*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr11*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr19*, *Lr20*, *Lr21*, *Lr23*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr26*, *Lr27+Lr31*, *Lr34*, *Lr37*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr30*, *Lr32*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr42*, *Lr44*, *Lr45*, *Lr47*, *Lr48*, *Lr49*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53* и *Lr57* инокулировали сборными образцами *P. triticina*. Отсутствие симптомов поражения (баллы 0, 0;) или устойчивый тип реакции (баллы 1, 2) у линии-тестера ко всем образцам патогена указывали на высокую эффективность несущего его *Lr*-гена.

Анализ вирулентности и расового состава проводили на ограниченном наборе из 20 дифференциаторов, широко используемом во всем мире (Long, Kolmer, 1989; Kolmer, Fajolu, 2022; McIntosh et al., 2025). Инокулировали 8–10-суточные проростки дифференциаторов (фаза 1-го листа). Их опрыскивали суспензией спор (концентрация 10⁴–10⁶ спор/мл) в нетоксичной для растений иммерсионной жидкости 3M™ Novec™ 7100) (3M China Ltd), выдерживали в темной влажной камере 12 часов и далее инкубировали при температуре 20–22 °С (фотопериод 16 ч – день, 8 ч – ночь). Тип реакции каждого из дифференциаторов на заражение *P. triticina* определяли через 9–10 суток по

шкале E.B. Mains и H.S. Jackson, где: балл 0 – отсутствие видимых симптомов (сорт иммунный); балл 0; – гиперчувствительные пятна – мелкие пятна отмершей ткани (пустулы не образуется) (сорт высокоустойчивый); балл 1 – мелкие пустулы с некрозом (сорт устойчивый); балл 2 – мелкие, средние пустулы, окруженные некрозом или хлорозом (сорт умеренно устойчивый), балл 3 – пустулы среднего размера без хлороза (сорт восприимчивый); балл 4 – крупные пустулы без хлороза (сорт сильно восприимчивый); балл Х – пустулы на одном и том же листе разных типов, присутствуют хлорозы и некрозы (тип реакции гетерогенный или промежуточный) (сорт умеренно восприимчивый) (McIntosh et al., 1995; Гуляева, Солодухина, 2008). Если реакция на заражение отдельными изолятами (или для некоторых *Lr*-линий) была сомнительной, то эксперимент повторяли.

Обозначение фенотипов (рас) патогена проводили по международной буквенной номенклатуре (Long, Kolmer 1989). Для этого 20 тестеров вирулентности были подразделены на 5 групп – набор 1: *Lr1* (изогенная линия RL6003), *Lr2a* (RL6000), *Lr2c* (RL6047), *Lr3* (RL6002); набор 2: *Lr9* (RL6010), *Lr16* (RL6005), *Lr24* (RL 6064), *Lr26* (RL6078); набор 3: *Lr3ka* (RL6007), *Lr11* (RL6053), *Lr17* (RL6008), *Lr30* (RL6049); набор 4: *Lr2b* (RL6019), *Lr3bg* (RL6042),

Результаты и обсуждение

При инокуляции расширенного набора тестеров вирулентности (40 линий) сборными образцами *P. triticina* устойчивые (0, 0;) и умеренно устойчивые (1, 2) баллы реакции показали линии с генами *Lr9*, *Lr19*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr42*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53* и *Lr57*, что указывает на их высокую эффективность в регионе. Варьирование реакций (устойчивость/восприимчивость) отмечено на линиях с генами *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr21*, *Lr23*, *Lr24*, *Lr44* и *Lr45*. Остальные дифференциаторы показали высокий уровень поражения.

Всего в 2023–2025 гг. получено и проанализировано 96 монопустульных изолятов. Их анализ на международном наборе из 20 дифференциаторов не выявил вирулентность к линиям Thatcher (*TcLr*) с генами *Lr9* и *Lr19* (табл. 1), что согласуется с результатами тестирования сборных образцов *P. triticina*. Эти гены относятся к группе частично эффективных. Они преодолены патогеном в регионах возделывания несущих их сортов (*Lr9* – Западная Сибирь, Урал, *Lr19* – Поволжье) (Мешкова и др., 2012; Сибикеев и др., 2020; Сочалова и др., 2023). При этом они сохранили эффективность на Северо-Западе и в некоторых других российских регионах, например, на Северном Кавказе (Агапова и др., 2020; Gulyaeva et al., 2025). Единичный изолят, вирулентный к ранее эффективному гену *Lr24*, впервые за долгий период времени был обнаружен в 2024 г.; в 2005 г. их число увеличилось до 6 изолятов. Ранее вирулентность к *Lr24* была отмечена в 2007 и 2008 гг. (4% из 139 изолятов и 7% из 69 изолятов соответственно) (Гуляева, 2018). Сорта с *Lr24* на Северо-Западе не возделываются. Предположительно, вирулентные изоляты могли быть занесены из Западной Европы, где коммерческие сорта с *Lr24* представлены широко. Потеря эффективности гена *Lr24* в ряде западноевропейских стран отмечается с середины 2010-х годов (Hanzalová et al. 2020).

Многолетняя изменчивость северо-западной популяции затрагивает вирулентность к линиям *TcLr2a*, *TcLr2b*,

Lr14a (RL6013), *Lr14b* (RL6006); набор 5: *Lr15* (RL60052), *Lr18* (RL RL6009), *Lr19* (RL6040), *Lr20* (RL6092). Первые три группы используются для обозначения рас возбудителя бурой ржавчины во всем мире, другие две включали линии-дифференциаторы, актуальные для тестирования российских популяций (Gulyaeva et al., 2020, 2025).

Оценку внутривидового разнообразия северо-западной популяции *P. triticina* проводили по индексам генетических дистанций: Нея (Nei Diversity, Hs) (разнообразие по частотам аллелей), Шеннона (Sh) (разнообразие по фенотипам) и Космана (Kosman diversity within (KW) (комплексное разнообразие по частотам аллелей и фенотипическому составу). Различия между популяциями оценивали по индексу Нея (Nei distance, N), характеризующему генетическое расстояние по частотам аллелей, индексу Роджерса (Rogers distance, R) – по фенотипическому составу и индексу *Fst*. Для определения буквенного кода фенотипов, вычисления индексов внутривидового разнообразия и различий между популяциями по вирулентности использовали пакет программ Virulence Analysis Tool (VAT) (Kosman et al., 2008), для вычисления *Fst* и построения многомерных диаграмм – пакет GenAlEx (алгоритм AMOVA).

TcLr2c и *TcLr15*. До 2020-х годов частоты вирулентности к каждой из этих линий значимо варьировали (Gulyaeva et al., 2023, 2025): они были ниже к *TcLr2a* и выше – к трем другим линиям (*TcLr2b*, *TcLr2c* и *TcLr15*) (рис. 1). В 2020-х годах для большинства изолятов выявлена ассоциация вирулентности к этим генам, т.е. они были одновременно авирулентны (или вирулентны) к этим четырем линиям (табл. 1). За многолетний период исследований минимальная вирулентность к этой группе генов отмечена в 2025 г. (4%)

Снижение вирулентности в 2020-х годах отмечается и для линии *TcLr16* (0–12.2%) (табл. 1). В предыдущий период (2001–2019 гг.) она составляла 90–100%. Вирулентность ко всем другим линиям-дифференциаторам была стабильно высокой во все годы исследований.

Таблица 1. Вирулентность северо-западной популяции *Puccinia triticina* в 2023–2025 гг.

Table 1. Virulence of the northwestern population of *Puccinia triticina* in 2023–2025

Линия Thatcher с геном <i>Lr</i> Thatcher line with the <i>Lr</i> gene	Частоты вирулентности, % Virulence frequencies, %		
	2023	2024	2025
9, 19	0	0	0
24	0	2.4	12
1	100	97.6	100
2a, 2b, 2c, 15	60	24.4	4
3a, 3bg	100	100	96
3ka	100	100	92
11	100	92.7	96
16	0	12.2	0
20	100	82.9	76
26	100	97.6	100
14a, 14b, 17, 18, 30	100	100	100

Северо-западная популяция в изученный период характеризовалась высоким фенотипическим разнообразием; в ней идентифицировано 17 фенотипов вирулентности (рас) (табл. 2). Фенотип ТСТТR был общим для трех лет исследований. Фенотипы МСТКG и МСТКН отмечены в 2024 и

2025 гг., а фенотип РСТКН – в 2023–2024 гг. Только четыре фенотипа (МСТКН, МНТКН, РНТКН, ТСТТR) отмечались ранее, в 2001–2022 гг.; остальные были уникальными. Показатели внутрипопуляционного разнообразия северо-западной популяции *P. triticina* в 2023–2025 гг.

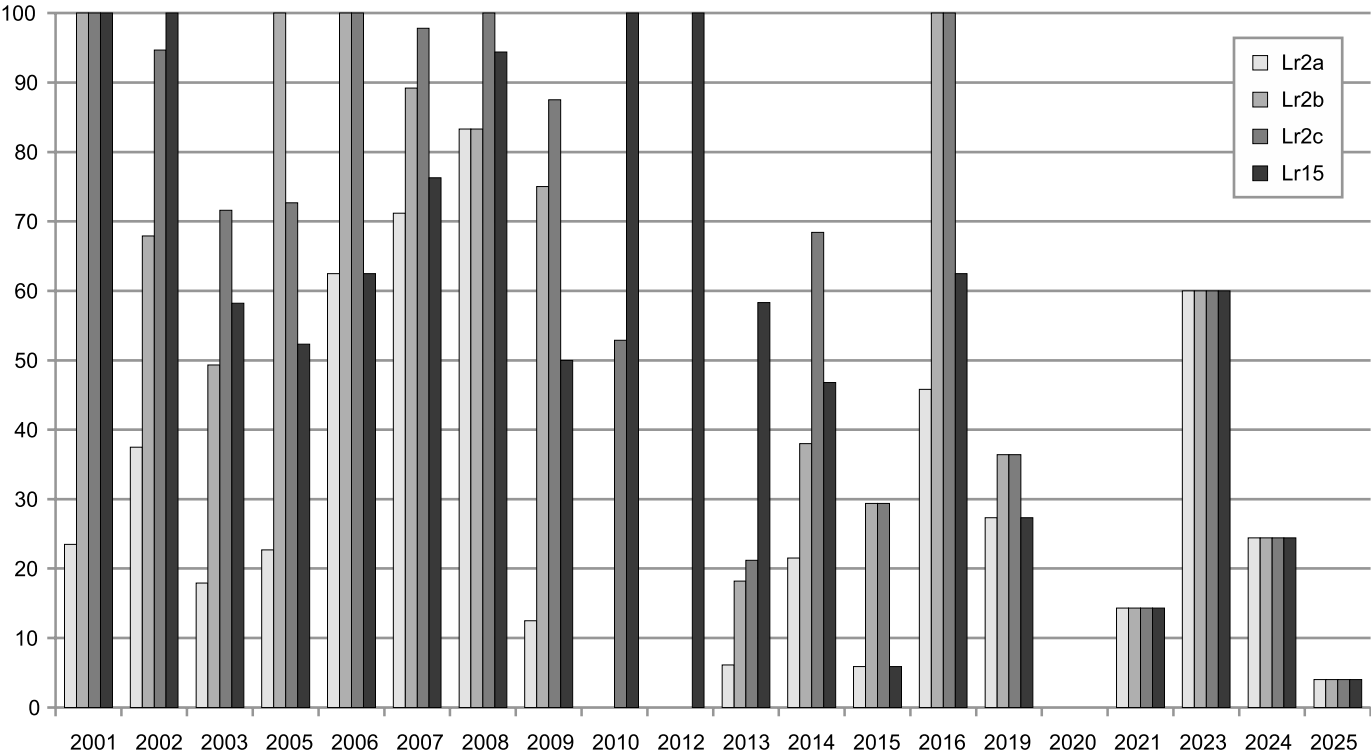


Рисунок 1. Частоты вирулентности к линиям Thatcher с генами *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c* и *Lr15* в северо-западной популяции *Puccinia triticina* в 2001–2025 гг.
Figure 1. Virulence frequencies to Thatcher lines with the *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, and *Lr15* genes in the northwestern population of *Puccinia triticina* in 2001–2025

Таблица 2. Фенотипический состав северо-западной популяции *Puccinia triticina* в 2023–2025 гг.
Table 2. Phenotypic composition of the northwestern population of *Puccinia triticina* in 2023–2025

Фенотип Phenotype	Авирулентность к линиям Thatcher с генами <i>Lr</i> * Avirulence to Thatcher lines with genes	Частота (%) Frequency (%)			Частота (%) фенотипа в 2001–2021 гг. Phenotype frequency in 2001–2021
		2023	2024	2025	
ССРКН	1, 2a, 2b, 2c, 9, 11, 15, 16, 19, 24	0	2.4	0	0
ЛСКFG	2a, 2b, 2c, 3, 3ка, 3bg, 9, 15, 16, 19, 20, 24	0	0	4	0
МВТКН	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19, 24, 26	0	2.4	0	0
МСРКG	2a, 2b, 2c, 9, 11, 15, 16, 19, 20, 24	0	0	4	0
МСРКН	2a, 2b, 2c, 9, 11, 15, 16, 19, 24	0	4.9	0	0
МСТКG	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19, 20, 24	0	14.6	12	0
МСТКН	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19, 24	0	31.7	64	1 (2007); 4.5 (2019); 100 (2020); 86 (2021)
МФККН	2a, 2b, 2c, 3ка, 9, 15, 16, 19	0	0	4	0
МФТКG	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19, 20	0	0	4	0
МФТКН	2a, 2b, 2c, 9, 15, 16, 19	0	2.4	4	0
МНТКН	2a, 2b, 2c, 9, 15, 19, 24	0	7.3	0	2.9 (2012); 3 (2013); 6 (2014); 41.2 (2015)
РСТКG	2a, 2b, 9, 15, 16, 19, 20, 24	0	2.4	0	0
РСТКН	2a, 2b, 9, 15, 16, 19, 24	40	4.9	0	0
РНТКН	2a, 2b, 9, 15, 19, 24	0	2.4	0	1.5 (2005); 16.5 (2014)
РСТТR	2c, 9, 16, 19, 24	0	7.3	0	0
РНТТR	2c, 9, 19, 24	0	2.4	0	0
ТСТТR	9, 16, 19, 24	60	14.6	4	2.2 (2007); 41.7 (2016); 22.7 (2019); 14 (2021)

* Анализ вирулентности выполнен при использовании 20 линий-дифференциаторов с генами *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr3*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr9*, *Lr11*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr19*, *Lr20*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr30*.
* Virulence analysis was performed using 20 differentiator lines with genes *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr3*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr9*, *Lr11*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr19*, *Lr20*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr30*.

представлены в таблице 3. Согласно всем статистическим индексам, более высокое разнообразие отмечено в 2024 г. Наблюдается тенденция снижения среднего числа аллелей вирулентности в 2025 г. (11.8), по сравнению с 2023–2024 гг. и предыдущим двадцатилетним периодом исследований, где минимальное их число (12) отмечено в 2020 г., а максимальное (15.6) – в 2007 г. Общая динамика снижения вирулентности северо-западной популяции прослеживается с 2019 г. (Gultyayeva et al., 2023).

Согласно индексам генетических дистанций Нея (N) и Роджерса (R) умеренным сходством характеризовались образцы северо-западной популяции патогена в 2024 и 2025 гг. (N = 0.01, R = 0.5) и 2023–2024 гг. (N = 0.06, R = 0.8). Ранее нами были определены временные различия в составе северо-западной популяции между периодами 2001–2010 гг., 2012–2019 гг. и 2020–2021 гг. (Gultyayeva et al., 2023). Провели сравнительный анализ образцов

P. triticina, изученных в 2023–2025 гг. с этими периодами. Следует отметить, что в 2023 г. было проанализировано малое количество изолятов *P. triticina*, что было обусловлено слабым развитием болезни в регионе. Было собрано только два урединиобразца, из которых получено пять монопустульных изолятов. Поскольку изоляты 2023 г. характеризовались сходством с 2024 г., для статистического анализа их объединили в единую выборку.

На сводной многомерной диаграмме изученные коллекции объединились в несколько групп (рис. 2). Высоким сходством характеризовались образцы патогена в 2012–2015 и 2016–2019 гг., и в 2020–2024 гг. Материал 2012–2019 гг. умеренно отличался от образцов 2001–2010 гг. и более существенно – от 2020–2024 гг. Коллекция 2025 г. существенно отличалась от изолятов, выделенных в 2001–2024 гг.

Таблица 3. Внутрипопуляционное разнообразие северо-западной популяции *Puccinia triticina* в 2023–2025 гг.

Table 3. Intrapopulation diversity of the northwestern population of *Puccinia triticina* in 2023–2025

Показатель Parameter	2023	2024	2025	2023–2025
Число изолятов / Number of isolates	5	41	50	96
Число фенотипов / Number of phenotypes	2	13	8	17
Относительное число фенотипов ¹ / Relative number of phenotypes ¹	0.4	0.32	0.16	0.18
Частота доминантного фенотипа, % / Dominant phenotype frequency, %	60	31.7	64	46.9
Число редких фенотипов ² / Number of rare phenotypes ²	0	3	4	5
Среднее число аллелей вирулентности (на фенотип) ³ Mean number of virulence alleles (per phenotype) ³	14.5	12.8	11.7	12.3
Показатели внутрипопуляционного разнообразия: / Intrapopulation diversity indices:				
Индекс Нея / Nei's index, Hs	0.07	0.11	0.06	0.1
Индекс Шеннона / Shannon index, Sh	0.42	0.58	0.34	0.43
Индекс Космана / Kosman index, Kw	0.12	0.14	0.07	0.11

¹ Относительное число фенотипов (relative richness): число фенотипов/ число изолятов.

² Фенотип, представленный одним изолятом.

³ При тестировании на 20 линиях-дифференциаторах.

¹ Relative number of phenotypes (relative richness): number of phenotypes/ number of isolates.

² The phenotype represented by a single isolate.

³ When tested on 20 differentiator lines.

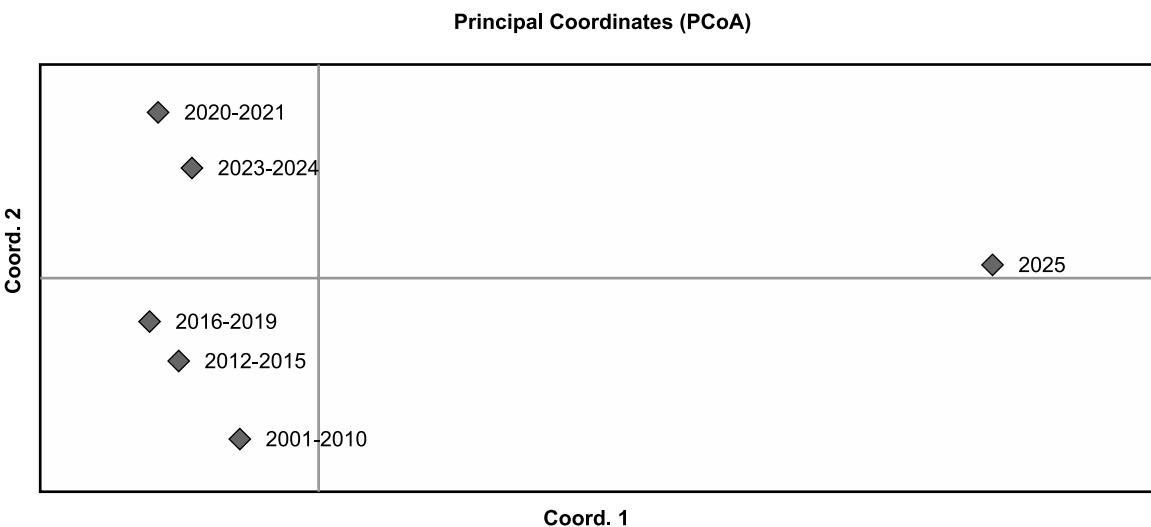


Рисунок 2. Многомерная диаграмма генетических дистанций между образцами северо-западной популяции *Puccinia triticina* по признаку вирулентности в период 2001–2025 гг. (по индексу Fst)

Figure 2. Multidimensional diagram of genetic distances between samples of the northwestern population of *Puccinia triticina* by virulence in the period 2001–2025 (according to the Fst index)

Провели анализ вирулентности образцов *P. triticina*, собранных с пырея в Ленинградской области в 2025 г. Данный инфекционный материал был успешно размножен на восприимчивом сорте мягкой пшеницы Michigan Amber. Анализ монопустульных изолятов; показал, что их вирулентность была сходна с изолятами, полученными с мягкой пшеницы, и все они относились к фенотипу

МФККН, который был обнаружен на мягкой пшенице в 2025 г. (табл. 2). Полученные результаты подтверждают, что пырей и другие дикорастущие злаки могут являться резерватами инфекции *P. triticina* на Северо-Западе и вносить свой вклад в разнообразие региональной популяции патогена.

Заключение

Изучены вирулентность и расовый состав северо-западной популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы в 2023–2025 гг. и проведен анализ ее многолетней изменчивости (2001–2025 гг.). Для популяций ржавчинных грибов известны вариации численности, когда годы умеренного развития болезни сменяются эпифитотиями. Соответственно, популяционные волны, обуславливающие флуктуацию численности популяций патогенов, которые считаются одним из основных эволюционных факторов, могут предопределять изменчивость популяций патогенов по разным признакам, включая вирулентность. Это подтверждается многолетними исследованиями *P. triticina* в Северо-Западном регионе (2000–2025 гг.). Стабильное развитие болезни с перманентными вспышками наблюдали в 2001–2019 гг. Исключением являлись 2010 и 2011 годы, которые характеризовались экстремально высокими температурами. В 2020–2023 гг. на Северо-Западе и в других российских регионах, отмечалось снижение вредности заболевания: оно либо отсутствовало, либо проявлялось локально на отдельных посевах в очень слабой степени. В 2024–2025 гг. зарегистрировано постепенное нарастание распространения болезни. При благоприятных условиях окружающей среды фитосанитарная ситуация с бурой ржавчиной в регионе может измениться в ближайшие годы.

Основная изменчивость северо-западной популяции в 2020–2025 гг. обусловлена уменьшением спектра вирулентности в 2020–х годах по сравнению с предыдущим периодом. Существенно уменьшились частоты вирулентности к линиям *TcLr2a*, *TcLr2b*, *TcLr2c* и *TcLr15*, несмотря на то, что эти гены не представлены в российских сортах

мягкой пшеницы. Отмечаются и значимые изменения фенотипического состава патогена в 2020-х годах. Только четыре фенотипа (расы) текущего периода исследований (2023–2025 гг.) были отмечены в северо-западной популяции в предыдущий 20-летний период исследований. Сравнительный анализ северо-западной популяции в 2001–2025 гг. показал ее стабильную последовательную изменчивость. Популяции 2001–2010 гг. умеренно отличались от популяций 2012–2019 гг. и более значимо – от изученных в 2020–2024 гг. Коллекция 2025 г. существенно отличается от изолятов, выделенных в предыдущие годы исследований.

Показан высокий потенциал эффективности генов *Lr9*, *Lr19*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr42*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53* и *Lr57* для селекции на устойчивость к *P. triticina* в условиях Северо-Запада. Вирулентность гриба к образцам-носителям этих генов не обнаружена. В 2024–2025 гг. в регионе выделены изоляты патогена, вирулентные к ранее высокоэффективному гену *Lr24*. Поскольку сорта с геном *Lr24* на Северо-Западе, а также в соседних российских регионах не возделываются, вирулентные изоляты могли быть занесены с территории Западной Европы, где этот ген утратил эффективность в середине 2010-х годов (Hanzalová et al. 2020).

Анализ образцов *P. triticina*, собранных на пырее, выявил их сходство по вирулентности с образцами патогена на мягкой пшенице. Полученные результаты указывают на то, что пырей и другие злаковые травы могут являться резерватами инфекции бурой ржавчины для посевов мягкой пшеницы на Северо-Западе и вносить свой вклад в разнообразие региональной популяции патогена.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ФГБНУ ВИЗР (рег. № 125031003376-3, тема FGEU-2025-0005).

The research was carried out within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to FSBSI VIZR (state registration No. 125031003376-3, theme No. FGEU-2025-0005).

Библиографический список (References)

- Агапова ВД, Ваганова ОФ, Волкова ГВ (2020) Эффективность ювенильных генов устойчивости к возбудителю бурой ржавчины озимой пшеницы в фазу проростков в условиях юга России. *Международный научно-исследовательский журнал* 8(98):163–167. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.98.8.023>
- Гулятьева ЕИ, Баранова ОА, Дмитриев АП (2009) Вирулентность и структура популяций *Puccinia triticina* в российской федерации в 2007 году. *Вестник защиты растений* 4:33–38
- Гулятьева ЕИ, Гасич ЕЛ, Левитин ММ, Маслова ИВ и др (2017) Болезни зерновых культур и рапса в Северо-Западном регионе в 2016 г. *Защита и карантин растений* 4:27–29
- Гулятьева ЕИ (2018) Генетическая структура популяций *Puccinia triticina* в России и ее изменчивость под влиянием растения-хозяина. *Дисс. ... д.б.н.* Санкт-Петербург. 312 с.
- Гулятьева ЕИ, Солодухина ОВ (2008) Ржавчинные болезни зерновых культур. В сб.: Радченко Е.Е. (ред) Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. М.: РАСХН 5–32
- Ишкова ТИ, Гулятьева ЕИ, Левитин ММ (2004) Грибные болезни зерновых культур на Северо-западе. *Защита и карантин растений* 12:15–18
- Мешкова ЛВ, Россеева ЛП, Коренюк ЕА, Белан ИА (2012) Динамика распространения патотипа возбудителя бурой ржавчины, вирулентного к сортам пшеницы с геном

- Lr9* в Омской области. *Микология и фитопатология* 46(6):397–401
- Сибикеев СН, Конькова ЭА, Салмова МФ (2020) Характеристика вирулентности возбудителя бурой ржавчины мягкой пшеницы в условиях Саратовской области. *Аграрный научный журнал* 9:40–44. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp40-44>
- Сочалова ЛП, Бойко НИ, Потешкина АА, Пискарев ВВ (2023) Эффективные в Новосибирской области гены устойчивости пшеницы к бурой ржавчине в связи с изменчивостью популяции *Puccinia triticina*. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции* 184(2):235–244. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-2-235-244>
- Шпанев АМ, Лаптиев АБ, Гончаров НР, Голубев АС и др (2017) Система интегрированной защиты посевов озимой пшеницы от вредных организмов в Северо-Западном регионе РФ. СПб: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений. 47 с.
- Aboukhaddour R, Fetch T, McCallum BD, Harding MW et al (2020) Wheat diseases on the prairies: a Canadian story. *Plant Pathol* 69(3):418–432. <https://doi.org/10.1111/ppa.13147>
- Gultyaeva E, Gannibal Ph, Shaydayuk E (2023) Long-term studies of wheat leaf rust in the North-Western Region of Russia. *Agriculture* 13(2):255. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020255>
- Gultyaeva EI, Shaydayuk EL, Kosman E (2025) Structural variability of the wheat leaf rust pathogen *Puccinia triticina* in Russia in 2019–2024. *Plant Pathol* 74(7):2150–2161. <https://doi.org/10.1111/ppa.70014>
- Gultyaeva EI, Shaydayuk EL, Kosman E (2020) Regional and temporal differentiation of virulence phenotypes of *Puccinia triticina* Eriks. from common wheat in Russia during the period 2001–2018. *Plant Pathol* 69:860–871. <https://doi.org/10.1111/ppa.13174>
- Hanzalová A, Dumalasová V, Zelba O (2020) Wheat leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) virulence frequency and detection of resistance genes in wheat cultivars registered in the Czech Republic in 2016–2018. *Czech J Genet Plant Breed* 56:87–92. <https://doi.org/10.17221/86/2019-CJGPB>
- Kolmer JA, Fajolu OL (2022) Virulence phenotypes of the wheat leaf rust pathogen, *Puccinia triticina*, in the United States 2018–2020. *Plant Dis* 106(6):1723–1729. <https://doi.org/10.1094/pdis-10-21-2321-re>
- Kosman E, Dinooor A, Herrmann A, Schachtel GA (2008) Virulence Analysis Tool (VAT). User Manual. <https://en-lifesci.tau.ac.il/profile/Kosman> (10.04.2026)
- Long DL, Kolmer JA (1989) A North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. *Phytopathology* 79:525–529
- McCallum BD, Reimer E, McNabb W, Foster A et al (2021) Physiologic specialization of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust, in Canada in 2015–2019. *Can J Plant Pathol* 43:333–346. <https://doi.org/10.1080/07060666.1.2021.1888156>
- McCallum BD, Reimer E, Miranda D, Dionne N et al (2025) Physiologic specialization of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust, in Canada in 2020–2023. *Can J Plant Pathol* 47:54–66. <https://doi.org/10.1080/07060666.2024.2425954>
- McIntosh RA (2025) Wheat Gene Catalogue – Introduction. https://graingenes.org/GG3/sites/default/files/data_downloads/%20Catalogue%20of%20Gene%20Symbols%20for%20Wheat%20-%202017-2024.pdf (10.04.2026)
- McIntosh RA, Wellings CR, Park RF (1995) Wheat rusts. An atlas of resistance genes. CSIRO Australia: Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, the Netherlands.
- Serfling A, Krämer I, Lind V, Schliephake E et al (2011) Diagnostic value of molecular markers for *Lr* genes and characterization of leaf rust resistance of German winter wheat cultivars with regard to the stability of vertical resistance. *Eur J Plant Pathol* 130(4):559–575. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9778-2>

Translation of Russian References

- Agapova VD, Vaganova OF, Volkova GV (2020) [Efficiency of juvenile genes of resistance to the pathogen of leaf rust of winter wheat in the seedling phase under the conditions of the south of Russia]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* 8(98):163–167 (in Russian) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.98.8.023>
- Gultyaeva EI (2018) [Genetic structure of *Puccinia triticina* populations in Russia and its variability under the influence of host plant]. *Doctor of Science Dissertation*. Pushkin-St. Petersburg, Russia: All-Russian Institute of Plant Protection. 312 p (in Russian)
- Gultyaeva EI, Baranova OA, Dmitriev AP (2009) [Virulence and *Puccinia triticina* population structure in the Russian Federation in 2007]. *Vestnik zashchity rasteniy* 4:33–38 (in Russian)
- Gultyaeva EI, Gasich EL, Levitin MM, Maslova IV et al (2017) [Diseases of grain crops and rape in the North-Western region in 2016]. *Zashchita i karantin rasteniy* 4:27–29 (in Russian)
- Gultyaeva EI, Solodukhina OV (2008) [Rust diseases of grain crops]. In: Radchenko EE (eds) [Study of genetic resources of grain crops for resistance to pests]. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences 5–32 (in Russian)
- Ishkova TI, Gultyaeva EI, Levitin MM (2004) [Fungal diseases of grain crops in the Northwest]. *Zashchita i karantin rasteniy* 12:15–18 (in Russian)
- Meshkova LV, Rosseeva LP, Korenyuk EA, Belan IA (2012) Dynamics of distribution of the wheat leaf rust pathotypes virulent to the cultivars with *Lr9* gene in Omsk region. *Mikologiya i fitopatologiya* 46(6):397–401 (in Russian)
- Shpanev AM, Laptyev AB, Goncharov NR, Golubev AS et al (2017) [Integrated system of protection of winter wheat crops from pests in the North-West region of the Russian]. St. Petersburg: All-Russian Research Institute of Plant Protection. 47 p (in Russian)
- Sibikeev SN, Konkova EA, Salmova MF (2020) [Characteristics of the virulence of the causative agent of brown rust of soft wheat in the Saratov region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* 9:40–44 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp40-44>
- Sochalova LP, Boyko NI, Poteshkina AA, Piskarev VV (2023) Effective leaf rust resistance genes of wheat in Novosibirsk Province in connection with the variability of the *Puccinia triticina* population. *Proc Appl Bot Genet Breed* 184(2):235–244 (in Russian) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-2-235-244>

VIRULENCE MONITORING OF THE NORTHWESTERN POPULATION OF *PUCCINIA TRITICINA* IN 2023–2025

E.I. Gultyaeva*, E.L. Shaydayuk

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

*corresponding author, e-mail: eigultyaeva@gmail.com

Leaf rust, caused by *Puccinia triticina*, is a widespread disease of wheat in all regions of Russia, including the North-West. Long-term population-genetic studies of the pathogen make it possible to assess the dynamics of pathogen virulence variability and adjust breeding for resistance strategies. The work aimed to monitor the virulence and race composition of the northwestern population of *P. triticina* in 2023–2025 and to assess its long-term variability dynamics (2001–2025). High effectiveness of genes *Lr9*, *Lr19*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr42*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53* and *Lr57* in the North-West is shown. In 2024–2025, pathogen isolates virulent to carriers of the previously highly effective *Lr24* gene were found. In total, 17 phenotypes (races) were identified in the northwestern population in 2023–2025, and only four of them were recorded in 2000–2023. The long-term variability of the Northwestern population mainly affects the virulence frequency variation of the pathogen to Thatcher lineages by genes *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c* and *Lr15*. It decreased significantly in the 2020s. The northwestern population showed its stable consistent variability in 2001–2025. The 2001–2010 populations differed moderately from 2012–2019 and more significantly from 2020–2024. The 2025 pathogen collection was significantly different from those analyzed previously. Additionally, *P. triticina* collected on wheatgrass in 2025 showed high similarity of virulence to the samples from soft wheat. This confirms that wheatgrass may serve as a reservoir of leaf rust infection for soft wheat crops in the Northwest and contribute to the diversity of the regional pathogen population.

Keywords: leaf rust, virulence, wheat, race composition, *Lr*-genes

Submitted: 12.04.2026

Accepted: 11.06.2026

ФУНГИЦИДНАЯ ЗАЩИТА ПШЕНИЦЫ ОЗИМОЙ ОТ ГРИБА *PYRENOPHORA TRITICI-REPENTIS*

О.Ю. Кремнева*, И.В. Чеботок, К.Э. Гасиян, А.М. Асатурова, Г.В. Волкова, Н.А. Жевнова

Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар

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

Наиболее популярный метод борьбы с болезнями растений, в том числе с желтой пятнистостью листьев пшеницы (возбудитель – *Pyrenophora tritici-repentis*), это использование фунгицидов. Цель данных исследований – изучение эффективности биологических фунгицидов по степени подавления развития *P. tritici-repentis* *in vitro* и в полевых условиях, а также определение их совместимости с синтетическими фунгицидами, имеющими высокую эффективность. В результате полевой оценки биологическая эффективность микробиологических препаратов варьировала от 38% до 57%, химических – от 56% до 98%. Ингибирующая активность микробиологических препаратов была высокой (от 61 до 72%). В результате изучения совместимости биологических и химических фунгицидов, обладающих высокой эффективностью в условиях поля, установлено, что препарат Псевдобактерин-3, Ж на основе штамма бактерий рода *Pseudomonas* оказался совместим со всеми испытанными химическими фунгицидами, кроме Магнелло, КЭ (100 г/л дифеноконазола, 250 г/л тебуконазола). Препараты на основе бактерий рода *Bacillus* показали различную совместимость с синтетическими фунгицидами. Максимальное количество химических препаратов (11 из 14) были совместимы с Фитоспорином М, Ж. Восемь препаратов оказались совместимы с Органика С, Ж. Препараты на основе штаммов грибов рода *Trichoderma* не показали совместимости с изучаемыми синтетическими фунгицидами. Данные результаты могут быть использованы для разработки эффективных интегрированных систем защиты растений от желтой пятнистости листьев пшеницы.

Ключевые слова: пшеница озимая, желтая пятнистость листьев пшеницы, биологические фунгициды, химические фунгициды, совместимость препаратов, эффективность фунгицидов

Поступила в редакцию: 07.07.2026

Принята к печати: 12.08.2026

Введение

Возбудитель желтой пятнистости листьев (гриб *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler) имеет особую экономическую значимость из-за вызываемых им значительных потерь урожая пшеницы не только в регионах Российской Федерации, но и во всех странах возделывания культуры. В последние годы все чаще в литературе приводятся данные о широком распространении болезни в Европе, Азии, Северной и Южной Америке, Африке, а также Австралии (Patel et al., 2012; MacLean et al., 2018; See et al., 2020; Каперс et al., 2024). В России данный патоген распространен во многих регионах: на территории Краснодарского и Ставропольского краев, Башкирии, Курганской, Ленинградской, Новгородской, Омской, Псковской областях, на Алтае, а также Калининградской области и Поволжье (Маркелова, Иванова, 2012; Защепкин и др., 2015; Евсеев, 2018; Мироненко и др., 2019; Kremneva et al., 2021).

По данным Россельхозцентра, опубликованным в «Обзоре фитосанитарного состояния посевов сельхозкультур в РФ и прогноз развития вредных объектов» за 2024–2025 гг., максимальная распространенность заболевания в Южном Федеральном округе достигла 50% (Обзор ..., 2024). На полях южных предгорий Северо-Кавказского региона весеннее распространение патогена в разные годы составляло 90–100%, а развитие 40–50% (Шутко, 2013; Кремнева и др., 2014, 2019; Ким, Волкова, 2020).

В зависимости от способности синтезировать некротрофные эффекторы на основе паттернов вирулентности на

дифференциальном наборе генотипов пшеницы штаммы *P. tritici-repentis* разделяют на восемь рас. Это разнообразие позволяет возбудителю адаптироваться в новых условиях существования, что осложняет проведение защитных мероприятий (Левитин и др., 2019; Кремнева и др., 2019; Мироненко, 2025).

Минимальная обработка почвы с сохранением пораженных растительных остатков, возделывание восприимчивых сортов приводит к накоплению инфекции и увеличению численности популяции (Кремнева и др., 2014; Пономарев и др., 2022).

Наиболее популярным методом борьбы с болезнями растений, в том числе и с желтой пятнистостью, является использование фунгицидов, относящихся к разным химическим группам. Несмотря на то, что в ассортимент рынка отечественных пестицидов постоянно происходит внедрение новых фунгицидов, отвечающих предъявляемым на сегодняшний день экотоксикологическим требованиям, химическая нагрузка на экосистемы остается также большой (Долженко и др., 2021; Гришечкина и др., 2022).

Известно, что химические препараты способны подавлять развитие не только вредных, но и полезных организмов, вследствие неизбирательности своего действия, а также загрязнять окружающую среду в результате нерегламентированного использования (Азизбекян, 2013; Maksimov et al., 2018). Многократное применение химических фунгицидов может привести к развитию резистентности

патогенов, что со временем еще больше ограничивает их эффективность (Mehamdiaa et al., 2020; Ayilara et al., 2023).

Учитывая глобальную тенденцию экологизации сельскохозяйственной продукции, важно уменьшить зависимость от химических фунгицидов, заменяя их микробиологическими препаратами. Применение биологических фунгицидов может рассматриваться не только в качестве альтернативы химическим пестицидам, но и как важный элемент интегрированной системы защиты растений, призванный существенно снизить применение химических средств (Тимофеева и др., 2011; Жевнова и др., 2018).

Против возбудителя желтой пятнистости листьев пшеницы зарегистрировано 69 химических действующих веществ (Макаренко, 2025). Химические препараты, которые зарегистрированы против *P. tritici-repentis*, относятся в основном к следующим соединениям: триазолы, бензоимидазолы, карбоксамиды. Зарегистрированных на пшенице озимой биологических препаратов против желтой пятнистости на территории РФ нет. Однако против других пятнистостей листьев зерновых имеются зарегистрированные препараты на основе штаммов микроорганизмов

рода *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Trichoderma* и др. (Реестр..., 2026). Также имеется ряд зарубежных и российских исследований, показывающих эффективность использования микроорганизмов в борьбе с *P. tritici-repentis* (Perelló et al., 2007; Khana et al., 2010; Кремнева и др., 2013; Kremneva et al., 2015; Larran et al., 2016; Асатурова и др. 2019, 2024; Asaturova et al., 2022; El-Saadonyet al., 2022).

Эффективность совместного использования биологических препаратов с химическими во многом зависит от совместимости биологической составляющей и химического действующего вещества (Тимофеева, 2011; Жевнова, 2018). Поэтому важный этап при составлении интегрированных систем защитных мероприятий является оценка совместимости пестицидов разной природы.

Целью данных исследований являлось изучение эффективности биологических фунгицидов по степени подавления развития *P. tritici-repentis in vitro* и в полевых условиях, определение их совместимости с химическими фунгицидами, показавшими высокую эффективность.

Материалы и методы

Лабораторные и полевые эксперименты проводили на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР), расположенного в центральной зоне Краснодарского края. В исследованиях использованы штаммы из биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» (<https://fncbzt.ru/brk-i-unu/unique-installation-1/>).

Изучение антагонистической активности биологических препаратов в отношении *P. tritici-repentis in vitro*

В лабораторных условиях *in vitro* проводили оценку микробиологических препаратов, проявляющих

антагонизм в отношении возбудителя желтой пятнистости листьев пшеницы.

Объектом исследований являлась тест культура *P. tritici-repentis* (Ptr), изолят Кг-05/2024, выделенная из пораженных образцов листьев восприимчивого сорта Алексеев и отнесенный к 8 расе, наиболее широко распространенной в южных регионах России (Кремнева, 2019).

Для изучения антагонистической активности *in vitro* были испытаны биологические фунгициды на основе разных штаммов микроорганизмов, зарегистрированные против пятнистостей на зерновых культурах на территории Российской Федерации (таблица 1) (Реестр ..., 2026).

Таблица 1. Биологические фунгициды, используемые в опыте

№	Название	Норма применения	Штамм-производитель препарата	Компания производитель
1	Органика Ф, Ж	1 л/га	<i>Trichoderma asperellum</i> , штамм OPF-19	ООО «ОРГАНИК ПАРК»
2	Псевдобактерин-3, Ж	1 л/га	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> , штамм ВКМ В-2391Д	ООО «ОРГАНИК ПАРК»
3	Системика М, Ж	1 л/га	<i>Bacillus mojavensis</i> , штамм PS 17	ООО «ОРГАНИК ПАРК»
4	Органика С, Ж	1 л/га	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , штамм OPS-32	ООО «ОРГАНИК ПАРК»
5	Стернифог, СП	80 г/га	<i>Trichoderma harzianum</i> , штамм ВКМ F-4099D	ООО УК «АБТ-ГРУПП»
6	Алирин-Б, Ж	2 л/га	<i>Bacillus subtilis</i> , штамм В-10 ВИЗР	ООО УК «АБТ-ГРУПП»
7	Витаплан, СП	20 г/т	<i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ-В-2604D, <i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ-В-2605D	ООО УК «АБТ-ГРУПП»
8	Фитоспорин М, Ж	1 л/га	<i>Bacillus subtilis</i> , штамм 26 Д	ООО «НВП «БашиИнком»

Table 1. Biological fungicides used in the experiment

№	Name	Application rate	Producer strain	Manufacturing company
1	Organica F, L	1 l/ha	<i>Trichoderma asperellum</i> , strain OPF-19	LLC «Organic Park»
2	Pseudobacterin-3, L	1 l/ha	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> , strain VKM B-2391D	LLC «Organic Park»
3	Systemica M, L	1 l/ha	<i>Bacillus mojavensis</i> , strain PS 17	LLC «Organic Park»
4	Organica C, L	1 l/ha	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , strain OPS-32	LLC «Organic Park»
5	Sternifag, WP	80 g/ha	<i>Trichoderma harzianum</i> , strain VKM F-4099D	LLC UK «ABT-GRUPP»
6	Alirin-B, L	2 l/ha	<i>Bacillus subtilis</i> , strain B-10 VIZR	LLC UK «ABT-GRUPP»
7	Vitaplan, WP	20 g/t	<i>Bacillus subtilis</i> , strain VKM-B-2604D <i>Bacillus subtilis</i> , strain VKM-B-2605D	LLC UK «ABT-GRUPP»
8	Phytopsporin M, L	1 l/ha	<i>Bacillus subtilis</i> , strain 26 D	LLC «NBP BashIncom»

Определение антагонистической активности биопрепаратов проводили методом двойных (встречных) культур (Ваксман, 1947; Егоров, 1957) на картофельно-глюкозном агаре (КГА). Культуры инкубировали в течение 20 дней при температуре + 28 °С. Контроль – чистая культура патогенного гриба без антагониста. Учеты проводили на 5-е, 10-е, 15-е и 20-е сутки. Отмечали характер взаимоотношений гриба *P. tritici-repentis* и биопрепаратов: наличие или отсутствие зоны ингибирования, их размер, изменение цвета, плотности, толщины и направления роста мицелия патогена.

Степень ингибирования роста мицелия патогена определяли по формуле (Montealegre et al., 2003):

$$И = (1 - (A/B)) \times 100,$$

где И – ингибирование, %; А – рост гриба в варианте; В – рост гриба в контроле.

Оценка эффективности химических и биологических фунгицидов в полевых условиях

Оценку эффективности химических фунгицидов проводили в период с 2012 по 2019 гг., биологических – 2014–2015 гг., 2023–2024 гг. на опытных полях ФГБНУ ФНЦБЗР. Учеты и наблюдения осуществляли согласно «Методическим указаниям по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве» (2009). В экспериментах были использованы восприимчивые к патогену сорта пшеницы озимой, развитие болезни на которых может превышать 20% (Матвеева и др., 2018; Kremneva, 2021): Краснодарская 99 (2012–2015 гг.), Калым (2014 г.), Батько (2015–2016 гг.), Гром (2016–2019 гг.), Алексеич (2023–2024 гг.), широко возделываемые на юге России, в том числе и в Краснодарском крае. Обработки проводили 1 и 2-кратно. Первую обработку проводили при появлении первых признаков заболевания в фазу выхода в трубку – флаг лист (Z 35–37) степень развития не превышала 1–3%; вторую – в фазу колошения (Z 51–59). Степень развития болезни учитывали на искусственном инфекционном фоне в фазу максимального развития в период молочно-восковой спелости зерна GS 75–80 по модифицированной шкале (Волкова и др., 2012).

В таблице 2 представлены химические фунгициды из разных классов, эффективность которых изучалась в полевых условиях в отношении *P. tritici-repentis* с 2012 по 2019 гг.

Изучение совместимости биологических и химических фунгицидов *in vitro*

В исследование были взяты биологические и химические фунгициды, показавшие эффективность в подавлении патогена *P. tritici-repentis* как в лабораторных, так и в полевых условиях (таблица 1 и 2). Также в исследования были взяты новые химические фунгициды (таблица 3), высокая эффективность (70–90%) которых в отношении патогена была показана Макаренко В.В. и соавторами (2020, 2023, 2025).

Совместимость изучаемых препаратов определяли модифицированным методом диффузии в агар (Маслиенко, 1999). Мясопептонный агар (МПА) использовали для вариантов с биопрепаратами на основе штаммов бактерий родов *Bacillus* и *Pseudomonas*, КГА использовали в вариантах с биопрепаратами на основе грибов рода *Trichoderma*.

В центре чашки Петри (ЧП) с питательной средой делали лунки диаметром 0.8 мм специальным сверлом-пробойником, куда вносили 0.1 мл необходимого химического препарата в рабочей концентрации. Для определения совместимости лунку делали в центре, а биопрепарат наносили радиальным штрихом по направлению от края лунки с внесенным химическим препаратом к краю ЧП. О совместимости препаратов судили по наличию зон ингибирования, изменению морфологии штамма-продуцента в составе биопрепаратов (Маслиенко, 1999).

Учеты проводили на 5-е и 7-е сутки совместного культивирования. При необходимости делали замеры зон ингибирования фунгицидов. Если зона ингибирования отсутствовала препараты считались совместимыми, если зона ингибирования составляла 1–3 мм – частично совместимыми, более 3 мм – несовместимыми (Тимофеева, 2011; Жевнова, 2022).

Таблица 2. Химические фунгициды, эффективность которых изучена в отношении *Pyrenophora tritici-repentis* в полевых условиях (2012–2019 гг.)

№	Название	Норма применения, л/га	Действующее вещество	Химический класс	Годы испытаний
1	Альто Супер, КЭ	0.5	250 г/л пропиконазола + 80 г/л ципроконазола	Триазолы + Триазолы	2012–2014
2	Амистар Трио, КЭ	1.0	125 г/л пропиконазола + 100 г/л азоксистробина + 30 г/л ципроконазола	Триазолы + метоксиакрилаты + Триазолы	2012–2014
3	Фалькон, КЭ	0.6	250 г/л спирокарбама + 167 г/л тебуконазола + 43 г/л триадименол	Морфолины + Триазолы + Триазолы	2012–2016
4	Прозаро, КЭ	0.8–1.0	125 г/л пропиконазола + 125 г/л тебуконазола	Триазолы + Триазолы	2014–2015
5	Амистар Экстра, СК	0.5–1.0	200 г/л азоксистробина + 80 г/л ципроконазола	Метоксиакрилаты + Триазолы	2016–2018
6	Тебаз Про, СК	1.0	200 г/л азоксистробина + 250 г/л тебуконазола	Метоксиакрилаты + Триазолы	2017–2018
7	Венто, КС	0.8	140 г/л тебуконазола + 125 г/л крезоксим-метила + 116 г/л эпоксиконазола	Триазолы + Стробилурины + Триазолы	2018–2019
8	Магнелло, КЭ	1.0	100 г/л дифеноконазола + 250 г/л тебуконазола	Дифениловые эфиры + Триазолы	2018–2019

Table 2. Chemical fungicides tested against *Pyrenophora tritici-repentis* in field conditions (2012–2019)

№	Name	Application rate, l/ha	Active ingredients	Chemical classes	Years of Trials
1	Alto Super, EC	0.5	250 g/l propiconazole + 80 g/l cyproconazole	Triazoles + Triazoles	2012–2014
2	Amistar Trio, EC	1.0	125 g/l propiconazole + 100 g/l azoxystrobin + 30 g/l cyproconazole	Triazoles + methoxyacrylates + Triazoles	2012–2014
3	Falkon, EC	0.6	250 g/l spiroxamine + 167 g/l tebuconazole + 43 g/l triadimenol	Morpholines + Triazoles + Triazoles	2012–2016
4	Prosaro, EC	0.8–1.0	125 g/l propiconazole + 125 g/l tebuconazole	Triazoles + Triazoles	2014–2015
5	Amistar Extra, SK	0.5–1.0	200 g/l azoxystrobin + 80 g/l cyproconazole	Methoxyacrylates + Triazoles	2016–2018
6	Tebaz Pro, SR	1.0	200 g/l azoxystrobin + 250 g/l tebuconazole	Methoxyacrylates + Triazoles	2017–2018
7	Vento, SK	0.8	140 g/l tebuconazole + 125 g/l kresoxim-methyl + 116 g/l epoxiconazole	Triazoles + Strobilurins + Triazoles	2018–2019
8	Magnello, EC	1.0	100 g/l difenoconazole + 250 g/l tebuconazole	Diphenyl ethers + Triazoles	2018–2019

Таблица 3. Химические фунгициды, включённые в исследование совместимости с биологическими фунгицидами, предварительно показавшие высокую эффективность в полевых условиях против *Pyrenophora tritici-repentis* (по данным Макаренко и др., 2020, 2023, 2025)

№	Название	Норма применения, л/га	Действующее вещество	Химический класс
1	Альтазол Форте, КЭ	0.3–0.6	300 г/л пропиконазол + 200 г/л тебуконазол	Триазолы + Триазолы
2	Каюнис, КЭ	0.6–1.0	75 г/л бикафен + 150 г/л спирокамин + 100 г/л трифлуксистробин	Карбоксамиды + Спирокеталамины + Стробилурины
3	Квейк 112,5 Нео, КЭ	1.75	50 г/л фенпикоксамид + 62.5 г/л пираклостробин	Ацилоксиметилловый эфир (производные) + Стробилурины
4	Кобальт, КМЭ	0.25–0.4	400 г/л пропиконазол	Триазолы
5	Миравис Нео, СЭ	0.5–1.0	125 г/л пропиконазол + 100 г/л азоксистробин + 75 г/л пидифлуметофен	Триазолы + Антибиотические препараты + Пиразолкарбоксамиды
6	Балая, КЭ	0.6–0.8	100 г/л мепентрифлуконазол + 100 г/л Пираклостробин	Триазолы + Стробилурины

Table 3. Chemical fungicides used to compare compatibility with biological fungicides, which have previously shown high effectiveness in the field against *Pyrenophora tritici-repentis* (according to Makarenko et al., 2020, 2023, 2025)

№	Name	Application rate, l/ha	Active ingredients	Chemical classes
1	Altazol Forte, EK	0.3–0.6	300 g/l propiconazole + 200 g/l tebuconazole	Triazoles + Triazoles
2	Cajunis, EK	0.6–1.0	75 g/l bixafen + 150 g/l spiroxamine + 100 g/l trifloxystrobin	Carboxamides + Spiroketalamins + Strobilurins
3	Quake 112,5 Neo, EK	1.75	50 g/l fenpicoxamide + 62.5 g/l pyraclostrobin	Acyloxymethyl ether (derivatives) + Strobilurins
4	Cobalt, EMK	0.25–0.4	400 g/l propiconazole	Triazoles
5	Miravis Neo, SE	0.5–1.0	125 g/l propiconazole + 100 g/l azoxystrobin + 75 g/l pydiflumetofen	Triazoles + Antibiotics + Pyrazole Carboxamides
6	Balaya, EK	0.6–0.8	100 g/l mefentrifluconazole + 100 g/l pyraclostrobin	Triazoles + Strobilurins

Результаты

Антагонистическая активность биологических препаратов в отношении *P. tritici-repentis* in vitro

В таблице 4 и на рисунке 1 представлены результаты измерения активности микроорганизмов, входящих в состав биопрепаратов: диаметр зоны ингибирования и степень подавления роста мицелия патогена.

В результате проведенной оценки восьми микробиологических препаратов по признаку активности против *P. tritici-repentis*, большая часть фунгицидов проявила очень высокую ингибирующую активность (от 60.8 до 72.1%), препарат Псевдобактерин также обладал достаточной активностью – 43.8% (рисунок 1).

Таким образом, все испытанные фунгициды можно рассматривать в качестве потенциальных для контроля возбудителя желтой пятнистости листьев на посевах пшеницы.

Оценка эффективности химических фунгицидов в полевых условиях

Степень развития болезни на пшенице в фазу молочно-восковой спелости (Z 75–80) на контрольных вариантах (необработанных фунгицидами) на искусственном инфекционном фоне составляла: в 2013–2015 гг. на сорте Краснодарская 99.0 – 33.3%, 25.0% и 30.0%, соответственно; в 2014 г. на сорте Калым – 28.0%, в 2015, 2016 гг. на сорте Батько – 25.0% и 21.5%, соответственно; в 2017–2019 гг. на сорте Гром – 33.0%, 24.7% и 27.5%, соответственно.

На рисунке 2 представлены средние значения биологической эффективности химических фунгицидов в

отношении *P. tritici-repentis* в полевых условиях за годы исследований.

В результате испытаний фунгициды проявили значительную биологическую эффективность на высоком фоне развития болезни. Биологическая эффективность испытанных препаратов отличалась при однократной и двукратной обработках. При однократном применении в фазу колошения (Z51–59) большая часть испытанных препаратов, за исключением Альто Супер, КЭ, Амистар Трио, КЭ и Прорзаро, КЭ, показала эффективность от 80.0% до 91.4%. При двукратной обработке максимальная эффективность – 97.7% была отмечена для препарата Магнелло, КЭ. Препараты Прозаро, КЭ и Амистар Экстра, СК также показали высокую эффективность – 92.4% и 89.2%, соответственно. Различия по эффективности препаратов могут быть обусловлены как способом действия химических соединений, входящих в состав препаратов, так и фунготоксичностью действующих веществ, их поведением при проникновении в растение (Волкова и др., 2015).

Оценка эффективности биологических фунгицидов в полевых условиях

Изучение эффективности биологических препаратов: Алирин Б, Ж, Витаплан, СП, Бактофит, СК, Гамаир, СП, Фитоспорин М, Ж, Трихоцин, СП, Глиаклодин Ж при двукратной обработке в условиях поля по отношению к *P. tritici-repentis* проводили в 2014–2015 гг. на пшенице озимой сортов Восторг и Калым, соответственно. Эффективность препаратов: Псевдобактерин – 3, Ж, Оргамика С, Ж,

Таблица 4. Антагонистическая активность различных биопрепаратов по отношению к патогену *Pyrenophora tritici-repentis* в лабораторных условиях на КГА

Биопрепарат	Диаметр зоны ингибирования, мм			Ингибирование роста мицелия, %		
	5-е сут.	10-е сут.	15-е сут.	5-е сут.	10-е сут.	15-е сут.
Оргамика С, Ж	19.7±0.6	23.0±2.6	22.3±2.5	28.9	58.9	72.1
Системика М, Ж	20.0±0.0	25.0±1.0	23.3±2.9	27.7	55.4	70.8
Оргамика Ф, Ж	22.7±4.9	24.7±9.1	23.3±7.3	18.1	56.0	70.8
Алирин-Б, Ж	20.3±0.6	25.0±2.0	26.0±1.7	26.5	55.4	67.5
Витаплан, СП	21.0±6.4	25.0±12.5	27.3±14.2	24.1	55.4	65.8
Фитоспорин М, Ж	22.3±1.2	28.7±1.5	27.3±2.5	19.3	48.8	65.8
Стернифог, СП	25.7±1.2	28.3±2.9	31.3±5.5	7.2	49.4	60.8
Псевдобактерин-3, Ж	27.0±1.0	39.0±1.0	45.0±0.0	3.0	30.4	43.8
Контроль <i>P. tr</i>	27.7±2.1	56.0±2.3	80.0±0.0	-	-	-

Примечание: в таблице представлены средние величины по трем повторностям и стандартное отклонение

Table 4. Antagonistic activity of various biopreparations against the pathogen *Pyrenophora tritici-repentis* in laboratory conditions on potato glucose agar

Biopreparation	Inhibition zone diameter, mm			Inhibition of mycelial growth, %		
	5 dpi	10 dpi	15 dpi	5 dpi	10 dpi	15- dpi
Orgamika C, L	19.7±0.6	23.0±2.6	22.3±2.5	28.9	58.9	72.1
Systemica M, L	20.0±0.0	25.0±1.0	23.3±2.9	27.7	55.4	70.8
Orgamika F, L	22.7±4.9	24.7±9.1	23.3±7.3	18.1	56.0	70.8
Alirin B, L	20.3±0.6	25.0±2.0	26.0±1.7	26.5	55.4	67.5
Vitaplan, WP	21.0±6.4	25.0±12.5	27.3±14.2	24.1	55.4	65.8
Fitosporin M, L	22.3±1.2	28.7±1.5	27.3±2.5	19.3	48.8	65.8
Sternifag, WP	25.7±1.2	28.3±2.9	31.3±5.5	7.2	49.4	60.8
Pseudobacterin-3, L	27.0±1.0	39.0±1.0	45.0±0.0	3.0	30.4	43.8
Control <i>P. tr</i>	27.7±2.1	56±2.3	80±0.0	-	-	-

Note: The table shows the mean values for three replicates and the standard deviation

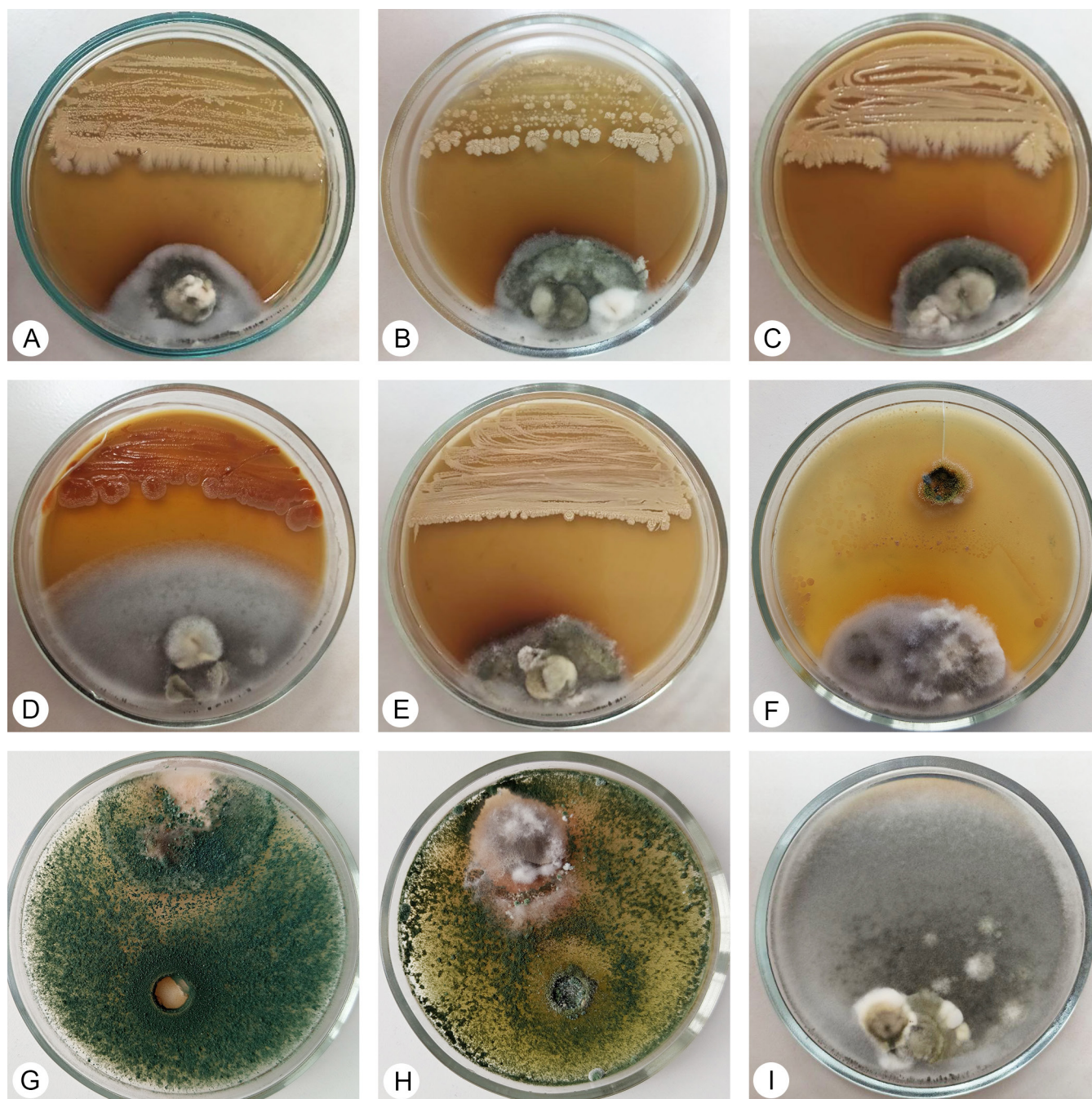


Рисунок 1. Антагонистическая активность различных биопрепаратов в отношении гриба *Pyrenophora tritici-repentis* в лабораторных условиях *in vitro* на КГА: **А** – *P. tritici-repentis* + Фитоспорин, **Б** – *P. tritici-repentis* + Алирин-Б, **С** – *P. tritici-repentis* + Системика М, **Д** – *P. tritici-repentis* + Псевдобактерин, **Е** – *P. tritici-repentis* + Оргамика М, **Ф** – *P. tritici-repentis* + Витоплан, **Г** – *P. tritici-repentis* + Оргамика Ф, **Н** – *P. tritici-repentis* + Стернифаг, **И** – Контроль (чистая культура *P. tritici-repentis*)

Figure 1. Antagonistic activity of various biopreparations against the fungus *Pyrenophora tritici-repentis* in laboratory conditions *in vitro* on potato glucose agar: **A** – *P. tritici-repentis* + Fitosporin M, **B** – *P. tritici-repentis* + Alirin-B, **C** – *P. tritici-repentis* + Systemica M, **D** – *P. tritici-repentis* + Pseudobacterin-3, **E** – *P. tritici-repentis* + Orgamika M, **F** – *P. tritici-repentis* + Vitoplan, **G** – *P. tritici-repentis* + Orgamika F, **H** – *P. tritici-repentis* + Sternifag, **I** – Control (*P. tritici-repentis*)

Оргамика Ф, Ж, Системика М, Ж изучали в 2023–2024 гг. на сортах Алексеич и Гром. Развитие болезни в контрольном варианте на сорте Восторг составляло 21.0%, на сорте Калым 27.1%, соответственно в 2014 г. и 2015 г.; на сорте Алексеич – 7.7% (2023 г.); на сорте Гром – 10.8% (2024 г.).

Эффективность биологических фунгицидов в полевых условиях в отношении возбудителя желтой пятнистости листьев представлена на рисунке 3.

Большая часть изученных препаратов показала эффективность от 46.6% до 56.6% при двукратной обработке против возбудителя желтой пятнистости листьев пшеницы. Препарат Гамаир, СП оказался менее эффективным (37.5%).

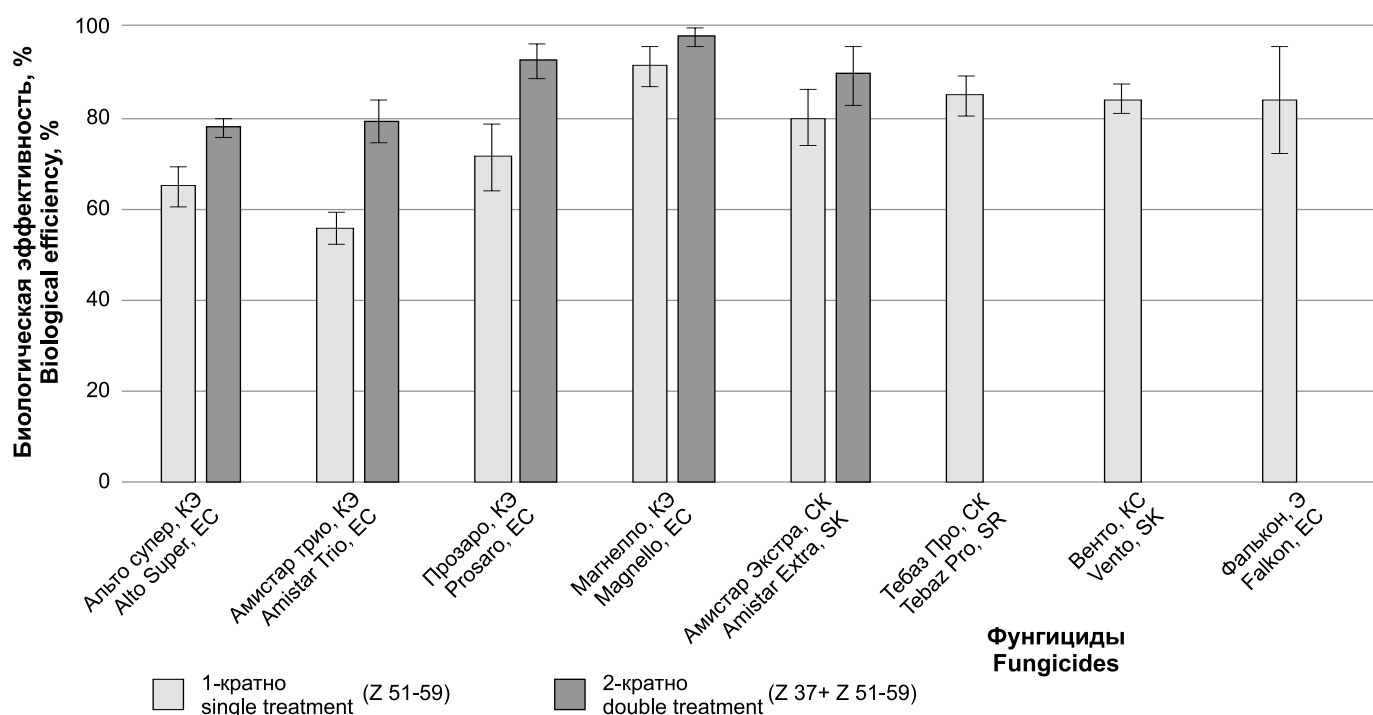


Рисунок 2. Биологическая эффективность химических фунгицидов в отношении *Pyrenophora tritici-repentis* (среднее за несколько лет)

Figure 2. Biological effectiveness of chemical fungicides against *Pyrenophora tritici-repentis* (average over the years of research)

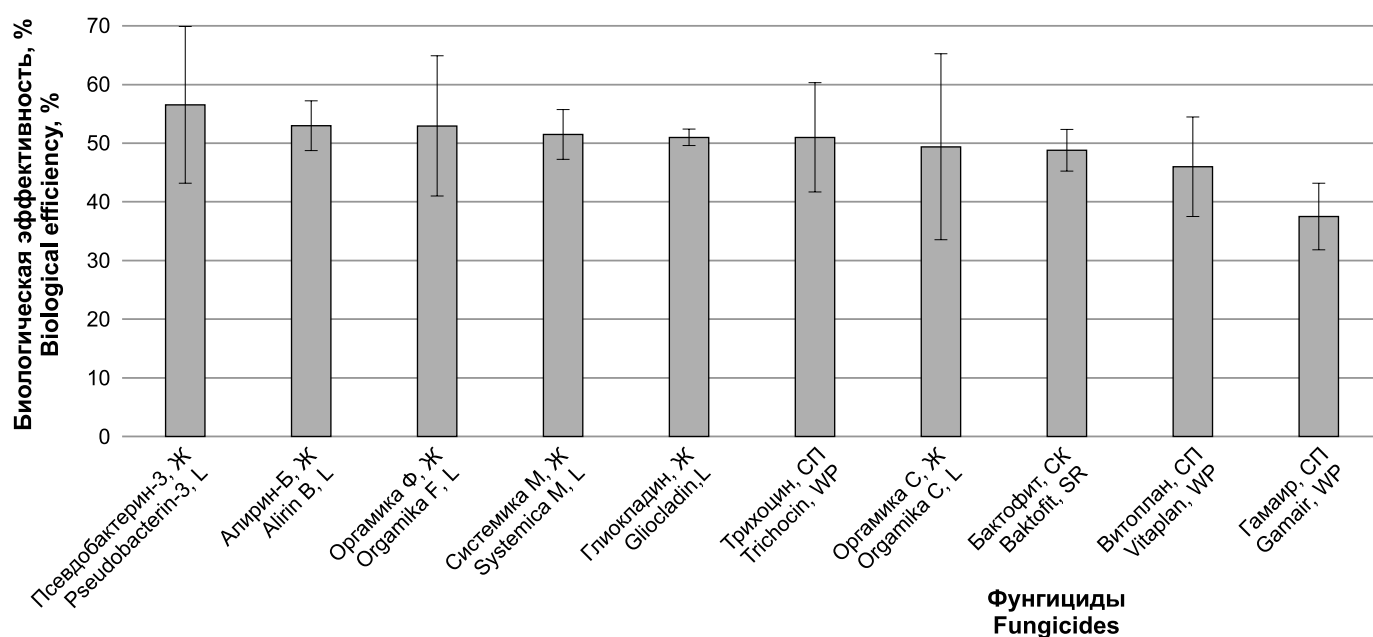


Рисунок 3. Биологическая эффективность биологических фунгицидов в отношении *Pyrenophora tritici-repentis* (среднее за годы исследований, 2014–2015 гг., 2023–2024 гг.)

Figure 3. Biological effectiveness of biological fungicides against *Pyrenophora tritici-repentis* (average over the years of research)

Изучение совместимости химических и биологических фунгицидов *in vitro*

Для разработки эффективных интегрированных систем защитных мероприятий от фитопатогенов важным элементом является оценка индивидуальной чувствительности и совместимости микроорганизмов, на основе которых разработаны препараты, с химическими пестицидами различных классов. Для исследования были взяты биологические препараты, которые показали высокую

ингибирующую активность в отношении гриба *in vitro* и химические пестициды различных химических групп, показавшие биологическую эффективность в условиях поля. Всего протестировали 14 химических и 8 биологических фунгицидов. Результаты совместимости препаратов представлены в таблице 5.

Установлено, что биологический препарат Псевдобактерин-3 на основе штамма рода *Pseudomonas* оказался совместим со всеми испытанными химическими

Таблица 5. Совместимость химических и биологических фунгицидов *in vitro*

Химические препараты	Биологические препараты							
	Псевдобактерин -3, Ж	Фитоспорин М, Ж	Органика С, Ж	Системика М, Ж	Алирин-Б, Ж	Виталплан, СП	Органика Ф, Ж	Стернифог, СП
Альтазол Форте, КЭ	+	+	-	-	-	-	-	-
Альто Супер, КЭ	+	+	+	±	+	+	-	-
Амистар Трио, КЭ	+	+	+	+	+	-	-	-
Амистар Экстра, СК	+	+	+	+	+	-	-	-
Балая, КЭ	+	-	-	±	-	-	-	-
Венто, КС	+	+	+	-	±	+	-	-
Каюнис, КЭ	+	+	+	-	+	-	-	-
Квейк 112,5 Нео	+	+	±	-	+	-	-	-
Кобальт, КМЭ	+	+	+	+	±	±	-	-
Магнелло, КЭ	-	-	±	-	-	±	-	-
Миравис Нео, СЭ	+	-	+	+	+	-	-	-
Прозаро, КЭ	+	+	-	-	-	+	-	-
Тебаз Про, СК	+	+	+	+	±	+	-	-
Фалькон, КЭ	+	+	-	-	-	-	-	-

Примечания: + совместимость; - не совместимость; ± частичная совместимость.

Table 5. Compatibility of chemical and biological fungicides *in vitro*

Chemicals prepares	Biological prepares							
	Pseudobacterin-3, L	Fitosporin M, L	Orgamika C, L	Systemica M, L	Alirin -B, L	Vitalplan, WP	Orgamika F, L	Sternifag, WP
Altazol Forte, EC	+	+	-	-	-	-	-	-
Alto Super, EC	+	+	+	±	+	+	-	-
Amistar Trio, EC	+	+	+	+	+	-	-	-
Amistar Extra, SK	+	+	+	+	+	-	-	-
Balaya, EC	+	-	-	±	-	-	-	-
Vento, SK	+	+	+	-	±	+	-	-
Cajunis, EC	+	+	+	-	+	-	-	-
Quake 112,5 Neo, EK	+	+	±	-	+	-	-	-
Cobalt, EMK	+	+	+	+	±	±	-	-
Magnello, EC	-	-	±	-	-	±	-	-
Miravis Neo, SE	+	-	+	+	+	-	-	-
Prozaro, EC	+	+	-	-	-	+	-	-
Tebaz Pro, EC	+	+	+	+	±	+	-	-
Falcon, EC	+	+	-	-	-	-	-	-

Note: + compatibility; - incompatibility; ± partial compatibility.

фунгицидами, кроме Магнелло, КЭ. Препараты на основе микроорганизмов рода *Bacillus* показали различную совместимость к химическим фунгицидам: максимальное количество химических препаратов – 11 из 14 были совместимы с Фитоспорином М, 8 препаратов – с Органика С, препараты на основе штаммов грибов рода *Trichoderma* не показали совместимости с изучаемыми химическими фунгицидами. В ЧП наблюдалась выраженная зона изменения роста вокруг лунки – буро-оранжевые участки, снижение зелёного спороношения, деформация края колонии.

Среди химических препаратов из разных классов совместимость была в основном к 2–5 биопрепаратам. Исключением был препарат Магнелло, КЭ, который не показал полной совместимости ни с одним из изученных биологических фунгицидов.

В качестве примера на рисунках 4–6 показана совместимость препарата Фитоспорин М, Системика М, Стернифог, СП.

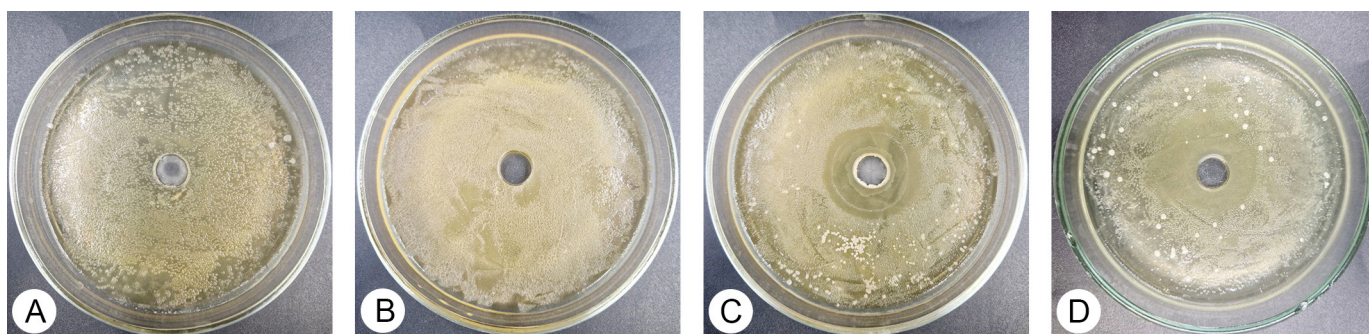


Рисунок 4. Совместимость биологического препарата Фитоспорин М с химическими фунгицидами: **А** – Амистар Экстра; **В** – Кобальт, КМЭ; отсутствие совместимости Фитоспорин М: **С** – Миравис Нео, СЭ; **Д** – Магнелло, КЭ

Figure 4. Compatibility of the biological fungicide Fitosporin M with chemical fungicides: **A** – Amistar Extra; **B** – Cobalt, KME; no compatibility Fitosporin M: **C** – Miravis Neo, SE; **D** – Magnello, EC

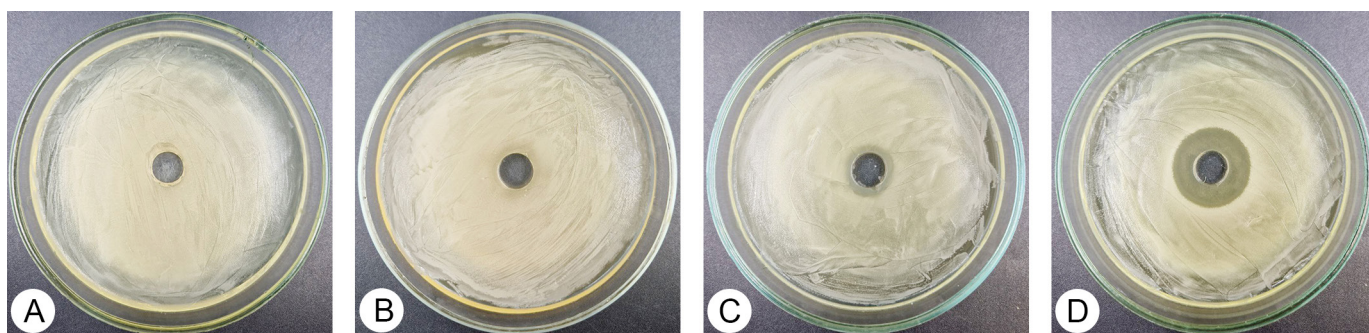


Рисунок 5. Совместимость биологического препарата Системика М с химическими фунгицидами: **А** – Амистар Экстра; **В** – Амистар Трио КЭ; частичная совместимость: **С** – Альто Супер, КЭ; отсутствие совместимости: **Д** – Магнелло, КЭ

Figure 5. Compatibility of the biological drug Systemica M: **A** – Amistar Extra; **B** – Amistar Trio EC; partial compatibility: **C** – Alto Super, EC; no compatibility: **D** – Magnello, EC

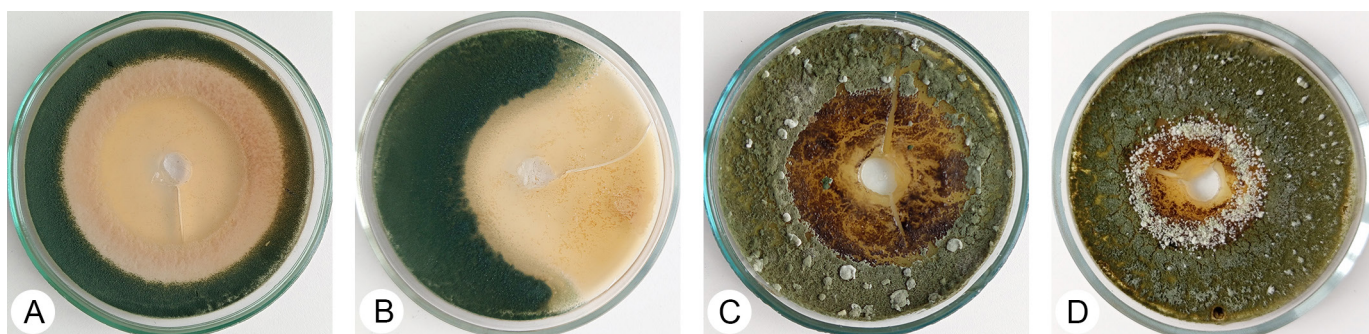


Рисунок 6. Отсутствие совместимости биологического препарата Оргамика Ф: **А** – Альто Супер; **В** – Амистар Экстра; биологического препарата Стернифог: **С** – Альто Супер, **Д** – Каюнис, КЭ

Figure 6. Incompatibility of the biological fungicide Orgamika F with chemical fungicides: **A** – Alto Super; **B** – Amistar Extra; the biological product Sternifag: **C** – Alto Super, **D** – Cajunis, EC

Обсуждение

В наших исследованиях показана эффективность применения химических фунгицидов из разных классов против возбудителя желтой пятнистости листьев пшеницы в условиях поля. Препараты из химических классов триазолы, стробилурины, дефиниловые эфиры, на основе таких действующих веществ как азоксистробин, ципроконазол, протиконазол, тебуконазол, дифеноконазол и др. показали наилучшую эффективность к *P. tritici-repentis* – более 90% при двукратном внесении. Наши результаты хорошо согласуются с данными, полученными В.А. Павлюшиным с соавторами (2015) и Л.Д. Гришечкиной (2018), которые показали в своих исследованиях, что среди фунгицидов

для обработки зерновых культур в период вегетации доминирующее положение занимают препараты на основе триазоловых соединений, обеспечивающие надежную защиту пшеницы от многих фитопатогенов, в том числе и от желтой пятнистости листьев. В зарубежных работах также показано, что для успешной борьбы с *P. tritici-repentis* используются фунгициды на основе пропиконазола, тебуконазола, пираклостробина и азоксистробина из классов триазолов, стробилуринов, стимуляторов роста и антибиотиков (Patel et al., 2012; Salam et al., 2013; Sautua, Carmona, 2021). Наибольшую эффективность обеспечивают комбинированные препараты за счет усиления их

биоцидной активности и расширения спектра подавляемых фитопатогенов (Гришечкина, 2018).

Длительное и нерегламентированное использование синтетических фунгицидов может иметь негативное последствие из-за эффекта накопления их в окружающей среде и низкой биоразлагаемости. Это может привести к загрязнению окружающей среды, вызывая хронические заболевания человека, истощение озонового слоя, остаточную токсичность и вред для нецелевых организмов (Deres, Diriba, 2023). Методы биоконтроля ценятся благодаря своим уникальным характеристикам, таким как безопасность и простота применения (Rajapakse et al., 2016).

В наших исследованиях показана эффективность биологических препаратов на основе разных микроорганизмов против *P. tritici-repentis* в полевых условиях. Фунгициды на основе некоторых штаммов бактерий *B. subtilis*, *B. mojavensis* и *P. aureofaciens* показали эффективность от 48.0% до 56.5% на умеренном инфекционном фоне (развитие болезни варьировало от 7.7% до 27.0%). Грибные фунгициды на основе штаммов *T. asperellum* и *T. harzianum* показали также высокую эффективность (51.0–52.9%). Ранее в наших работах было показано, что предпосевная обработка семян и растений озимой пшеницы в период вегетации штаммами *B. subtilis* BZR 336 g и *B. subtilis* BZR 517 в полевых условиях мелкоделяночного опыта обеспечила достоверную биологическую эффективность против патогена на 26.3–49.2%, в зависимости от варианта опыта (Асатурова, 2019; Asaturova et al., 2022). Гвоздевой М.С. также проводилось изучение эффективности различных биологических препаратов в условиях поля к основным болезням пшеницы. Эффективность препаратов Витоплан, Трихоцин, Псевдобактерин-2 против желтой пятнистости листьев также была на уровне 45–60% на сорте Гром в разные фазы вегетации (Гвоздева, Волкова, 2023).

Исследования в области защиты растений от желтой пятнистости листьев пшеницы в мире сводятся главным образом к применению химических фунгицидов, однако биологические методы борьбы все больше набирают популярность. Интересным представляется совместное применение обоих типов фунгицидов с целью уменьшения химической нагрузки в земледелии. Одним из способов усиления защитных мероприятий без увеличения пестицидного пресса на агроценозы является совместное применение биологических и химических препаратов (Жевнова и др., 2018). Имеются данные, в которых демонстрируется

положительный эффект от совместного применения химических и биологических препаратов, при этом используются их пониженные нормы применения (Kumar, 2008; Сергиенко, 2010; Mondani, 2021).

Работ по совместимости химических и биологических фунгицидов на рост и развитие возбудителя желтой пятнистости *P. tritici-repentis* практически не встречается. В наших исследованиях в лабораторных условиях *in vitro* показана совместимость 14 химических и 8 биологических фунгицидов. Большая часть препаратов оказалась совместима между собой. Выявленные различия в совместимости могут быть обусловлены природой микроорганизма – продуцента биопрепарата, особенностями конкретного штамма, механизмом действия и концентрацией химического фунгицида, а также его препаративной формой. Ранее было показано, что чувствительность представителей рода *Trichoderma* к фунгицидам существенно различается как между отдельными видами и штаммами, так и в зависимости от действующего вещества и его концентрации (Figueras-Roca et al., 1996; McLean et al., 2001). В настоящем исследовании препараты на основе грибов рода *Trichoderma* не показали совместимости с испытанными химическими фунгицидами, тогда как препараты на основе бактерий родов *Bacillus* и *Pseudomonas* характеризовались вариабельной реакцией. Полученные результаты могут быть связаны с тем, что многие из изученных химических фунгицидов воздействуют на процессы, жизненно важные для всех грибов, независимо от принадлежности к той или иной экологической группе. Согласно классификации FRAC, азолы и триазолы, ингибируют деметилирование в процессе биосинтеза стеролов; стробилурины – перенос электронов в комплексе III дыхательной цепи, а карбоксамиды – активность сукцинатдегидрогеназы комплекса II (FRAC, 2026). Поэтому данные препараты потенциально способны подавлять развитие как фитопатогенных грибов, так и грибов рода *Trichoderma*. Вместе с тем бактериальные агенты также нельзя считать заведомо устойчивыми к химическим фунгицидам: степень подавления ими роста колоний *B. subtilis* может зависеть от действующего вещества, его концентрации и препаративной формы (Shahid, Khan, 2018; Wesche, Schnabel, 2025). Установленные закономерности характеризуют конкретные сочетания коммерческих препаратов и условия проведенного опыта и не могут автоматически распространяться на все штаммы соответствующих видов или родов.

Благодарности

Исследование по совместимости биологических и химических фунгицидов выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00273, <https://rscf.ru/project/25-26-00273/>

Библиографический список (References)

- Азизбеян РР (2013) Использование спорообразующих бактерий в качестве биологических средств защиты растений. *Биотехнология* 1:69–77
- Асатурова АМ (2019) Экологически безопасные методы борьбы с желтой пятнистостью листьев пшеницы. *Таврический вестник аграрной науки* 1(17):21–30
- Асатурова АМ, Жевнова НА, Сидоров НМ, Кремнева ОЮ (2024) Эффективность бактерий антагонистов *Bacillus* и *Pseudomonas* в качестве агентов биоконтроля сетчатой пятнистости озимого ячменя в полевых условиях. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки* 54(10) (311):69–77. DOI:10.26898/0370-8799-2024-10-7
- Ваксман ЗА (1947) Антагонизм микробов и антибиотические вещества. М.: Гос. изд-во иностр. лит. 391 с.
- Волкова ГВ, Кремнева ОЮ, Андропова АЕ, Надикта ВД (2012) Желтая пятнистость листьев пшеницы (возбудитель *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler): монография. М.: АМА-ПРЕСС. 282 с.
- Волкова ГВ, Кремнева ОЮ, Попов ИБ (2015) Эффективность химических фунгицидов против возбудителя

- желтой пятнистости листьев пшеницы. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета* 112:154–163
- Гвоздева МС, Волкова ГВ (2023) Влияние различных систем защиты озимой пшеницы сорта Сварог на развитие грибных болезней. *Юг России: экология, развитие* 18(2):140–151
- Гришечкина ЛД (2018) Агробιοлогическое и экотоксикологическое обоснование формирования ассортимента фунгицидов для защиты пшеницы. *Автореф. дисс. ... д.с.-х.н.* СПб. 39 с.
- Гришечкина ЛД, Долженко ВИ, Кунгурцева ОВ (2022) Фунгициды для защиты вегетирующих зерновых колосовых культур. *Защита и карантин растений* 2:37–56
- Долженко ВИ, Сухорученко ГИ, Лаптев АВ (2021) Развитие химического метода защиты растений в России. *Защита и карантин растений* 4:3–13
- Евсеев ВВ (2018) Пиренофороз пшеницы в лесостепи Южного Зауралья: монография. Белгород: ООО Эпицентр. 156 с.
- Егоров НС (1957) Выделение микробов-антагонистов и биологические методы учета их антибиотической активности. М.: Изд-во Моск. ун-та. 78 с.
- Жевнова НА, Войтка ДВ, Федорович МВ (2018) Совместное применение химических и биологических препаратов для защиты растений и снижения пестицидного пресса на агроценозы. Материалы Международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем». 392–395
- Жевнова НА (2022) Биоэкологическое обоснование применения новых штаммов бактерий *Bacillus subtilis* перспективных для создания микробиопрепаратов для защиты озимой пшеницы от возбудителей фузариозной корневой гнили и желтой пятнистости листьев. *Дисс. к.б.н.* Краснодар. 133 с.
- Защепкин ЕЕ, Шутко АП, Тутуржанс ЛВ (2015) Желтая пятнистость как составная часть патогенного комплекса озимой пшеницы в центральном предкавказье. *Современные проблемы науки и образования* 2(2). <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22326> (26.02.2018).
- Ким ЮС, Волкова ГВ (2020) Желтая пятнистость листьев пшеницы: распространение, вредоносность, расовый состав (Обзор). *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии* 2(50):105–116. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-2-105-116>
- Кремнева ОЮ, Асатурова АМ, Волкова ГВ (2013) Отбор штаммов бактерий, проявляющих антагонизм в отношении возбудителя желтой пятнистости листьев пшеницы. *Биотехнология* 29(5):54–59
- Кремнева ОЮ, Волкова ГВ, Попов ИБ (2014) Желтая пятнистость листьев пшеницы и влияние предшественника на ее развитие. *Труды Кубанского государственного аграрного университета* 47:79–84
- Кремнева ОЮ, Волкова ГВ, Коваленко НМ (2019) Динамика расового состава *Pyrenophora Tritici-repentis* в Северо-Кавказском регионе. *Микология и фитопатология* 53(4):246–253
- Левитин ММ, Афанасенко ОС, Гагкаева ТЮ, Ганнибал ФБ, Гультеяева ЕИ, Мироненко НВ (2019) Популяционные исследования грибов – возбудителей болезней зерновых культур. *Вестник защиты растений* 4(102):5–16. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-4-102-5-16>
- Макаренко ВВ, Долженко ВИ (2020) Оценка биологической эффективности нового комбинированного фунгицида против листовых патогенов яровой пшеницы. *Известия СПбГАУ* СПб. 4(61):42–49
- Макаренко ВВ, Долженко ВИ, Макаренко ЕВ (2023) Новое средство защиты пшеницы яровой от листовых болезней. *Плодородие* 5:107–110. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.27
- Макаренко ВВ (2025) Биолого-токсикологическое обоснование использования новых фунгицидов для защиты пшеницы яровой и озимой на северо-западе нечерноземной зоны. *Дисс. ... к.б.н.* СПб. 180 с.
- Маркелова ТС, Иванова ОВ (2012) Устойчивость образцов яровой и озимой пшеницы к желтой пятнистости листьев в условиях Нижнего Поволжья. *Сельскохозяйственная биология* 3:118–12
- Маслиенко ЛВ (1999) Биологический метод защиты подсолнечника и других сельскохозяйственных культур от болезней. *Агро XXI* 8:9
- Матвеева ИП, Ким ЮС, Ваганова ОФ, Мирошниченко ОО, Кремнева ОЮ, Волкова ГВ (2018) Устойчивость широко районированных сортов озимой пшеницы различной селекции к эпифитотийно опасным заболеваниям: бурой, желтой, стеблевой ржавчине и желтой пятнистости листьев пшеницы в Краснодарском крае. *Международный научно-исследовательский журнал* 12-2(78):40–44
- Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве (под ред. Долженко В.И.). (2009) СПб.: ВИЗР. 378 с.
- Мироненко НВ, Коваленко НМ, Баранова ОА (2019) Характеристика географически отдаленных популяций *Pyrenophora tritici-repentis* по вирулентности и генам токсинообразования ToxA и ToxB. *Вестник защиты растений* 1(99):24–29
- Мироненко НВ (2025) Роль транспозабельных элементов в генетической изменчивости фитопатогенных грибов. Материалы V международной научно-практической конференции «Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам». 12
- Обзор фитосанитарного состояния посевов сельхозкультур в РФ и прогноз развития вредных объектов за 2024–2025 гг. М.: 1239 с. <https://rosselhoccenter.ru/obzory-i-prognozy/>
- Павлюшин ВА, Долженко ВИ, Шпанев АМ, Гришечкина ЛД др. (2015) Интегрированная защита озимой пшеницы. *Защита и карантин растений* 5:38–71
- Пономарев АВ, Кремнева ОЮ, Гасиян КЭ, Данилов РЮ (2022) Влияние способов обработки почвы на развитие болезней пшеницы. *Юг России: экология, развитие* 17.4(65):174–181. DOI:10.18470/1992-1098-2022-4-174-181
- Реестр пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Раздел Пестициды. М. 2026. 1744 с.
- Сергиенко ВГ, Ткаленко АН, Титова ЛВ (2010) Использование биопрепаратов для защиты овощных культур от болезней. *Защита и карантин растений* 7:28–30

- Тимофеева МГ, Актуганов ГЭ, Крутьков ВМ, Галимзянова НФ (2011) Влияние различных групп синтетических пестицидов на развитие, выживаемость и антагонистическую активность некоторых видов аэробных спорообразующих бактерий. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук* 5(2):239–243
- Шутко АП (2013) Биологическое обоснование оптимизации системы защиты озимой пшеницы от болезней в Ставропольском крае. *Автореф. дисс. д.с.-х.н.* СПб.-Пушкин. 47 с.
- Asaturova A, Zhevnova N, Tomashevich N, Pavlova M, Kremneva O, Volkova G, Sidorov N (2022) Efficacy of new local bacterial agents against *Pyrenophora tritici-repentis* in Kuban region, Russia *Agronomy* 12(2):373. DOI:10.3390/agronomy12020373
- Aylara MS, Adeleke BS, Akinola SA, Fayose ChA, Adeyemi UT, et al (2023) Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: a case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. *Frontiers in Microbiol.* <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1040901> (15.12.2025)
- Deresa EM, Diriba TF (2023) Phytochemicals as alternative fungicides for controlling plant diseases: A comprehensive review of their efficacy, commercial representatives, advantages, challenges for adoption, and possible solutions. *Heliyon* 9: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13810>
- El-Saadony MT, Saad AM, Soliman SM, Salem HM, Ahmed AI, et al (2022) Plant growthpromoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanisms, challenges and future perspectives. *Front. Plant Sci.* 13:923880. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.923880>
- Figueras-Roca M, Cristani C, Vannacci G (1996) Sensitivity of *Trichoderma* isolates and selected resistant mutants to DMI fungicides. *Crop Protection*. 15(7):615–620. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(96\)00005-1](https://doi.org/10.1016/0261-2194(96)00005-1)
- Fungicide Resistance Action Committee – FRAC (2026) FRAC Code List 2026: Fungicides Sorted by Mode of Action. Fungicide Resistance Action Committee.
- Kaņeps J, Bankina B, Moročko-Bičevska I, Apsīte K, Roga A, et al (2024) Sensitivity Analysis of *Pyrenophora tritici-repentis* to Quinone-Outside Inhibitor and 14 α -Demethylase Inhibitor Fungicides in Latvia. *Pathogens* 13(12):1060. <https://doi.org/10.3390/pathogens13121060>
- Khana MR, Brienb EO, Carney BF (2010) A fluorescent pseudomonad shows potential for the control of net blotch disease of barley. *Biological Control* 54(1):41–45
- Kremneva OYu, Asaturova AM, Zharnikova MD, Volkova GV (2015) Bacterial strains antagonistic to *Pyrenophora tritici-repentis* in vitro demonstrate different efficacy on wheat seedling in green house. *Agricultural Biology* 50(1):99–106. DOI:10.15389/agrobiology.2015.1.99rus
- Kremneva OYu, Volkova GV, Kim YS, Mironenko NV, Kovalenko NM, et al (2021) Resistance of winter wheat varieties to tan spot in the North Caucasus region of Russia. *Saudi Journal of Biological Sciences* 28(3):1787–1794. DOI:10.1016/j.sjbs.2020.12.021
- Kumar R., Mishra P., Singh G., Yadav R. S. (2008) Integration of bioagents and fungicides for management of collar rot of chickpea. *Journal of biological control* 22:487–489
- Larran SS, Simón MR, Moreno MV, Perello A (2016) Endophytes from wheat as biocontrol agents against tan spot disease. *Biological control* 92:17–23. Doi: 10.1016/j.biocontrol.2015.0902
- McLean KL, Hunt J, Stewart A (2001) Compatibility of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* C52 with selected fungicides. *New Zealand Plant Protection* 54:84–88. DOI:10.30843/nzpp.2001.54.3780.
- MacLean DE, Lobo JM, Coles K, Harding MW, May WE, et al (2018) Fungicide application at anthesis of wheat provides effective control of leaf spotting diseases in western Canada. *Crop Protection* 112:343–349
- Maksimov IV, Maksimova TI, Sarvarova ER, Blagova DK (2018) Endophytic Bacteria as effective agents of new generation biopesticides (review). *Applied Biochemistry and Microbiology* 54(2):134–148
- Mehamdiaa D, Meradb T, Tichatia L (2020) Triazole and strobilurin fungicides sensitivity of *Pyrenophora tritici-repentis* isolates originated from Eastern Algeria. *Mikologiya i Fitopatologiya* 54(3):221–227
- Mondani L, Chiusa G, Battilani P (2021) Chemical and biological control of *Fusarium* species involved in garlic dry rot at early cropstages. *Eur. J. Plant Pathol* 160:575–587
- Montealegre JR, Reyes R, Perez LM (2003) Selection of bioantagonistic bacteria to be used in biological control of *Risotonia solani* in tomato. *Electronic Journal of Biotechnology* 6(2):116–127
- Patel JS, Gudmestad NC, Meinhardt S, Adhikari TB (2012) Pyraclostrobin sensitivity of baseline and fungicide exposed isolates of *Pyrenophora tritici-repentis*. *Crop Prot* 34:37–41
- Perelló A, Moreno V, Mónaco C, Simón MR (2007) Effect of *Trichoderma* spp. isolates for biological control of tan spot of wheat caused by *Pyrenophora tritici-repentis* under field conditions in Argentina. *Biocontrol* 53:895–904. Doi: 10.1007/s10526-007-9110-4
- Rajapakse RHS, Ratnasekera D, Abeysinghe S (2016) Biopesticides Research: Current Status and Future Trends in Sri Lanka. *Agriculturally Important Microorganisms* 219–234
- Salam KP, Thomas GJ, Beard C, Loughman R, Macleod WJ, et al (2013) Application of meta-analysis in plant pathology: a case study examining the impact of fungicides on wheat yield loss from the yellow spot-septoria nodorum blotch disease complex in western Australia. *Food Security* 5(3):319–325
- Shahid M, Khan MS (2018) Cellular destruction, phytohormones and growth modulating enzymes production by *Bacillus subtilis* strain BC8 impacted by fungicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 149: 8–19. DOI: 10.1016/j.pestbp.2018.05.001.
- Sautua FJ, Carmona MA (2021) Detection and characterization of QoI resistance in *Pyrenophora tritici-repentis* populations causing tan spot of wheat in Argentina. *Plant Pathology* 70:2125–2136. <https://doi.org/10.1111/ppa.13436>
- See PTh, Schultz N, Moffat CS (2020) Evaluation of *Pyrenophora tritici-repentis* Infection of Wheat Heads. *Agriculture* 10(9):417. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090417>
- Wesche J, Schnabel G (2025) Impact of DMI fungicides on *Bacillus subtilis* cell growth and consequences for disease control. *Plant Disease* 109(8):1668–1674. DOI: 10.1094/PDIS-11-24-2367-RE.

Translation of Russian References

- Azizbekyan RR (2013) [Use of spore-forming bacteria as biological plant protection products]. *Biotechnology* 1:69–77 (in Russian)
- Asaturova AM (2019) [Environmentally friendly methods for controlling yellow spot of wheat leaves]. *Tavricheskiy Vestnik Agrarnoy Nauki* 1(17): 21–30 (in Russian)
- Asaturova AM, Zhevnova NA, Sidorov NM, Kremneva OY (2024) [Efficiency of *Bacillus* and *Pseudomonas* antagonist bacteria as biocontrol agents for net blotch of winter barley under field conditions]. *Siberian Vestnik Agrarnoy Nauki* 54(10)(311):69–77. DOI: 10.26898/0370-8799-2024-10-7htps://www.elibrary.ru/item.asp?id=75077790 (in Russian)
- Vaksman ZA (1947) [Microbial antagonism and antibiotic substances]. Moscow: State University. Foreign Publishing House Lit. 391 p. (in Russian)
- Volkova GV, Kremneva OY, Andronova AE, Nadykta VD (2012) [Yellow leaf spot of wheat (pathogen *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler): monograph]. Moscow: AMA-PRESS. 282 p. (in Russian)
- Volkova GV, Kremneva OY, Popov IB (2015) [Efficiency of chemical fungicides against the causal agent of yellow leaf spot of wheat]. *Polythematic online electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 112:154–163 (in Russian)
- Gvozdeva MS, Volkova GV (2023) [The influence of various protection systems of winter wheat variety Svarog on the development of fungal diseases]. *South of Russia: ecology, development* 18(2):140–151 (in Russian)
- State Catalog of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use in the Russian Federation. Moscow, 2025. 956 p. (in Russian)
- Grishchekina, LD (2018) [Agrobiological and Ecotoxicological Substantiation of Forming a Range of Fungicides for Wheat Protection. Abstract of a Doctor of Agricultural Sciences (St. Petersburg). 39 p. (in Russian)
- Grishchekina, LD, Dolzhenko, VI, Kungurtseva, OV (2022) [Fungicides for the Protection of Vegetative Cereal Crops]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2:37–56 (in Russian)
- Dolzhenko VI, Sukhoruchenko GI, Laptiev AB (2021) [Development of chemical methods of plant protection in Russia]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 4:3–13 (in Russian)
- Evseev VV (2018) [Pyrenophora blight of wheat in the forest-steppe of the Southern Trans-Urals: monograph]. Belgorod: OOO Epitsentr. 156 p. (in Russian)
- Egorov NS (1957) [Isolation of antagonist microbes and biological methods for assessing their antibiotic activity]. Moscow: Moscow University Press. 78 p. (in Russian)
- Zhevnova NA, Voitka DV, Fedorovich MV (2018) [Combined use of chemical and biological products for plant protection and reduction of pesticide pressure on agrocenoses]. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Biological Plant Protection – the Basis for Stabilizing Agroecosystems”*. 392–395 (in Russian)
- Zhevnova NA (2022) [Bioecological substantiation of the use of new strains of *Bacillus subtilis* bacteria promising for the creation of microbiological products for the protection of winter wheat from the causative agents of Fusarium root rot and yellow leaf spot]. *Diss. Cand. Sci. (Biology)*. Krasnodar, 133 p. (in Russian)
- Zashchepkin EE, Shutko AP, Tuturzhans LV (2015) [Yellow leaf spot as a component of the pathogenic complex of winter wheat in the central Caucasus]. *Modern Problems of Science and Education* 2(2). <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22326> (26.02.2018) (in Russian)
- Kim YuS, Volkova GV (2020) [Yellow leaf spot of wheat: distribution, harmfulness, and racial composition (Review)]. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2(50):105–116. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-2-105-116> (in Russian)
- Kremneva OY, Asaturova AM, Volkova GV (2013) [Selection of bacterial strains exhibiting antagonism towards the causal agent of yellow leaf spot of wheat]. *Biotechnology* 29(5):54–59 (in Russian)
- Kremneva OY, Volkova GV, Kovalenko NM (2019) [Dynamics of the racial composition of *Pyrenophora tritici-repentis* in the North Caucasus region]. *Mycologiyay and Phytopathologiyay* 53(4):246–253 (in Russian)
- Kremneva OY, Volkova GV, Popov IB (2014) [Yellow leaf spot of wheat and the effect of the precursor on its development]. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University* 47:79–84 (in Russian)
- Levitin MM, Afanasenko OS, Gagkaeva TYu, Gannibal FB, Gulyaeva EI, Mironenko NV (2019) [Population studies of fungi – causative agents of grain crop diseases]. *Buylleten' zashchity rastenij*. 4(102):5–16. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-4-102-5-16> (in Russian)
- Makarenko VV (2025) [Biological and toxicological substantiation of the use of new fungicides to protect spring and winter wheat in the northwest of the non-chernozem zone]. *Diss. ... PhD in Biology*. St. Petersburg. 180 p. (in Russian)
- Makarenko VV, Dolzhenko VI (2020) [Evaluation of the biological efficiency of a new combined fungicide against foliar pathogens of spring wheat]. *Izvestiya SPbGAU*. St. Petersburg. 4(61):42–49 (in Russian)
- Makarenko VV, Dolzhenko VI, Makarenko EV (2023) [A new means of protecting spring wheat from foliar diseases]. *Plodorodie* 5:107–110. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.27 (in Russian)
- Markelova TS, Ivanova OV (2012) [Resistance of spring and winter wheat accessions to yellow leaf spot in the Lower Volga region]. *Sel'skoxozyajstvennaya biologiya* 3:118–121 (in Russian)
- Maslienko LV (1999) [Biological method of protecting sunflower and other agricultural crops from diseases]. *Agro XXI* 8:9 (in Russian)
- Matveeva IP, Kim YS, Vaganova OF, Miroshnichenko OO, Kremneva OY, et al (2018) [Stability of widely distributed varieties of winter wheat of different selection to epiphytotically dangerous diseases: brown, yellow, stem rust, and yellow leaf spots of wheat leaves in Krasnodar Region]. *International Research Journal* 78:40–44. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.044>.
- Methodological guidelines for registration testing of fungicides in agriculture (ed. Dolzhenko V.I.). (2009) St. Petersburg: VIZR. 378 p. (in Russian)
- Mironenko NV, Kovalenko NM, Baranova OA (2019) [Characterization of geographically distant populations of *Pyrenophora tritici-repentis* by virulence and

- toxin-producing genes ToxA and ToxB]. *Buylleten' zashchity rasteniy* 1(99):24–29 (in Russian)
- Mironenko NV (2025) [The role of transposable elements in the genetic variability of phytopathogenic fungi]. *Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference “Modern Problems of Plant Immunity to Pests”*, St. Petersburg. 12 (in Russian)
- Review of the phytosanitary condition of agricultural crops in the Russian Federation and the forecast of pest development for 2024–2025. Moscow: 1239 p. <https://rosselhocenter.ru/obzory-i-prognozy/> (in Russian)
- Pavlyushin VA, Dolzhenko VI, Shpanev AM, Grishechkina LD et al. (2015) [Integrated protection of winter wheat]. *Zashchita i karantin rasteniy* 5:38–71 (in Russian)
- Ponomarev AV, Kremneva OY, Gasyan KE, Danilov RYu (2022) [The influence of soil cultivation methods on the development of wheat diseases]. *South of Russia: ecology, development*. 17.4(65):174–181. DOI:10.18470/1992-1098-2022-4-174-181 (in Russian)
- Sergienko VG, Tkalenko AN, Titova LV (2010) [Use of biological preparations to protect vegetable crops from diseases]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 7:28–30 (in Russian)
- Timofeeva MG, Aktuganov GE, Krutkov VM, Galimzyanova NF (2011) [The influence of various groups of synthetic pesticides on the development, survival and antagonistic activity of some species of aerobic spore-forming bacteria]. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 5(2):239–243 (in Russian)
- Shutko AP (2013) [Biological Substantiation of Optimization of the Winter Wheat Disease Protection System in Stavropol Krai]. Abstract of Doctor of Agricultural Sciences Dissertation. St. Petersburg-Pushkin, 47 p. (in Russian)

Plant Protection News, 2026, 109(2), p. 149–162

OECD+WoS: 4.01+AM (Agronomy); 1.06+QU (Microbiology)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2026-109-2-18214>

Full-text article

FUNGICIDAL PROTECTION OF WINTER WHEAT AGAINST THE FUNGUS *PYRENOPHORA TRITICI-REPENTIS*

O.Yu. Kremneva*, I.V. Chebotok, K.E. Gasyan, A.M. Asaturova, G.V. Volkova, N.A. Zhevnova

Federal Research Center of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

*corresponding author; e-mail: kremenoks@mail.ru

The most widely used approach for controlling plant diseases, including tan spot of wheat (caused by *Pyrenophora tritici-repentis*), is the application of fungicides. The objective of this study was to evaluate the efficacy of biological fungicides in suppressing the development of *P. tritici-repentis* both *in vitro* and under field conditions, as well as to assess their compatibility with highly effective synthetic fungicides. Field assessments revealed that the biological effectiveness of microbiological preparations ranged from 38% to 57%, whereas that of chemical preparations ranged from 56% to 98%. *In vitro* inhibitory activity of the microbiological preparations against the pathogen was high, varying between 61% and 72%. Compatibility testing of biological and synthetic fungicides demonstrated that Pseudobacterin-3, (based on a *Pseudomonas* strain) was compatible with all tested chemical products except Magnello (difenoconazole, 100 g/l and tebuconazole, 250 g/l). Preparations based on *Bacillus* spp. exhibited variable compatibility with synthetic fungicides. Among these, Fitosporin-M, showed compatibility with the maximum number of chemicals (11 out of 14), while Organica C, was compatible with eight preparations. In contrast, microbial preparations based on *Trichoderma* strains did not show compatibility with any of the synthetic fungicides tested. These findings may be useful for the development of effective integrated pest management strategies against tan spot of wheat.

Keywords: winter wheat, tan spot of wheat, biological fungicides, chemical fungicides, compatibility of preparations, effectiveness of fungicides

Submitted: 07.07.2026

Accepted: 12.08.2026

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЛЛООБРАЗУЮЩИХ ТЛЕЙ *PEMPHIGUS* SPP. – ВРЕДИТЕЛЕЙ ТОПОЛЕЙ В ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ**Н.С. Бабичев¹, М.А. Рязанова^{1,2}, И.А. Михайлова¹, Н.И. Кириченко^{1,2,3*}**¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН –

обособленное подразделение ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск

² Институт экологии и географии Сибирского федерального университета, Красноярск³ Всероссийский центр карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»), Быково, м.о. Раменский, Московская обл.*ответственный за переписку, e-mail: nkirichenko@yahoo.com

Тли рода *Pemphigus* (Hemiptera: Aphididae: Pemphiginae: Pemphigini) – галлообразователи, включающие вредителей тополей и сельскохозяйственных культур. Существование близких видов и сложность жизненного цикла затрудняют видовую идентификацию, изучение современных ареалов и отслеживание путей распространения пемфиговых тлей. Молекулярная генетика палеарктических видов изучена слабо, а для сибирских популяций молекулярно-генетические исследования пока и вовсе не проводились. В нашей пионерной работе приведены результаты ДНК-баркодирования четырех видов: *Pemphigus bursarius*, *P. matsumurai*, *P. passeki*, *P. populi*, собранных в Красноярском крае и Республике Хакасия, и осуществлен анализ внутривидовой вариативности *P. bursarius* и *P. matsumurai* по гену цитохромоксидазы I (*COI*) мтДНК с учетом сиквентов из разных стран. Голарктический вид *P. bursarius* продемонстрировал внутривидовую изменчивость на уровне 3 %, при этом сибирские образцы с тополя черного (*Pop. nigra*) оказались генетически близки к канадской популяции (0.3 %). Образец *P. bursarius* с тополя лавролистного *Pop. laurifolia* из Хакасии образовал обособленную кладу с дивергенцией 5.2 % от образцов с *Pop. nigra* – значение. Сиквент *P. matsumurai* из Сибири сгруппировался с китайскими образцами этого же вида и с образцами из GenBank, идентифицированными как *P. sinobursarius* (генетическая дистанция от 0.46 до 1.04 %), что не позволило достоверно разделить данные виды с помощью ДНК-баркодирования. Впервые полученные ДНК-баркоды для *P. populi* и *P. passeki* могут служить референсными для видовой идентификации. Настоящая работа закладывает базис для развития молекулярно-генетических библиотек с целью изучения филогенетики и филогеографии пемфигов Сибири, а также наработки референсных ДНК-баркодов для точной идентификации и анализа инвазионных процессов вредоносных видов пемфигов.

Ключевые слова: пемфиги, ДНК-баркодирование, внутривидовая изменчивость, тополевые насаждения, Красноярский край, Республика Хакасия

Поступила в редакцию: 24.04.2026

Принята к печати: 30.06.2026

Введение

Галловые тли рода *Pemphigus* Hartig, 1839 (Hemiptera: Aphididae: Pemphigini) представляют собой группу насекомых, специализированных к обитанию на тополях (*Populus* spp.) и формирующих характерные галлы на листьях, жилках и черешках растений-хозяев. Многие виды этого рода являются вредителями лесных и городских насаждений, а также сельскохозяйственных культур (Долин, 1987; Зерова и др., 1991; Favret, Aphid Taxon Community, 2026). Точная идентификация тлей осложняется существованием близких видов и сложностью их жизненных циклов (Footitt et al., 2008). Это создает проблемы для изучения филогенетики и филогеографии видов, а также для реализации программ мониторинга, оценки рисков распространения и разработки мер борьбы с вредоносными видами.

В последние десятилетия молекулярно-генетические методы, в первую очередь ДНК-баркодирование, основанный на секвенировании фрагмента митохондриального гена цитохромоксидазы I (*COI*), стали мощным инструментом для идентификации, таксономических ревизий и изучения инвазионных процессов насекомых (Hebert et al., 2003; Footitt et al., 2008; Колесникова, Бондаренко, 2020),

включая галлообразующих тлей (Lee, Akimoto, 2013; Coeur d'acier et al., 2014; Li et al., 2020; Varabyova, Zhorov, 2023; Wiczorek et al., 2024; Kang et al., 2026). Однако для многих групп тлей, в том числе для палеарктических видов рода *Pemphigus*, ДНК-баркоды в молекулярно-генетических базах данных BOLD (Barcode of Life Data System, <https://www.boldsystems.org/>) и GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) редки; некоторые сиквенты фрагментарны (отдельные участки гена *COI*, потенциально содержащие диагностические нуклеотиды, не расшифрованы) или не подтверждены идентификацией тлей по морфологии, для некоторых видов ДНК-баркоды и вовсе отсутствуют.

Приенисейская Сибирь (географический регион вдоль реки Енисей, включающий Красноярский край, Республику Хакасия и Тыва), характеризуется разнообразием тополевых насаждений и по своему географическому положению является одной из уникальных узловых точек Евразии, расположенной на пересечении природных зон и зоогеографических областей. В то же время, Приенисейская Сибирь остается слабо изученной в отношении систематики, генетического разнообразия и распространения пемфиговых тлей. В последние годы нами были

проведены сборы тлей рода *Pemphigus* на различных видах тополей в отдельных регионах Сибири (Babichev, Kirichenko, 2020; Babichev et al., 2023). Морфологическая идентификация позволила отнести собранные образцы к видам *P. populi* Courcey, 1881, *P. bursarius* (L., 1758), *P. passeki* Börner, 1952 и *P. matsumurai* Monzen, 1927. Однако таксономический статус некоторых популяций, особенно из отдаленных районов, оставался неясным, а их генетические взаимосвязи с другими популяциями из

Европы, Северной Америки и Восточной Азии до настоящего времени не изучались.

В задачи данной работы входила молекулярно-генетическая характеристика четырех видов галловых тлей, обитающих в Приенисейской Сибири, на основе ДНК-баркодирования и оценка генетической дистанции видов из сибирских популяций в сравнении с таковыми из других регионов Голарктики.

Материалы и методы

Сбор образцов и морфологическая идентификация.

Сборы образцов осуществляли в 2016, 2020 и 2021 гг. в Приенисейской Сибири: в Красноярском крае (в Красноярске и г. Железногорске и в Эвенкийском районе в с. Тура – в сумме 50 галлов с тлями с 15 деревьев) и в Республике Хакасия (в Ширинском районе – 10 галлов с тлями с 5 деревьев) (рисунок 1). Расстояние между наиболее удаленными друг от друга точками в исследовании – с. Солёноозерное (Хакасия) и с. Тура (Красноярский край) по прямой линии составляет около 1080 км.

Галлы с содержащимися в них особями тлей были собраны вручную с тополей (*Pop. laurifolia*, *Pop. nigra*, *Pop. × sibirica*, *Populus* sp.) в лесополосах, пойменных зарослях, городских насаждениях и парках в ходе маршрутного мониторинга (рисунок 2) и зафиксированы в 95%-ом растворе этилового спирта в герметичных пробирках (1.5 мл, Axugen, USA). Собранный материал доставляли в лабораторию лесной зоологии Института леса им. В.Н. Сукачева (ИЛ СО РАН, Красноярск), где производили камеральную обработку образцов. Из галлов извлекали имаго тлей

(крылатых особей) для морфологической идентификации. Для 3–7 экземпляров каждого вида из каждой точки сбора были сделаны постоянные препараты. Видовую идентификацию осуществляли по морфологическим признакам имаго – строению усиков, расположению на них ринарий (рисунок 3) и другим признакам, приведенным в электронном издании «Aphids on the World's Plants». При идентификации учитывали также строение галла и вид растения-хозяина (Favret, Aphid Taxon Community, 2026).

Сборы хранятся в лаборатории лесной зоологии ИЛ СО РАН. Во всех случаях сборщиком являлся первый автор, за исключением образцов из г. Железногорск, которые были собраны и переданы для исследований О.С. Булановой.

ДНК-баркодирование. Для секвенирования гена *COI* мтДНК (658 п.н.) было отобрано по одному образцу (особи) имаго из галла растений-хозяев из вышеуказанных точек сбора. В сумме было секвенировано семь образцов тлей: три образца из трех точек сбора, идентифицированные по морфологии как *P. bursarius*, два образца *P. passeki*, и по одному образцу *P. populi* и *P. matsumurai*. Секвенирование

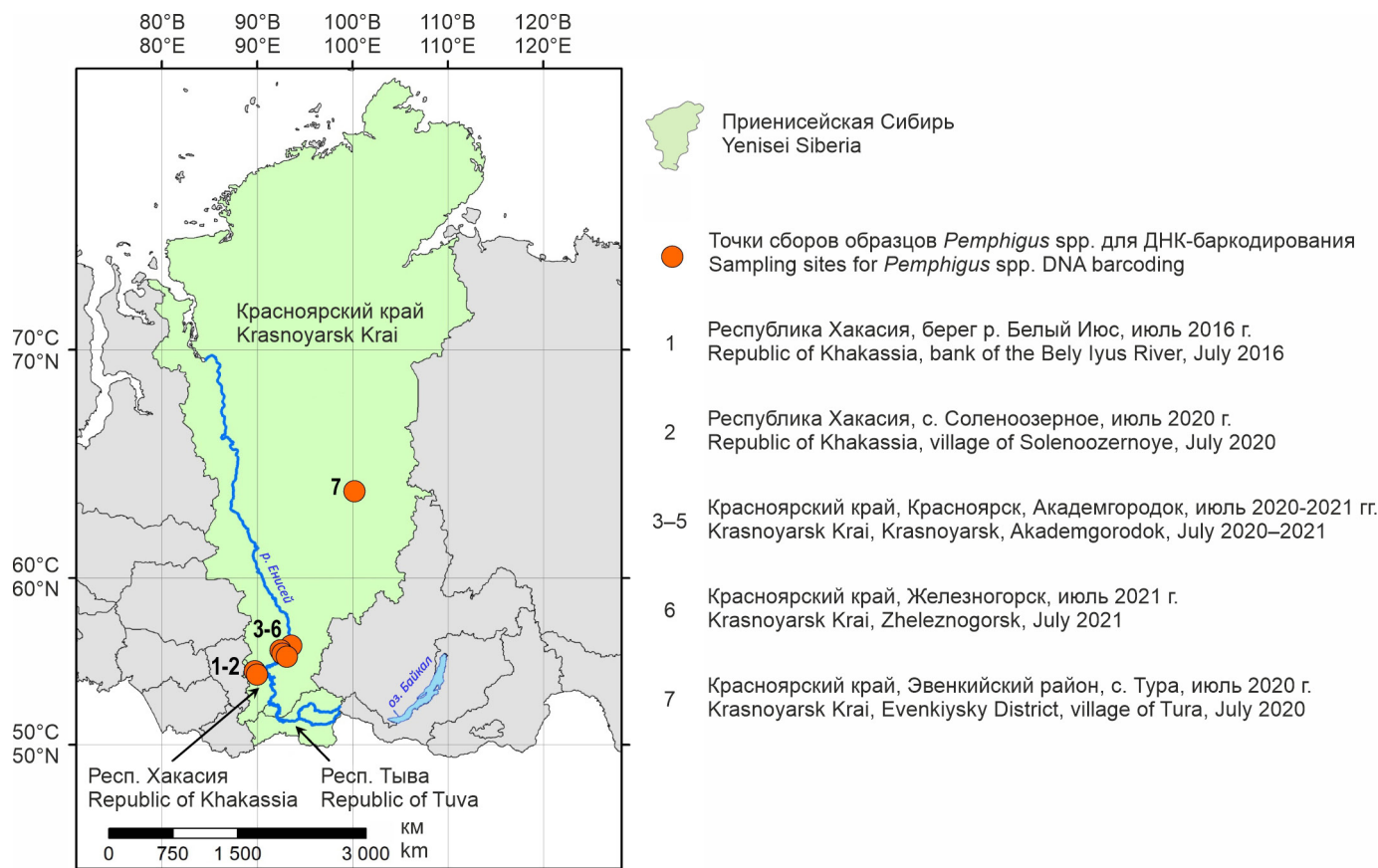


Рисунок 1. Регион и точки сбора *Pemphigus* spp. в Приенисейской Сибири в 2016–2021 гг.

Figure 1. The region and collection sites of *Pemphigus* spp. in Yenisei Siberia in 2016–2021

проводилось по стандартному протоколу (Ivanova et al., 2006) в Канадском центре ДНК-баркодинга при Гуэлфском университете (Канада). Полученные сиквенсы не содержали псевдогенов и стоп-кодона. Идентификацию образцов пемфиг из Сибири осуществляли в генетической базе BOLD (Ratnasingham, Hebert, 2007). О точности идентификации судили по принадлежности ДНК-баркодов из Сибири к числовым кодам (Barcode Index Number, BIN) видов – в генетической базе BOLD (Ratnasingham, Hebert, 2013). Для оценки внутривидовых генетических дистанций в филогенетический анализ включали ДНК-баркоды

203 образцов (193 образца *P. bursarius*, 5 *P. matsumurai*, 2 *P. sinobursarius*, 3 *Pemphigus* spp.). Подробные сведения об образцах и их сиквенсы размещены на хранение в BOLD и депонированы в GenBank, будучи доступны по ссылке: [dx.doi.org/10.5883/DS-PEMBUR](https://doi.org/10.5883/DS-PEMBUR). Филогенетическое дерево строили с использованием метода максимального правдоподобия (Maximum likelihood), модели Кимура (Kimura 2-parameter Model) и бутстрэп-метода (Bootstrap Method) с 1000 итераций в компьютерном приложении MEGA, версия 11.00.13 (Tamura et al., 2021).



Рисунок 2. Места сборов *Pemphigus* spp. в Приенисейской Сибири и галлы тлей. А – точка сборов галлов *P. bursarius* в с. Тура Красноярского края (2020 г.); Б – точка сбора галлов *P. passeki* в лесополосе в Хакасии (2020 г.); В – галл *P. bursarius* на черешке листа *Pop. nigra*; Г – галлы *P. passeki* на основной жилке листьев *Populus* sp.; Д–Е раскрытый галл *P. matsumurai* с тлями и многочисленные галлы в основании листьев *Pop. laurifolia*; Ж – галл *P. pupuli* на центральной жилке листа *Pop. nigra*. Фото: Н.С. Бабичев, Н.И. Кириченко

Figure 2. Habitats of *Pemphigus* spp. in Yenisei Siberia and their galls. А – collection point of *P. bursarius* galls in Tura village, Krasnoyarsk Area (2020); Б – collection point of *P. passeki* galls in the forestbelt in Khakassia Republic (2020); В – the gall of *P. bursarius* on the petiole of *Pop. nigra* leaf; Г – the galls of *P. passeki* on the main vein of *Populus* sp. leaves; Д–Е – opened gall of *P. matsumurai* with aphids, and numerous galls at the base of *Pop. laurifolia* leaves; Ж – the gall of *P. pupuli* on the central vein of *Pop. nigra* leaf. Photo: N.S. Babichev, N.I. Kirichenko



Рисунок 3. Усики и расположенные на них ринарии (органы чувств, или хеморецепторы), используемые для идентификации галловых тлей *Pemphigus* spp. А – *P. bursarius*; Б – *P. matsumurai*; В – *P. passeki*; Г – *P. populi*. Фото: Н.С. Бабичев, Н.И. Кириченко

Figure 3. Antennae and rhinaria (sensory organs, or chemoreceptors) used to identify gall aphids *Pemphigus* spp. А – *P. bursarius*; Б – *P. matsumurai*; В – *P. passeki*; Г – *P. populi*. Photo: N.S. Babichev, N.I. Kirichenko

Результаты и обсуждение

Подрод *Pemphigus*

***Pemphigus bursarius*.** Два образца имаго тли из Сибири (GPRU012-21, Красноярский край, г. Красноярск, *Populus nigra*, 2020 г. и GPRU014-21, Красноярский край, Эвенкийский район, с. Тура, *Populus* sp., 2021 г.) продемонстрировали незначительную генетическую дистанцию (0.16%) при сравнении друг с другом. На генетическом древе их ближайшим соседом оказался образец из Канады (RFBAD986-09, о. Принца Эдварда, с салата *Lactuca sativa*, 2008 г., сборщик Е. Dykerman) с генетической дистанцией 0.3%. При вовлечении в анализ выборки ДНК-баркодов 193 образцов вида из Европы и Северной Америки, находящихся в свободном доступе в BOLD и GenBank, внутривидовая вариабельность *P. bursarius* по гену *COI* мтДНК составила 2.93% (рисунок 4). Все эти образцы отнесены в базе BOLD к трем BIN (числовым кодам вида) (рисунок 4).

Один образец, собранный нами в Сибири (Республика Хакасия, берег р. Белый Июс, 2016 г.) с другого кормового растения (*Populus laurifolia*) и предварительно идентифицированный по морфологии имаго тлей как *P. bursarius*, показал значительную генетическую дистанцию (4.8–5.2%) при сравнении с 193 образцами из кластера *P. bursarius* (рисунок 4, красный кластер vs.

зеленый кластер). Максимальная дистанция (5.2%) выявлена между хакасским образцом и образцом из Канады (OPRHQ448-17, Онтарио, 2014 г., имя сборщика не известно), дистанция 4.8% – между этим же хакасским образцом и 11 образцами из Канады (Британская Колумбия, 2013–2014 гг., сборщики R. Rojar). Значительные дистанции отмечены также при сравнении хакасского образца с красноярским и эвенкийским образцами *P. bursarius* – 4.21 и 4.58%, соответственно.

При анализе 196 сиквенсов *P. bursarius* было выявлено 10 гаплотипов (H1–H10) (рисунок 5). Доминирующим являлся гаплотип H1, который был представлен 185 сиквенсами, включая таковые из Канады, США, Великобритании, Германии, Греции, Южной Африки и России (Приморский край). Два сиквенса из Красноярского края и один из Приморского края принадлежат гаплотипам H4 и H6, которые расходятся от H1 на 4 и 6 мутационных шагов, соответственно. Гаплотипы H7–H9 образцов тлей из Канады отделены от доминирующего гаплотипа H1 цепочками из 10, 17 и 23 мутационных шагов соответственно. Наиболее дистальный гаплотип H10 (сиквенс из Хакасии) отделен от H1 уже 33 мутационными шагами и демонстрирует 36 точечных замен относительно гаплотипов H2–H4.

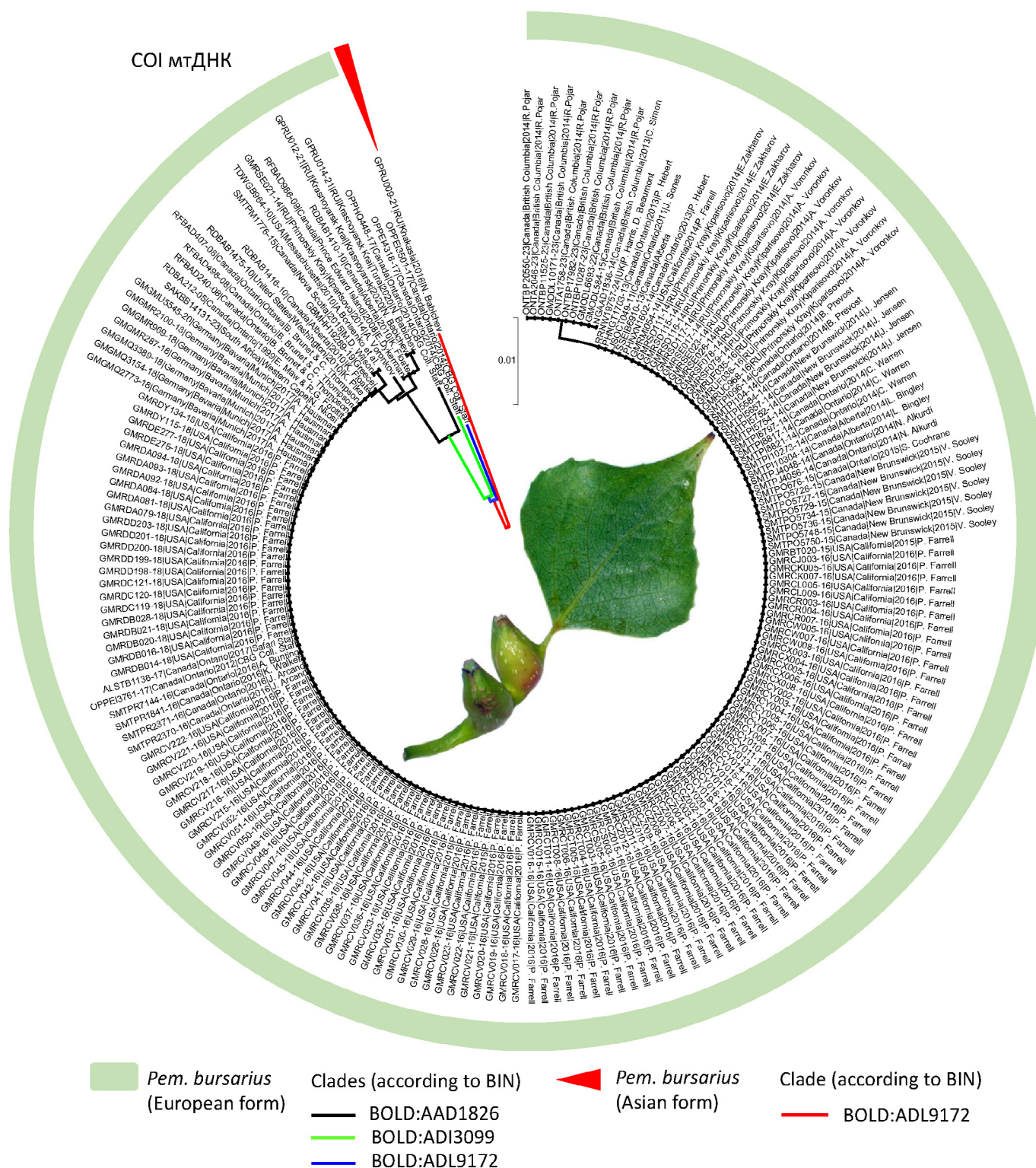


Рисунок 4. Генетическое дерево *Pemphigus bursarius*, построенное на основе анализа сиквенсов гена *COI* мтДНК 196 образцов вида из его современного ареала в Голарктике с применением метода максимального правдоподобия, двухпараметрической модели Кимуры и бутстрэп-метода (1000 итераций). В подписи для каждого образца указаны – номер образца в BOLD – process ID (GPRU009-21 и т.п.) | страна | административный регион (если известен) | год сбора | имя сборщика. Длина ветви отражает степень родства. Эволюционные линии (ветви дерева) разных цветов соответствуют разным BIN – числовым кодам вида, присваиваемым генетической базой BOLD

Figure 4. The *COI* phylogenetic tree of *Pemphigus bursarius* constructed for 196 specimens from its modern range in the Holarctic using the maximum likelihood method, Kimura's two-parameter model, and the bootstrap method (1000 iterations). The caption for each specimen includes the specimen process ID in BOLD (GPRU009-21, etc.) | country | administrative region (if known) | year of collection | name of collector. Branch length reflects the degree of relationship. Evolutionary lineages (tree branches) of different colors correspond to different BINs – numeric species codes assigned by the BOLD genetic database

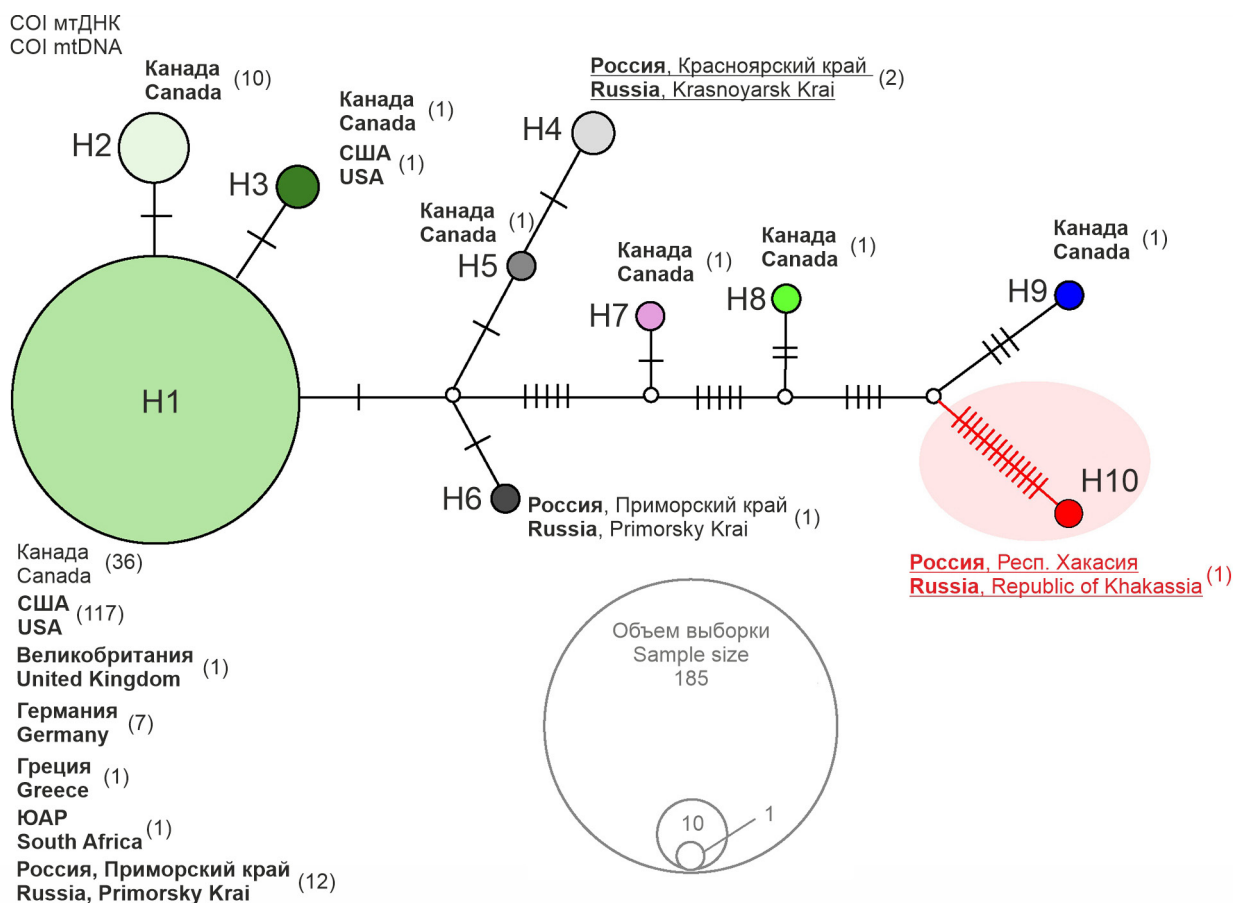


Рисунок 5. Медианная сеть гаплотипов *Pemphigus bursarius* в Голарктике, построенная на основе анализа гена *COI* мтДНК с применением алгоритма парсимонии. Разные цвета соответствуют разным гаплотипам (H1–H10); размер кругов – числу исследованных особей тли (указано в скобках для каждого гаплотипа). Отрезок линии, соединяющий круги, представляет собой одну мутацию. Точками (°) обозначены промежуточные (невывявленные по фактическим данным) гаплотипы. Красным облаком обозначен гаплотип H10, представленный одним экземпляром тли из Респ. Хакасия (Россия) (генетическая дистанция > 5% от доминирующего гаплотипа H1) и представляющим азиатскую форму вида или криптический вид

Figure 5. The *COI* median haplotype network of *Pemphigus bursarius* in the Holarctic constructed using the parsimony algorithm. Different colors correspond to different haplotypes (H1–H10); the size of the circles corresponds to the number of analyzed aphid individuals (indicated in parentheses for each haplotype). The short vertical strokes on the lines connecting the circles represent one mutation; dots (°) denote intermediate (undetected from the actual data) haplotypes. The red cloud denotes haplotype H10, represented by a single aphid specimen from the Republic of Khakassia (Russia) with the genetic distance > 5% from the dominant haplotype H1, and representing the Asian form of the species or cryptic species

Pemphigus matsumurai. Один образец из Сибири (GPRU006-21, Красноярский край, г. Красноярск, *Populus laurifolia*, 2020 г.) на генетическом дереве вошел в кластер данного вида с пятью другими образцами вида из Китая (рисунок 6). Максимальная генетическая дистанция между сибирским и китайскими образцами составила 0.92%. Два образца, имеющиеся в свободном доступе в GenBank (GBMHH5910-14, GBMHH5911-14, Китай, 2009 г., сборщик не известен), указанные там под видовым названием *P. sinobursarius*, сформировали один кластер с *P. matsumurai* с минимальной генетической дистанцией 0.46% и максимальной – 1.04%.

Pemphigus passeki. Два образца данного вида из Сибири (HYMRU005-21, Красноярский край, 2021 г. и HYMRU013-21, Республика Хакасия, 2020 г.) продемонстрировали генетическую дистанцию 0.61% при сравнении друг с другом и сформировали кластер с неидентифицированным образцом из Беларуси (GMBMT371-18,

Минск, 2016 г., сборщик Т. Lipinckaya) с дистанцией 0.17–0.61% (рисунок 6). Учитывая, что в BOLD и GenBank отсутствуют идентифицированные до вида образцы *P. passeki*, наши образцы из Сибири, достоверно определенные по морфологии, можно считать референсными (идентификатор вида в BOLD – BOLD:ADM5938). Ближайшим соседом *P. passeki* являлся дальневосточный образец, не идентифицированный до вида в BOLD (GMRUF161-1, Приморский край, 2015 г., сборщик А. Воронков), с минимальной межвидовой генетической дистанцией 2.19%. По нашему предположению, в частности по степени генетического родства, этот образец может быть отнесен к *P. populinigrae*, сиквенсы которого в BOLD и GenBank отсутствуют.

Подрод *Pemphiginus*

Pemphigus populi. Сиквенс из Сибири (GPRU003-21, Красноярский край, 2021 г.) оказался крайне схожим с таковым неидентифицированного вида тли из Англии



Рисунок 6. Филогенетическое дерево, отображающее степень родства *Pemphigus* spp. из Приенисейской Сибири с наиболее близкими экземплярами пемфигов, чьи сиквенсы хранятся в BOLD и GenBank в свободном доступе, и построенное с применением метода максимального правдоподобия, двухпараметрической модели Кимуры и бутстрэп-метода (1000 итераций). Красным цветом подписаны оригинальные сиквенсы. В подписи для каждого образца указаны – номер образца в BOLD – process ID (GBMHH5904-14 и т.п.) | вид | страна | административный регион (если известен) | год сбора | имя сборщика. Длина ветви отражает степень родства. Ветви дерева, отмеченные вертикальными линиями разных цветов, соответствуют разным BIN

Figure 6. The *COI* phylogenetic tree displaying the degree of relationship of *Pemphigus* spp. from Yenisei Siberia with the most closely related *Pemphigus* specimens, whose sequences are freely available in BOLD and GenBank, constructed using the maximum likelihood method, Kimura's two-parameter model, and the bootstrap method (1000 iterations). Original sequences are marked in red. The caption for each specimen includes the following data: specimen process ID (GBMHH5904-14, etc.) | species name | country | administrative region (if known) | year of collection | name of collector. The length of the branch reflects the degree of relationship. Tree branches marked with vertical lines of different colors correspond to different BINs

(OXWW2399-23, Оксфорд, 2022 г., сборщик А. Bailey) (рисунок 6). В изученном фрагменте гена (658 п.н.) обнаружена единственная транзиция А↔G в позиции 271. Оба образца отнесены в молекулярно-генетической базе BOLD к одному BIN – BOLD:AGO1599. Ни в BOLD, ни в GenBank нет сиквенсов, которые бы сформировали одну

группу с сибирским и английским образцами. Таким образом, наш образец, депонированный в BOLD и достоверно идентифицированный по морфологии, может использоваться как референсный для молекулярно-генетической идентификации вида.

Обсуждение

Обособленная филогенетическая линия *P. bursarius* на тополе лавролистом в Сибири. Проведенный филогенетический анализ с вовлечением образцов вида из Сибири указывает на высокую внутривидовую изменчивость *P. bursarius* по гену *COI*, что само по себе не является исключительным для тлей. Однако генетическая дистанция (более 5%) между хакасским образцом, собранным с тополя лавролистного (*Pop. laurifolia*), и всеми остальными проанализированными образцами *P. bursarius*, включая два наших из Красноярска и Туры (с тополя черного), требует особого внимания.

Ранее Г.Х. Шапошников (1964) предположил существование двух подвидов *P. bursarius* – европейского и

азиатского – на основе морфологических различий и приуроченности к разным видам тополей. Наши молекулярные данные свидетельствуют о существовании отдаленной филогенетической линии: выявленный разрыв превышает известное пороговое значение для разграничения близких видов тлей (Aphididae) (Coeur d'acier et al., 2014; Kang et al., 2026). В исследовании Coeur d'acier et al. (2014) на репрезентативной выборке из 1020 образцов тлей (274 вида, 87 родов) из разных стран Европы показано, что внутривидовая изменчивость у тлей по *COI* может достигать 3.9% (Coeur d'acier et al., 2014). Вместе с тем, анализ 125 морфовидов тлей, представленных 566 экземплярами, из Кореи «сузил» пороговое значение внутривидовой

изменчивости до 2% (Kang et al., 2026). Таким образом, установленная нами дистанция в 5.2% почти вдвое превышает известные пороговые значения, используемые для разграничения видов тлей по гену *COI*.

P. bursarius – изначально палеарктический – давно расселился в Евразии, а после инвазии в прошлом веке в Северную Америку его можно считать голактическим видом, развивающимся на тополях секций *Aigeiros* и *Tacamahaca*. Для него характерен переход между растениями-хозяевами: в Северной Азии *P. bursarius* перешел с тополя черного *Pop. nigra* (*Aigeiros*) на лавролистный *Pop. laurifolia* (*Tacamahaca*). По нашему мнению, трофические переходы вида мог произойти вследствие расширения ареала пемфига: так могли возникнуть европейская (на *Aigeiros*) и азиатская (на *Tacamahaca*) расы *P. bursarius* с приуроченностью к разным видам растений-хозяев – к *Pop. nigra* и *Pop. laurifolia*, соответственно. Не исключено, что европейская раса могла повторно проникнуть в Восточную Сибирь в результате интродукции *Pop. nigra* в населенные пункты, где уже существовала азиатская раса на *Pop. laurifolia*. В итоге в Восточной Сибири могут сосуществовать две филогенетические линии тлей *P. bursarius*, закрепившиеся на тополях двух секций, – феномен, который, по всей видимости, мы и наблюдаем в регионе исследования.

Несколько независимых случаев интродукции *P. bursarius* задокументировано в Японии: вид был занесен с тополем черным из Европы или Азии (Lee, Akimoto, 2013). Первичным хозяином здесь выступает тополь черный, вторичными – салат (*Lactuca*), что дает возможность виду продолжить распространение в стране через

перемещение сельскохозяйственной продукции человеком (Lee, Akimoto, 2013). Японские популяции, учитывая их связь с тополем черным, скорее всего представлены европейской расой *P. bursarius*.

Проблема разграничения *P. matsumurai* и *P. sinobursarius*. Формирование образцами *P. matsumurai* из Сибири и Китая единого кластера с депонированными в GenBank образцами, идентифицированными как *P. sinobursarius*, говорит о невозможности разделения двух видов по гену *COI* мтДНК. Аналогичный результат был получен китайскими исследователями: по трем генам (*COI*, *COII* and *EF-1α*) ими не было найдено различий между *P. sinobursarius* и *P. matsumurai* (Liu et al., 2014). Это может являться свидетельством того, что *P. sinobursarius* – молодой вид, генетическое расхождение которого от *P. matsumurai* еще не произошло. Это предположение, однако, требует дальнейших исследований с применением интегративной таксономии.

Референсные ДНК-баркоды *P. populi* и *P. passeki*. Образцы *P. populi* и *P. passeki* из Сибири, достоверно идентифицированные по морфологическим признакам, могут служить референсными для видовой молекулярно-генетической идентификации. В молекулярно-генетических базах BOLD и GenBank до настоящего времени верифицированные сиквенсы данных видов отсутствовали. Особого внимания заслуживает высокое сходство сибирского образца *P. populi* с неидентифицированным образцом из Англии. Это может свидетельствовать о широком распространении представителей данного генетического кластера в Евразии.

Заключение

В Хакасии выявлена филогенетически обособленная линия *P. bursarius* на тополе лавролистном, значительно отдаленная от популяций, развивающихся на тополе черном в Сибири, Европе и Северной Америке. Подчеркнута невозможность разделения двух видов *P. matsumurai* и *P. sinobursarius* на основе ДНК-баркодинга в связи с

высоким родством и формированием видами единой филогенетической клады. Впервые получены референсные ДНК-баркоды *P. populi* и *P. passeki* из Сибири, которые могут быть использованы в системах ДНК-баркодинга для видовой идентификации.

Благодарности

Авторы благодарят Баранчикова Ю.Н. (ИЛ СО РАН, Красноярск) за постоянную помощь и поддержку, а также двух анонимных рецензентов за замечания. Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 22-16-00075-П.

Библиографический список (References)

- Бакулин ВТ (1990) Интродукция и селекция тополя в Сибири. Новосибирск: Наука. 174 с.
- Баранчиков ЮН, Бабичев НС (2015) К фауне и идентификации галлообразующих тополёвых тлей-пемфигов (Sternorrhynae, Pemphiginae, Pemphigini) лесостепных ландшафтов Приенисейской Сибири. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 211:254–269.
- Долин ВГ, ред (1987) Вредители сельскохозяйственных культур и лесных насаждений. Вредные нематоды, моллюски, членистоногие. Том 1. Киев: Урожай. 440 с.
- Долгова ЛП (1969) Тли подсемейства Pemphiginae (Homoptera, Aphidinea), вредящие тополям в Алтайском крае. *Дисс. ... к.б.н.* Барнаул. 143 с.
- Воробьева ММ, Жоров ДГ (2023) Экологические особенности и ДНК-штрихкодирование чужеродных видов Aphidoidea, включенных в Черную книгу инвазивных видов животных Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология* 2:25–39
- Зерова МД, Мамонтова ВА, Ермоленко ВМ, Дьякончук ЛА и др., ред (1991) Насекомые-галлообразователи культурных и дикорастущих растений европейской части СССР. Равнокрылые, чешуекрылые, жестkokрылые, полужестkokрылые. Киев: Наукова думка. 344 с.
- Ивановская ОИ (1977) Тли Западной Сибири: часть 2. Семейство Aphididae. Новосибирск: Наука. 328 с.
- Колесникова ЕВ, Бондаренко ГН (2020) Применение метода полимеразной цепной реакции для идентификации преимагинальных стадий *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931). *Фитосанитария. Карантин растений* 3:33–40
- Шапошников ГХ (1964) Подотряд Aphidinea – Тли. В кн.: Бей-Биенко ГЯ (ред) Определитель насекомых Европейской части СССР. Том 1. М.–Л.: Наука. 489–616.

- Babichev NS, Baranchikov YN, Kuzhuget SV, Knyazev SYu, Dementeva MK, Malikova EI, Kirichenko N (2023) An annotated checklist of gall-forming poplar aphids (Sternorrhyncha: Aphididae, Pemphigini) from Asian part of Russia. *Acta Biologica Sibirica* 9:317–347. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7886763>
- Babichev N, Kirichenko N (2020) Diversity and distribution of gall-forming aphids of the genus *Pemphigus* (Sternorrhyncha: Aphididae, Pemphigini) in Eastern Siberia. *J Asia-Pacific Biodiv* 13(1):339–348. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2020.07.002>
- Coeur d'acier A, Cruaud A, Artige E, Genson G et al (2014) DNA barcoding and the associated PhylAphidB@se website for the identification of European Aphids (Insecta: Hemiptera: Aphididae). *PLoS ONE* 9(6):e97620. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097620>
- Hebert PDN, Cywinska A, Ball SL, deWaard JR (2003) Biological identifications through DNA barcodes. *Proc Royal Soc* 270(1512):313–321. <http://doi.org/10.1098/rspb.2002.2218>
- Footitt RG, Maw HEL, von Dohlen CD, Hebert PDN (2008) Species identification of aphids (Insecta: Hemiptera: Aphididae) through DNA barcodes. *Mol Ecol Res* 8(6):1189–1201. <http://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2008.02297.x>
- Favret C & Aphid Taxon Community, eds. (2026) Blackman & Eastop's Aphids on the World's Plants, version 2.0. (05.04.2026). <https://aphidsonworldsplants.info/> (22.06.2026)
- Ivanova NV, de Waard JR, Hebert PDN (2006) An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA. *Mol Ecol Notes* 6:998–1002. <http://doi.org/10.1111/J.1471-8286.2006.01428.X>
- Kang Y, Lee H, Park DK, Akimoto S et al (2026) High utility of DNA barcoding for species identification and cryptic diversity in Korean aphids (Hemiptera: Aphididae). *Sci Rep* 16(1):9307. <http://doi.org/10.1038/s41598-026-38901-0>
- Lee W, Akimoto S (2013) Recent multiple introductions of the gall-forming aphid *Pemphigus bursarius* into Japanese islands. *Entomol Sci* 16(2). <http://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2012.00556.x>
- Li Q, Deng J, Chen C, Zeng L et al (2020) DNA barcoding subtropical aphids and implications for population differentiation. *Insects* 11(11). <https://doi.org/10.3390/insects11010011>
- Liu L, Li XY, Huang XL, Qiao GX (2014) Evolutionary relationships of *Pemphigus* and allied genera (Hemiptera: Aphididae: Eriosomatinae) and their primary endosymbiont, *Buchnera aphidicola*. *Insect Sci* 21(3):301–312. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12113>
- Miller GL, Footitt RG (2009) The taxonomy of crop pests: the aphids. In: Footitt RG, Adler PH (eds) *Insect Biodiversity: Science and Society*. Chichester: John Wiley & Sons. 463–473. <http://doi.org/10.1002/9781444308211.ch20>
- Ratnasingham S, Hebert PDN (2007) BOLD: The Barcode of Life Data System (<http://www.barcodinglife.org>). *Mol Ecol Notes* 7:355–364. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01678.x>
- Ratnasingham S, Hebert PDN (2013) A DNA-based registry for all animal species: The Barcode Index Number (BIN) System. *PLOS ONE* 8(8):e66213. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066213>
- Tamura K, Stecher G, Kumar S (2021) MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 11. *Mol Biol Evol* 38(7):3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Wieczorek K, Chłond D, Jousselin E, Coulson JS (2024) The lost generation of *Pemphigus populiglobuli* (Hemiptera, Aphididae): exploring the taxonomy of the Svalbard aphids of genus *Pemphigus*. *Zool Lett* 10(21):1–22. <https://doi.org/10.1186/s40851-024-00245-w>

Translation of Russian References

- Bakulin VT (1990) [Introduction and breeding of poplars in Siberia]. Novosibirsk: Nauka. 174 p. (In Russian)
- Baranchikov YuN, Babichev NS (2015) [On the fauna and identification of gall-forming poplar aphids-pemphigus (Sternorrhyncha, Pemphiginae, Pemphigini) of forest-steppe landscapes of Yenisei Siberia]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* 211:254–269 (In Russian)
- Dolgova LP (1969) [Aphids of Pemphiginae (Homoptera, Aphidinea) that harm poplars in the Altai Territory]. *Dr. Biol. Thesis*. Barnaul. 143 p. (In Russian)
- Dolin VG, ed (1987) [Pests of agricultural crops and forest plantations. Harmful nematodes, mollusks, arthropods. Volume 1]. Kiev: Urozhay. 440 p. (In Russian)
- Ivanovskaya OI (1977) [Aphids of Western Siberia: part 2. Family Aphididae]. Novosibirsk: Nauka. 328 p. (In Russian)
- Kolesnikova EV, Bondarenko GN (2020) Application of polymerase chain reaction method for identification of preimaginal stages of *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931). *Plant Health and Quarantine* 3:32–40. <https://doi.org/10.69536/FKR.2020.50.28.001>
- Shaposhnikov GC (1964) [Aphidinea suborder – Aphids]. In: Bey-Bienko GYa (ed.) *Determinant of insects of the European part of the USSR*. Vol. I. M.–L.: Nauka. 489–616. (In Russian)
- Vorobyova MM, Zhorov DG (2023) Ecological characteristics and DNA barcoding of alien aphidoidea species included in the Black book of invasive animal species of Belarus. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* 2:25–39. (In Russian)
- Zerova MD, Mamontova VA, Ermolenko VM, Dyakonchuk LA et al ed (1991) [Gall-forming insects of cultivated and wild plants of the European part of the USSR. Homoptera, Lepidoptera, Coleoptera, Hemiptera]. Kiev: Naukova dumka. 344 p. (In Russian)

MOLECULAR-GENETIC CHARACTERISTICS OF GALL-FORMING APHIDS
PEMPHIGUS SPP. – THE PESTS OF POPLARS IN YENISEI SIBERIAN.S. Babichev¹, M.A. Ryazanova^{1,2}, I.A. Mikhailova¹, N.I. Kirichenko^{1,2,3*}¹ V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center
«Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Krasnoyarsk, Russia² Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia³ All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU “VNIKR”), Bykovo, Moscow Oblast, Russia*corresponding author; e-mail: nkirichenko@yahoo.com

Pemphigus aphids (Hemiptera: Aphididae: Pemphigini) are gall-forming pests of poplars and agricultural crops. Morphological variability and cryptic species hinder taxonomic identification and range assessment. The molecular genetics of Palearctic species remain poorly understood, and no such studies have been conducted for Siberian representatives. Our pioneer study presents the results of DNA barcoding and analysis of genetic variability of four species (*Pemphigus bursarius*, *P. matsumurai*, *P. passeki*, *P. populi*) collected in Krasnoyarsk Krai and the Republic of Khakassia and identified by morphology. Holarctic species *P. bursarius* demonstrated high intraspecific variability (2.93%) in *COI* mtDNA gene. The Siberian specimens of this species from black poplar (*Pop. nigra*) were genetically close to the Canadian population. A specimen from the Republic of Khakassia from laurel poplar (*Pop. laurifolia*) showed a genetic distance of 5.2% from *P. bursarius* from *Pop. nigra*, highlighting the presence of a distant lineage. The Siberian specimen of *P. matsumurai* grouped with Chinese specimens of the same species and with specimens of *P. sinobursarius* stored in GenBank (the genetic distance varied from 0.46 to 1.04%), not allowing to split these species using DNA barcoding. For the first time, DNA barcodes of *P. populi* and *P. passeki* have been obtained, which can serve as reference sequences for species identification. This study lays the ground for building molecular genetic libraries to study the phylogenetics and phylogeography of *Pemphigus* spp. in Siberia, and for developing reference DNA barcodes enabling precise identification and analysis of invasive processes in pest species.

Keywords: gall-inducing aphids, DNA barcoding, intraspecific variability, poplars, Krasnoyarsk Area, Republic of Khakassia

Submitted: 24.04.2026

Accepted: 30.06.2026

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АКАРИЦИДОВ В БОРЬБЕ С КЛЕЩОМ *BLATTISOCIUS TARSALIS* В ТЕХНОЛОГИИ МАССОВОГО РАЗВЕДЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ МОЛИ *SITOTROGA CEREALELLA*

Г.П. Иванова*, Т.И. Васильева, Н.А. Белякова

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

*ответственный за переписку, e-mail: galinaivanova-vizr@yandex.ru

Яйца зерновой моли *Sitotroga cerealella* широко используются в качестве корма при наработке энтомофагов. Хищный клещ *Blattisocius tarsalis*, заселяющий технологические помещения, повреждает яйца и негативно влияет на развитие моли. Это снижает эффективность технологий разведения энтомофагов на естественном заменителе природного корма – яйцах зерновой моли. Специфика проблемы контроля хищных клещей на биотехнологических производствах состоит в том, что препарат должен уничтожить клеща, не оказывая негативного влияния на основной продукт – яйца зерновой моли. По этой причине и возникла необходимость поиска современных акарицидов для борьбы с *B. tarsalis* при производстве яиц ситотроги. В лабораторных экспериментах проведена оценка эффективности современных акарицидов против *B. tarsalis*: Вертимека, КЭ (18 г/л); Ортуса, СК (50 г/л); Санмайта, КЭ (150 г/л) и Флорамайта, СК (240 г/л). Среди изученных препаратов наибольший токсический эффект был получен при использовании пиридабена (Санмайт, КЭ). Препарат в концентрации 0.2% не только вызывал 100% гибель клеща на первые сутки после применения, но и был практически безопасен для гусениц *S. cerealella*, отрождающихся из обработанных яиц. В условиях биотехнологического производства для обработки яиц целесообразно использовать плоские закрывающиеся пластиковые ёмкости, наружные и внутренние поверхности которых обрабатывают акарицидом. После высыхания рабочей жидкости, в них тонким слоем рассыпают яйца ситотроги, заселенные клещом и предварительно иммобилизованные в бытовом холодильнике. Экспозиция составляет 1–2 суток. Применение акарицида должно быть дополнением к комплексу профилактических и санитарных мероприятий, принятых при наработке яиц зерновой моли в качестве корма для энтомофагов.

Ключевые слова: энтомофаги, массовое разведение, хищные клещи, синтетические пестициды

Поступила в редакцию: 03.02.2026

Принята к печати: 10.06.2026

Введение

Зерновая моль *Sitotroga cerealella* Olivier широко используется в массовом разведении энтомофагов (трихограмма, клопы мириды и антокориды, кокциnellиды, златоглазки) (van Lenteren, 2003; Tunçbilek et al., 2009; Cherif et al., 2021; Pathrose et al., 2023; Moreno-Mayorga et al., 2026). Яйца зерновой моли (ситотроги) являются естественным заменителем природных кормов для энтомофагов как на биотехнологических производствах, так и в теплицах для поддержания хищников в отсутствии целевого вредителя (Пазюк, 2023; Pijnakker et al., 2020; De Clercq et al., 2023).

Как в России, так и за рубежом были разработаны и постоянно совершенствуются технологии массового производства *S. cerealella*, которые базируются на использовании в качестве субстрата зерна ячменя, пшеницы или риса (Wang et al., 2014; Parra, Coelho, 2022; Ghaemmaghami et al., 2022; Atapour et al., 2022; Chowdhury et al., 2025, 2026; Тронь и др., 1984; Гринберг и др., 1981; Модин и др., 2025).

Естественно, зерно перед заражением его молью должно быть свободно от других членистоногих, как вредителей, так и хищников, поэтому чистота зерна – важный фактор успешного разведения ситотроги при массовой её наработке для питания энтомофагов. Одним из таких хищников является клещ *Blattisocius tarsalis* Berlese: Mesostigmata, Ascidae, повреждающий яйца зерновой моли.

Клещ отличается высокой двигательной активностью как на свету, так и в темноте, сохраняет жизнеспособность при температуре воздуха до +9°C. Прожорливость клеща не зависит от возраста яиц моли, он может питаться также и замороженными яйцами. Яйца хищник откладывает на зерно, яйца жертвы и другие разнообразные поверхности, что способствует его активному расселению (Nielsen, 2001; Parsons et al., 2026).

Следует отметить, что *B. tarsalis* применяется при биологической защите зерна в хранилищах от различных видов чешуекрылых, например, *Ephestia cautella*, *Tecia solanivor*, хрущака *Tribolium castaneum* (Haines, 1981; Gavara et al., 2023; del Arco et al., 2025).

B. tarsalis повреждает не только яйца чешуекрылых-вредителей запасов, но и снижает плодовитость и продолжительность жизни имаго (Haines, 1981; Romeih, 2007). Поэтому одной из важнейших задач массового разведения ситотроги является чистота используемого зерна и получаемых яиц.

Для обеззараживания зерна широко используют автоклавирование и фумигацию. Кроме того, для этой цели тестируются СВЧ установки, а также озонаторы и установки для влажной обработки зерна (Paul et al., 2020). Результаты свидетельствуют, что дезинфекция зерна СВЧ и озоном позволяет обеспечивать полное обеззараживание зерна,

но при этом зерно становится очень сухим, что негативно влияет на развитие гусениц ситотроги (Gad et al, 2025, 2026). Кроме того, профилактических мер часто недостаточно для полного уничтожения клещей.

Следует отметить, что на производстве ситотроги зерно может быть заражено не только хищными клещами рода *Blattisocius*, но и представителями семейства Tyroglyphidae, приносящими вред зерновым продуктам (пузатый клещ, волосатый обыкновенный клещ и др.). Поэтому акарициды применяли против всего комплекса клещей, не выделяя отдельные целевые объекты. Ранее для

этих целей использовались кельтан, эризит, респин (Stein, 1960), мильбекс, акрекс (Еремянц и др., 1984). В настоящее время эти препараты исключены из обращения для применения в сельском хозяйстве.

В этой связи цель наших исследований заключалась в выявлении современных эффективных акарицидов, обладающих высоким токсическим действием против хищного клеща *B. tarsalis* и в то же время безопасных в отношении отрождающихся из яиц гусениц ситотроги для использования их в маточниках.

Материалы и методы

Тест-объектами исследований служили яйца *S. cerealella* и хищный клещ *B. tarsalis*. Опытные образцы получены из лаборатории биологической защиты растений ФГБНУ ВИЗР.

В качестве средств борьбы с хищным клещом из ассортимента акарицидов, представленных в Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации (2020) выбраны следующие препараты: Вертимек, КЭ (18 г/л абамектина), Ортус, СК (50 г/л фенпироксимата), и Санмайт, КЭ (150 г/л пиридабена). При выборе препаратов мы ориентировались на наличие высокой степени акарицидного эффекта и овицидной активности, в связи с чем в исследование был также включен перспективный акарицид Флорамайт с действующим веществом бифеназат, СК (240 г/л).

Вертимек, КЭ (18 г/л абамектина) относится к классу авермектинов, созданному на основе токсинов бактерии *Streptomyces avermitilis*. Действующее вещество относится к высокотоксичным соединениям (LD_{50} 10–13 мг/кг), однако количество его в форме препарата низкое – 18 г/л. Абамектин – нейротоксическое соединение, стимулятор рецептора гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК), подавляет нервную проводимость к нервам и мышцам, парализуя членистоногих. Акарицид в отношении разных видов растительноядных клещей, однако проявляет и инсектицидные свойства, в том числе против чешуекрылых. Обладает постовицидным эффектом.

Ортус, СК (50 г/л фенпироксимата) относится к химическому классу феноксипиразолов. Среднетоксичное соединение – LD_{50} 245–480 мг/кг. Фенпироксимат ингибирует транспорт электронов в митохондриях, что приводит к нарушению дыхания. Препарат действует также как ингибитор синтеза хитина. Акарицид контактного действия с наличием овицидного эффекта для борьбы с многими видами растительноядных клещей, в том числе, *Panonychus ulmi* Koch, *Briobia redikozzevi* Reck., *Tetranychus viennensis* Zacher, *Tetranychus urticae* Koch, *Schizotetranychus pruni* Oudms, *Phyllocoptruta oleivora* Ashm.

Санмайт, КЭ (150 г/л пиридабена). Малотоксичное соединение – LD_{50} 820–1350 мг/кг. Действующее вещество относится к химической группе пиридазинов, ингибитор транспорта электронов митохондриального комплекса. Препарат является контактным акарицидом, действует на все стадии развития растительноядных клещей семейств Tetranychidae, Bryobidae, Eriophidae. Помимо высоких акарицидных свойств, обладает инсектицидным эффектом в отношении сосущих насекомых, в частности, белокрылок. Существует также форма препарата СП (200 г/кг

пиридабена). В наших исследованиях использовалась форма КЭ.

Флорамайт, СК (240 г/кг бифеназата). Малотоксичное соединение – LD_{50} для крыс больше 5000 мг/кг. Действующее вещество бифеназат – представитель нового химического класса карбазаты. Мобильные стадии клещей, обработанные Флорамайтом, становятся гиперактивными и прекращают питаться в течение 3 часов после применения препарата. Несистемный акарицид с преимущественно контактным действием и длительной остаточной активностью для всех стадий клещей – фитофагов на различных культурах, в частности, *Panonychus citri* Mc Gregor, *Tyrophagus putrescentiae* Schran, *Oligonychus ununguis* Jacobi.

Работа проводилась в лаборатории агроэкотоксикологии Центра биологической регламентации использования пестицидов ФГБНУ ВИЗР традиционными методами токсикологических исследований, модифицированными с учетом специфики тест-объектов (Сухорученко и др., 2018). При этом предварительно были опробованы несколько вариантов обработки подопытного материала, размещенного в чашках Петри диаметром 4 см:

1. обработка яиц ситотроги вместе с клещом;
2. подсадка клеща на предварительно обработанный корм (яйца ситотроги);
3. рассыпание после высыхания рабочей жидкости тонким слоем яиц ситотроги заселенных клещом (при определении акарицидного эффекта) или без клеща (для определения влияния обработки акарицидами на отрождение гусениц).

Учитывая высокую подвижность клеща, в третьем варианте обрабатывали внутреннюю и наружную поверхность чашки, крышки и лотка, на которые устанавливали чашки по вариантам опытов, что обеспечивало максимальный контакт с препаратом при движении клеща по обработанной поверхности. Для обработки использовали лабораторный опрыскиватель с мелким распылом капель.

Первый и второй варианты были нами забракованы: в первом опрыскивание яиц отрицательно влияло на их состояние, образовывались стойкие комочки и наблюдалась активная миграция клеща; во втором способе затруднялась подсадка клеща, связанная с его подвижностью, которая быстро восстанавливалась даже после иммобилизации холодом. Третий способ оказался достаточно удобен и прост в выполнении как при определении эффективности препаратов, так и оценке их влияния на отрождение гусениц. При выборе эффективной концентрации учитывалась необходимость высокой смертности *B. tarsalis*, чья видовая чувствительность к изучаемым акарицидам неизвестна и

её определяли в предварительных опытах. Для Вертимека, КЭ она составила 1 %, Ортуса, СК – 0.1 %, Флорамайта, СК и Санмайта, КЭ – 0.2 %. Все концентрации приводятся по препарату. Учитывая легкую субстанцию яиц ситотроги размер учетной пробы составлял 0.25 см³ для определения эффективности и 0.015 см³ в случае отрождения гусениц.

Опыты проводили при температуре воздуха +23–24 °С, относительной влажности воздуха 65–68 %. Для предотвращения миграций клеща крышка чашки Петри фиксировалась резинкой. Повторность опытов четырехкратная. Материал предварительно иммобилизовали в бытовом холодильнике в течение 15 минут. Учёты численности клеща осуществляли на 1, 2, 5 и 7 сутки, гусениц ситотроги – на 3, 5 и 7 сутки, используя бинокляр Stemi 2000-С.

Биологическую эффективность акарицидов определяли по снижению численности клеща с учетом изменений в контроле по формуле Хендерсона и Тилтона (Henderson, Tilton, 1955), которая учитывает изменения

численности как в опытном, так и контрольном вариантах: $\mathcal{E} = 100 \times (1 - O_n K_o / O_o K_n)$, где $\mathcal{E}$ – эффективность, выраженная процентом снижения численности вредителя с поправкой на контроль; O_o – число живых особей перед обработкой в опыте; O_n – число живых особей после обработки в опыте; K_o – число живых особей в контроле в предварительном учете; K_n – число живых особей в контроле в последующие учеты.

Степень влияния акарицидов на отрождаемость гусениц ситотроги из обработанных яиц рассчитывали по отношению к контролю по формуле Аббота (Abbott, 1925): $\mathcal{E} = 100 \times (A - B) / A$, где $\mathcal{E}$ – эффективность, выраженная процентом снижения численности; A – средняя численность отродившихся гусениц в контроле по срокам учета; B – средняя численность отродившихся гусениц в опыте после обработки. Для статистической обработки результатов использовали t-критерий Стьюдента.

Результаты

Анализ токсичности акарицидов свидетельствует о разном уровне её проявления в отношении клеща *B. tarsalis*. Так, на первые сутки в варианте Вертимека несмотря на высокую концентрацию препарата, оставалось большое количество подвижных клещей, а максимальная их гибель (100 %) отмечалась только к 7 суткам (табл. 1). Аналогичные данные получены на *T. urticae*. Обработанные Вертимеком особи снижают активность питания, но остаются подвижными в течение нескольких дней (Яковлева, Мешков, 2011).

Если для применения по вегетирующим растениям такая особенность действия препарата не влияет на его итоговую биологическую эффективность, то для защиты ситотроги от *B. tarsalis* в условиях массового разведения задержка летального эффекта нежелательна.

Препарат Ортус также не проявил требуемого акарицидного эффекта, поскольку и на 7 сутки его эффективность составляла только 73.3 %, а в чашках в этот период наблюдались вполне активные особи клеща (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Динамика численности *Blattisocius tarsalis* после обработки акарицидами

Table 1. Dynamics of *Blattisocius tarsalis* abundance after acaricide treatment

Вариант опыта Experimental variant	Среднее количество особей в пробе Average number of mites in the sample				
	до обработки before treatment	1 сут. 1 day	2 сут. 2 days	5 сут. 5 days	7 сут. 7 days
Вертимек, КЭ (18 г/л) / Vertimek EC (18 g/L)	13.8±0.06	10.5±0	7.0±0	1.8±0.06	0
Ортус, СК (50 г/л) / Orthus SK (50 g/L)	13.3±0.06	10.8±0.06	7.5±0	5.0±0	3.3±0.06
Флорамайт, СК (240 г/л) / Floramite SK (240 g/L)	13.3±0.06	3.5±0	2.3±0.06	0.8±0.4	0.5±0.3
Санмайт, КЭ (150 г/л) / Sanmite EC (150 g/L)	15.0±0	0	0	0	0
Контроль / Control	12.0±0	11.3±0.06	11.3±0.06	11.0±0.30	10.8±0.30

Примечание: Клеща обрабатывали в кормовом субстрате – яйцах ситотроги, объем пробы для обработки – 0.25 см³ яиц.
Note: The mites were treated within the food substrate (grain moth eggs); the treatment sample volume was 0.25 cm³ of eggs.

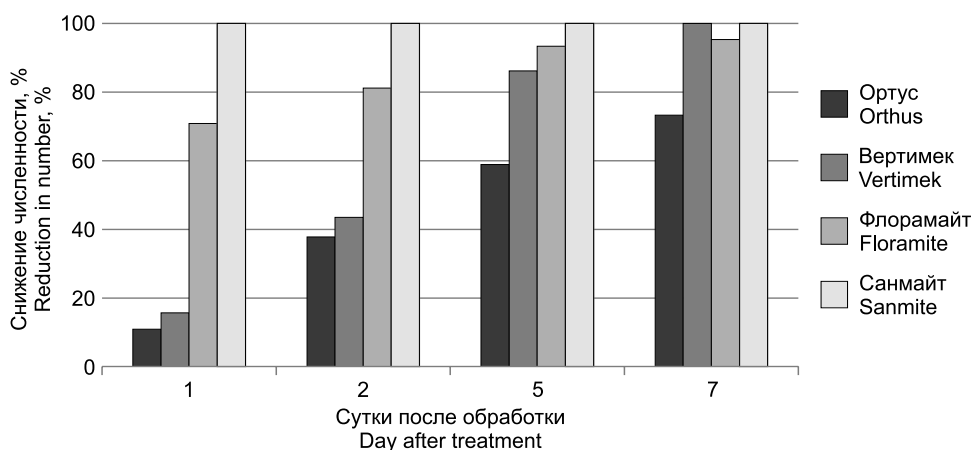


Рисунок 1. Биологическая эффективность акарицидов в подавлении численности *Blattisocius tarsalis*

Figure 1. Biological efficacy of acaricides in suppressing the abundance of *Blattisocius tarsalis*

В варианте с Флорамайтом уже на первые сутки учетов отмечалось достаточно активное снижение численности *B. tarsalis* – с 13.3 особей до 3.5 на первые сутки и 0.5 особей на 7 сутки, что составило 95.3% от контрольного варианта. Самый высокий начальный и продолжительный токсический эффект был получен при использовании Санмайта – 100% гибель клеща наблюдалась уже в первые сутки применения препарата. Спустя 7 суток в чашках не отмечалось живых клещей и личинок, что может быть связано в том числе и с проявлением у этого акарицида против хищного клеща высокого овицидного эффекта (табл. 1). Таким образом, полученные нами материалы свидетельствуют, что из изученных акарицидов наиболее перспективным, обладающим высокой начальной токсичностью и продолжительностью защитного действия против *B. tarsalis*, является Санмайт в концентрации препарата 0.2%.

Таблица 2. Динамика отрождения гусениц зерновой моли *Sitotroga cerealella* после обработки акарицидами на стадии яйца

Table 2. Hatching of *Sitotroga cerealella* larvae after acaricide treatment at the egg stage

Вариант опыта Experimental variant	Среднее число в пробе The average number in the sample				Динамика отрождения гусениц относительно числа яиц после обработки, % Dynamics of larval hatching relative to the number of eggs after treatment, %		
	яиц до обработки eggs before treatment	отродившихся гусениц после обработки hatched larvae after treatment			3 сут. 3 days	5 сут. 5 days	7 сут. 7 days
		3 сут. 3 days	5 сут. 5 days	7 сут. 7 days			
Вертимек, КЭ (18 г/л) Vertimek EC (18 g/L)	93.2±0.06	0	6.5±0	46.2±0.06	0	7.0	49.6
Ортус, СК (50 г/л) Orthus SK (50 g/L)	97.5±0	0	28.8±0.06	72.5±0	0	29.5	74.4
Флорамайт, СК (240 г/л) Floramite SK (240 g/L)	92.2±0.1	0	35.0±0	82.3±0.35	0	38.0	89.3
Санмайт, КЭ (150 г/л) Sanmite EC (150 g/L)	95.8±0.06	0	56.0±0	94.5±0.87	0	58.5	98.6
Контроль Control	92.5±0	0	54.8±0.06	91.5±0.06	0	59.2	98.9

Остальные препараты для отрождающихся гусениц были в разной степени токсичны. Максимальная токсичность была отмечена на 5 сутки у Вертимека (88.1), у Ортуса – 47.4%, Флорамайта – 36.1% (рис. 2). Применение Санмайта не оказало отрицательного влияния на отрождение гусениц моли – число отродившихся гусениц в этот период было на уровне контроля. На 7 сутки количество отрождающихся в этот период гусениц увеличилось вследствие снижения токсического действия препаратов: в варианте с Вертимеком оно составило 49.5%, Ортусом

– 20.7%, Флорамайтом – 10.1% (рис. 2). Количество отродившихся гусениц при применении Санмайта не отличалось от контрольного варианта.

Индуктированный уровень смертности гусениц составил 45% при обработке Вертимеком, что достоверно выше, чем в остальных вариантах опыта. Ортус и Флорамайт индуцировали сходный уровень смертности 22 и 8% соответственно. Санмайт не оказал негативного влияния на выживаемость гусениц (рис. 3).

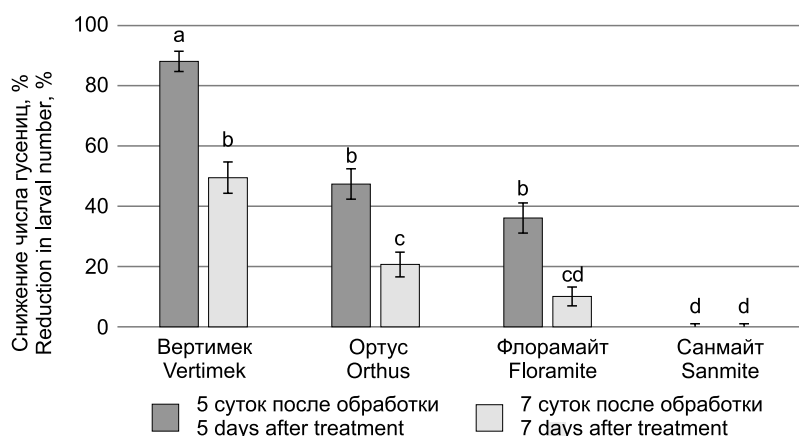


Рисунок 2. Снижение числа отродившихся гусениц зерновой моли *Sitotroga cerealella* относительно контроля после обработки акарицидами на стадии яйца. Одинаковыми буквами отмечены значения, которые достоверно не отличаются ($p > 0.05$)

Figure 2. Reduction in *Sitotroga cerealella* larval hatching relative to the control after egg-stage acaricide treatment. Values followed by the same letter do not differ significantly ($p > 0.05$)

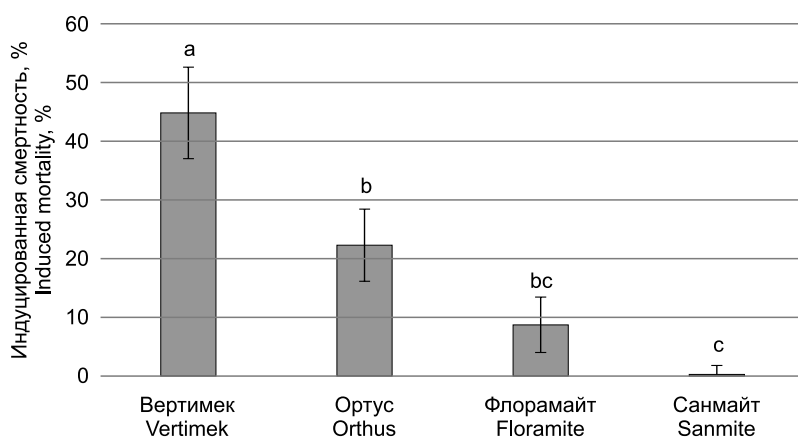


Рисунок 3. Индуцированная смертность гусениц зерновой моли *Sitotroga cerealella* на 7 день после обработки акарицидами на стадии яйца. Одинаковыми буквами отмечены значения, которые статистически не отличаются ($p > 0.05$)

Figure 3. Induced mortality of *Sitotroga cerealella* larvae on day 7 following acaricide treatment at the egg stage. Values followed by the same letter do not differ significantly ($p > 0.05$)

Обсуждение

Проблема защиты яиц зерновой моли на биофабриках от нежелательной акарифауны существует с момента разработки технологии массового разведения ситотроги (Щепетильникова, 1974). Применение для этих целей таких методов обеззараживания, как обработка бромметилом или автоклавирование исходного материала, не обеспечивало полного уничтожения клещей, в связи с чем требовалась химическая обработка. Для борьбы с комплексом хищных и сапротрофных клещей, обитающих на биофабриках, использовали кельтан (Stein, 1960), мильбекс и акрекс (Еремьянц и др., 1984), которые позже были исключены из списка разрешенных препаратов. Регламент целевых химических обработок против хищных клещей рода *Blattisocius* не разработан по настоящее время.

В исследованиях по оценке токсичности пестицидов в отношении конкретно клещей рода *Blattisocius* эти хищники рассматриваются в качестве энтомофагов вредителей запасов (Athanassiou, Palyvos, 2006; Yang et al., 2020). Поэтому целью данных работ является поиск препаратов и дозировок, которые позволяют сохранить клещей в зерне, а не уничтожить их. Погибнуть должны чешуекрылые-вредители запасов, а не клещи.

В частности, было выявлено, что сублетальные дозы хлорфенапира и хлорпирифоса сокращают жизнь и период яйцекладки самок хищного клеща *Blattisocius dentriticus*, не влияя на плодовитость, а доза LC50 значительно повышает активность детоксикационных ферментов (GST, CYP450, CarE). Установлено, что пестициды индуцируют экспрессию соответствующих генов, что обеспечивает базу для селекции резистентных популяций *B. dentriticus*

и применения в интегрированной защите растений (Yang et al., 2020).

Специфика проблемы контроля хищных клещей на биотехнологических производствах состоит в том, что препарат должен уничтожить клеща, не оказывая негативного влияния на основной продукт – яйца ситотроги. По этой причине и возникла необходимость поиска современных акарицидов для борьбы с *B. tarsalis* при производстве яиц ситотроги.

Оценка акарицидной активности Вертимека, КЭ (18 г/л), Ортуса, СК (50 г/л), Санмайта, КЭ (150 г/л) и Флорамайта, СК (240 г/л) свидетельствует о высоком уровне акарицидного действия Санмайта против хищного клеща *B. tarsalis* при наработке яиц ситотроги. В концентрации 0.2% по препарату акарицид вызывал 100% гибель клеща и был практически нетоксичен для гусениц зерновой моли, отрождающихся из обработанных яиц.

При производственном использовании для обработки яиц целесообразно использовать плоские закрывающиеся пластиковые ёмкости, наружные и внутренние поверхности которых обрабатывают акарицидом. После высыхания рабочей жидкости, в них тонким слоем рассыпают яйца ситотроги, заселенные клещом и предварительно иммобилизованные в бытовом холодильнике. Экспозиция обработки 1–2 суток в зависимости от численности хищника. Применение акарицида должно быть дополнением к комплексу профилактических и санитарных мероприятий, принятых при наработке чистого биологического материала (яиц ситотроги) в качестве корма для энтомофагов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту «Химический и биологический контроль основных сосущих вредителей на овощных культурах», Соглашение № 075-15-2025-651 (от 20.08.2025 г.) о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий.

Библиографический список (References)

- Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации (2020) Часть I. Инсектициды и акарициды. М.: Минсельхоз РФ. 8-143
- Гринберг ШМ, Тэрыцз КВ, Менчер ЭМ (1981) Повышение продуктивности зерновой моли. *Защита и карантин растений*, 10:20–21
- Еремьянц НМ, Юнусов А, Старовойтова ЕН (1984) Борьба с пузатым клещом. *Защита и карантин растений* 10:32–33
- Модин ДА, Добросовестный СВ, Цыганко АВ, Васильев МП, Зиновьев ПВ (2025) Устройство для выращивания яиц ситотроги. Патент на изобретение 2843029 С1
- Пазюк ИМ (2023) Evaluation of diets for mass rearing of the predatory bug *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera, Heteroptera,

- Miridae). *Вестник защиты растений* 106 (2):100–104. <http://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-2-15517>
- Сухорученко ГИ, Белякова НА, Иванова ГП, Козлова ЕГ и др (2018) Принципы оценки токсичности пестицидов для членистоногих, используемых для борьбы с вредителями в теплицах. *Энтомологическое обозрение* (98):979–984
- Тронь НМ, Дегтярев БГ, Дульгерова ВА, Вересенко АИ и др (1984) Модернизация технологии разведения зерновой моли. *Защита и карантин растений* 10:29–30
- Щепетильникова ВА (1974) Применение трихограммы в СССР. Биологические средства защиты растений. М.138–159
- Яковлева ИН, Мешков ЮИ (2011) Борьба с паутинными клещами в теплицах. *Защита и карантин растений* 3:27–31
- Abbott WS (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J Econ Entomol* 18: 265–267
- Atapour M, Abbaszadeh R, Kashi E (2022). Optimization of a new technique in mass-rearing of insects used in biological control of important pests. *Agrotech Ind Crops* 2(3):131–139. <https://doi.org/10.22126/atic.2022.8302.1065>
- Athanassiou CG, Palyvos NE (2006) Laboratory evaluation of two diatomaceous earth formulations against *Blattisocius keegani* Fox (Mesostigmata, Ascidae) and *Cheyletus malaccensis* Oudemans (Prostigmata, Cheyletidae). *Biol Control* 38 (3):350–355
- Cherif A, Mansour R, Grissa-Lebdi K (2021) The egg parasitoids *Trichogramma*: from laboratory mass rearing to biological control of lepidopteran pests. *Biocontrol Sci Technol* 31(7):661–693. <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1871469>
- Chowdhury N, Sardar B, Pal S, Roy N (2026) They are what they eat: the relationship between nutritional quality of rice cultivars and population growth of *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Bull Entomol Res* 116(2):167–178. <https://doi.org/10.1017/S0007485325100552>
- Chowdhury N, Sardar B, Roy N (2025) Performance of angoumois grain moth, *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae) on different hosts in varied storage conditions: a review. *Biol Bull Rev* 15: 209–219. <https://doi.org/10.1134/S2079086424601017>
- De Clercq P, Coudron TA, Riddick EW (2023) Production of heteropteran predators. In: Mass production of beneficial organisms. In: Morales-Ramos JA, Rojas MG, Shapiro-Ilan DI (eds) Academic Press. 37–69
- Del Arco L, Castañé C, Riudavets J (2025) Biological control of pests of stored cereals with the predatory mites *Blattisocius tarsalis* and *Cheyletus malaccensis*. *J Pest Sci* 98:1463–1474. <https://doi.org/10.1007/s10340-024-01857-z>
- Gad HA, Abd El-Ghaffar MM, Mohamed HA, Ibrahimet IL (2025) Effect of ozone on mortality and development of immature stages of *Sitotroga cerealella*. *J Stored Prod Res* 114:102778. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102778>
- Gad HA, Abd El-Ghaffar MM, Mohamed HA, Ibrahimet IL (2026) Effectiveness of microwave radiation on life stages of *Sitotroga cerealella* and its impact on chemical composition of wheat grains. *Hell Plant Prot J* 19(1):15–25. <https://doi.org/10.2478/hppj-2026-0003>
- Gavara J, Paris M, Hernández-Suárez E et al (2023) Postharvest biological control of guatemalan potato moth, *Tecia solanivora*, by *Trichogramma euproctidis* and *Blattisocius tarsalis*. *Agronomy* 13:2927. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13122927>
- Ghaemmaghani E, Fathipour Y, Bagheri A, Talebi AA et al (2022) Rejuvenation improves the quality of *Trichogramma brassicae* Bezdenko (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared for many generations on *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Egypt J Biol Pest Control* 32 (79). <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00581-z>
- Haines CP (1981) Laboratory studies on the role of an egg predator, *Blattisocius tarsalis* (Berlese) (Acari: Ascidae), in relation to the natural control of *Ephestia cautella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) in warehouses. *Bull Entomol Res* 71(4):555–574
- Henderson CF, Tilton EW (1955) Tests with acaricides against the brown wheat mite. *J Econ Entomol* 48(2):157–161
- Moreno-Mayorga LF, González CAZ, Sáenz Rojas SJ, Reyes Canales WA (2026) Analysis of the Bioeconomy Cost for *Sitotroga cerealella*: *Trichogramma pretiosum* and *Chrysoperla externa*. In: Pérez SGC, González CAZ, Jurado AT, Mercado F (eds) Sustainability in Latin America. Springer. 87–101. https://doi.org/10.1007/978-3-032-09787-3_7
- Nielsen PS (2001) Developmental time of *Blattisocius tarsalis* (Acari: Ascidae) at different temperatures. *Exp Appl Acarol* 25(7):605–608
- Parra JRP, Coelho A (2022) Insect rearing techniques for biological control programs, a component of sustainable agriculture in Brazil. *Insects* 13(1):105. <https://doi.org/10.3390/insects13010105>
- Parsons J, Campos-Rivela JM, Agusti N, Ferrer MTM et al (2026) Spatial and seasonal performance of *Blattisocius tarsalis* in stored grain environments. *J Stored Prod Res* 115:102884
- Pathrose B, Chellappan M, Ranjith MT (2023) Mass production of Insect predators. In: Commercial Insects CRC Press. 270–299
- Paul A, Radhakrishnan M, Anandakumar S, Shanmugasundaram S et al (2020) Disinfestation techniques for major cereals: A status report. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 19(3):1125–1155. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12555>
- Pijnakker J, Vangansbeke D, Duarte M, Moerkens R et al (2020) Predators and parasitoids-in-first: From inundative releases to preventative biological control in greenhouse crops. *Front Sustain Food Syst* 4:595630. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.595630>
- Romeih AH (2007) Efficacy of *Blattisocius tarsalis* (Berlese) (Acari: Ascidae) fed on eggs of *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae) at different temperatures. *J Plant Prot Pathol* 32(4):3141–3144
- Stein W (1960) Die Bekämpfung von Raubmilben in Sitotroga-Zuchten durch Anwendung selective wirkender Mittel. *Z Angew Entomol* 47(1):85–89
- Tunçbilek AS, Canpolat U, Sumer F (2009) Suitability of irradiated and cold-stored eggs of *Ephestia kuehniella* (Pyralidae: Lepidoptera) and *Sitotroga cerealella* (Gelechiidae: Lepidoptera) for stockpiling the egg-parasitoid *Trichogramma evanescens* (Trichogrammatidae: Hymenoptera) in diapause. *Biocontrol Sci Technol* 19(1):127–138. <https://doi.org/10.1080/09583150902985588>

- Van Lenteren JC (2003) Quality control and production of biological control agents: Theory and testing procedures. CABI Publishing. 327 pp.
- Wang ZY, He KL, Zhang F, Lu X et al (2014) Mass rearing and release of *Trichogramma* for biological control of insect pests of corn in China. *Biol Control* 68:136–144
- Yang JS, Cong L, Wang CL, Hou DY et al (2020) Effects of sublethal doses of chlorpyrifos and chlorfenapyr on the growth, reproduction and detoxification enzymes of *Blattisocius dentriticus* (Acari: Ascidae). *Acta Entomol Sin* 63(1):36–45

Translation of Russian References

- State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for use in the Russian Federation (2020) Part I. Insecticides and Acaricides. Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation. 8–143 (In Russian)
- Grinberg ShM, Teritsa KV, Mencher EM (1981) Increasing the Productivity of the Grain Moth. *Plant Protection and Quarantine* 10:20–21 (In Russian)
- Eremyants NM, Yunusov A, Starovoytova EN (1984) Control of the Pot-Bellied Mite. *Plant Protection and Quarantine* 10:32–33 (In Russian)
- Modin DA, Dobrosovestny SV, Tsyganko AV, Vasiliev MP, Zinoviev PV (2025) Device for Growing Sitotroga Eggs. Patent for Invention 2843029 C1 (In Russian)
- Pazyuk IM (2023) Evaluation of diets for mass rearing of the predatory bug *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera, Heteroptera, Miridae). *Plant Protection Bulletin* 106 (2):100–104.
- Plant Protection News, 2026, 109(2), p. 173–179
- OECD+WoS: 4.01+AM (Agronomy); 1.06+IY (Entomology)
- <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-2-15517> (In Russian)
- Sukhoruchenko GI, Belyakova NA, Ivanova GP, Kozlova EG et al (2018) Principles of assessing the toxicity of pesticides for arthropods used for pest control in greenhouses. *Entomological Review* (98): 979–984 (In Russian)
- Tron NM, Degtyarev BG, Dulgerova VA, Veresenko AI et al (1984) Modernization of grain moth breeding technology. *Plant Protection and Quarantine* 10:29–30 (In Russian)
- Shchepetilnikova VA (1974) Use of *Trichogramma* in the USSR. Biological Plant Protection Products. Moscow:138–159 (In Russian)
- Yakovleva IN, Meshkov YuI (2011) Control of spider mites in greenhouses. *Plant Protection and Quarantine* 3:27–31 (In Russian)
- <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2026-109-2-17632>

Full-text article

EFFECTIVENESS OF ACARICIDES IN THE CONTROL OF THE MITE *BLATTISOCIUS TARSALIS* IN THE MASS REARING TECHNOLOGY OF THE ANGOUMOIS GRAIN MOTH *SITOTROGA CEREALELLA*

G.P. Ivanova*, T.I. Vasilyeva, N.A. Belyakova

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

*corresponding author, e-mail: galinaivanova-vizr@yandex.ru

Eggs of *Sitotroga cerealella* are widely used as feed for the production of entomophagous insects. Predatory mite *Blattisocius tarsalis* inhabits the production facilities, damages eggs and negatively impacts moth development. This reduces the effectiveness of breeding technologies using grain moth eggs, a natural substitute for natural food. The specific problem of predatory mite control in biotechnological production is that the product must kill the mites without adversely affecting the main product – grain moth eggs. For this reason, the search for modern acaricides for the control of *B. tarsalis* in *S. cerealella* egg production has arisen. The efficacy of modern acaricides against *B. tarsalis* was assessed in laboratory experiments: Vertimek, EC (18 g/l); Ortus, SC (50 g/l); Sanmite, EC (150 g/l) and Floramite, SC (240 g/l). The greatest toxic effect was obtained with pyridaben (Sanmite, EC). The preparation at a concentration of 0.2% not only caused 100% mortality of ticks within the first 24 hours after application, but was also virtually safe for *S. cerealella* larvae hatching from treated eggs. In biotechnological production conditions, it is advisable to use flat, sealable plastic containers, the outer and inner surfaces of which are treated with an acaricide. After the working solution has dried, a thin layer of grain moth eggs, infested with mites and previously immobilized in a household refrigerator, is sprinkled into the solution and exposed for 1–2 days. The use of an acaricide should complement the preventive and sanitary measures taken when producing grain moth eggs.

Keywords: natural enemies, mass rearing, predatory mites, synthetic pesticides

Submitted: 03.02.2026

Accepted: 10.06.2026

ТОКСИЧНОСТЬ ИНСЕКТИЦИДОВ ДЛЯ КАПУСТНОЙ МОЛИ *PLUTELLA XYLOSTELLA* В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

Д.А. Емельянов*, Г.П. Иванова, Г.И. Сухорученко

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

*ответственный за переписку, e-mail: dimitriy.nord@yandex.ru

В Ленинградской области в 2023–2024 гг. выявлено развитие множественной резистентности в локальных популяциях капустной моли *Plutella xylostella* к инсектицидным соединениям из разных химических классов, применяемым в борьбе с вредителем на капусте белокочанной и рапсе яровом, широко возделываемых в Северо-Западном регионе. При этом на капусте белокочанной в Тосненском и Пушкинском районах установлено развитие групповой резистентности к пиретроидам (частота встречаемости резистентных особей от 20 до 100 %), что привело к снижению биологической эффективности наиболее интенсивно используемых инсектицидов лямбда-цигалотрина и дельтаметрина, а также некоторых комбинированных препаратов, в состав которых входит лямбда-цигалотрин и альфа-циперметрин. На обеих культурах обнаружен начальный этап развития резистентности у капустной моли к органофосфату малатиону, оксидиазину индоксикарбу, диамидам циантраниилопролу и флубендиамиду, а на капусте белокочанной в Тосненском районе и к карбамату метомилу, что осложняет систему защиты. Для предупреждения дальнейшего развития этого негативного явления необходимо исключить применение на капусте и рапсе не только пиретроидов, но и комбинированных препаратов на их основе. Схемы чередования инсектицидов в борьбе с капустной молью должны формироваться для конкретного поля с применением соединений из новых химических классов, с регулярным мониторингом чувствительности вредителя для своевременного исключения теряющих эффективность препаратов.

Ключевые слова: пиретроиды, органофосфаты, карбаматы, оксидиазины, диамиды, биологическая эффективность, множественная резистентность

Поступила в редакцию: 17.12.2025

Принята к печати: 27.03.2026

Введение

Капустная моль *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) относится к наиболее распространенным и опасным вредителям всех культур семейства крестоцветных в мире (Talecar, Shelton, 1993; Coulson et al., 2002; Shelton, 2004; Mason, 2022). В годы массового размножения она может вызывать до 90 % потерь урожая, а суммарная стоимость причиняемого ущерба и затрат на борьбу с ней достигает 4–5 млрд долларов США в год (Zalucki et al., 2012).

В борьбе с капустной молью применяются различные инсектициды, особенно интенсивно в субтропических и тропических регионах, где этот вредитель ежегодно развивается в 10–20 поколениях, регулярно попадающих под обработки (Shelton, 2004), что приводит к быстрому развитию резистентности к применяемым средствам. Так, в 2022 году обнаружено 596 случаев ее развития к 101 соединению как химического синтеза, в том числе регуляторов роста и развития насекомых, так и биологического происхождения, особенно на основе *Bacillus thuringiensis* (Mota-Sanchez, Wise, 2023). В настоящее время капустная моль занимает второе место среди 15 видов вредных членистоногих, у которых резистентность к пестицидам стала повсеместной (Sparks et al., 2020).

Резистентность капустной моли к инсектицидам имеет большое значение и для России, в том числе для Северо-Западного региона, где ежегодно регистрируется от 2-х до 4-х поколений вредителя. В 30-х и начале 40-х годов

прошлого века против моли использовали табачный отвар, известь, парижскую зелень и другие средства, эффективность которых была достаточно низкой. В послевоенные годы, с появлением хлорорганических препаратов ДДТ и ГХЦГ, их стали активно применять для защиты капусты белокочанной от листогрызущих вредителей (Сазонов, 1948; 1952; Шапиро, 1952; Степанова, 1961). Однако в начале 70-х годов в Северо-Западном регионе на семенных посадках обнаружили резкое снижение эффективности этих соединений в борьбе с гусеницами белянок (*Pieris brassicae* L. и *P. rapae* L.) и капустной моли. Это связали с развитием резистентности фитофагов к хлорорганическим инсектицидам в результате их многолетнего применения. Одновременно выявили развитие резистентности этих вредителей к фосфорорганическому инсектициду Карбофосу, КЭ (500 г/л малатиона), зарегистрированному на капусте в 1953 году (Корнилов, 1980).

Проблема резистентности капустной моли к хлорорганическим инсектицидам перестала быть актуальной в связи с запрещением их использования в начале 70-х годов прошлого века. В этот период ассортимент средств борьбы против фитофага пополнился фосфорорганическими препаратами: Актеллик, КЭ (500 г/л пиримифосметила); Метатфос, КЭ (400 г/л тиофосфата), Би-58, КЭ (400 г/л диметата); Базудин, КЭ (600 г/л диазинона), Волатон, КЭ (500 г/л фоксима), Этафос, КЭ (500 г/л дихлорфенилтиофосфата)

и другими (Каталог химических и биологических средств борьбы..., 1987; Каталог химических и биологических средств борьбы..., 1994). Использование этих инсектицидов, особенно Актеллика, КЭ, Базудина КЭ и Би-58, КЭ, резко снизило интенсивность применения Карбофоса, КЭ. Это способствовало повышению чувствительности к нему чешуекрылых вредителей и препараты на основе малатиона, в частности, Фуфанон Эксперт, ВЭ (440 г/л) на капусте белокочанной против комплекса чешуекрылых, включая капустную моль, а также Алиот, КЭ (570 г/л) и Карбофот, КЭ (500 г/л) на рапсе против моли, рекомендованы для применения и в настоящее время (Реестр пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению..., 2026).

В эти же годы в ассортименте средств борьбы с вредителями крестоцветных культур появились инсектициды нового химического класса – пиретроиды. Препараты Амбуш, КЭ (500 г/л перметрина), Кинмикс, КЭ (50 г/л бетациперметрина), Цимбуш, КЭ (250 г/л циперметрина), Децис, КЭ (25 г/л дельтаметрина), Каратэ Зеон, МКС (50 г/л лямбда-цигалотрина) и другие. С момента регистрации эти токсиканты стали широко использовать на капусте в борьбе с листогрызущими вредителями, в том числе и с капустной молью. Этому способствовали не только их высокая начальная токсичность и длительность действия, но и низкая стоимость обработок, что позволяло применять их многократно без особых затрат. Так, стоимость обработки 1 га капусты белокочанной пиретроидами по данным на 2022 год колеблется от 108 до 232 руб. и в настоящее время они все еще остаются одной из наиболее применяемых групп инсектицидов для защиты капусты белокочанной от вредителей (Долженко и др., 2022а). Вместе с тем, в конце прошлого десятилетия было выявлено резкое снижение эффективности пиретроида Каратэ Зеон, МКС в борьбе с капустной молью в Ленинградской области

(совхоз «Детскоесельский», Пушкинский район). Анализ показателей биологической эффективности инсектицида за ряд лет позволил предположить, что причиной этого явления может быть снижение чувствительности вредителя к этому действующему веществу (Опякин и др., 2020). Последующие результаты лабораторной оценки токсичности инсектицидов для гусениц капустной моли, собранных на капусте белокочанной и рапсе яровом в Тосненском, Пушкинском и Гатчинском районах области, подтвердили, что это является следствием снижения чувствительности капустной моли к лямбда-цигалотрину (Емельянов и др., 2024).

С 2000 года ассортимент средств борьбы с капустной молью пополнился карбаматом Ланнат, СП (250 г/кг метомила), регулятором роста и развития Димилин, СП (250 г/кг дифлубензурана), авермектинами Фитоверм, КЭ (10 г/л аверсектина С) и Проклейм, ВРГ (50 г/кг эмабектин бензоата), диамидами Бэлт, КС (480 г/л флубендиамида), Беневия, МД (100 г/л циантранилипрола) и Вайего, СК (200 г/л тетранилипрола), а также рядом смесевых препаратов на их основе, в том числе с использованием пиретроидов, особенно лямбда-цигалотрина (Долженко и др., 2022а). Прошел регистрационный испытания, но на данный момент пока не регламентирован на капусте, препарат нового химического класса изоксазолинов Виртэнто, СК (400 г/л изоциклосолама), представляющий большой интерес для антирезистентных схем ротаций инсектицидов (Иванова, Васильева, 2023).

В этой связи возникла необходимость оценки чувствительности капустной моли к уже применяемым и новым инсектицидам из разных химических классов с целью своевременного выявления развития к ним резистентности и торможения этого процесса в популяциях на крестоцветных культурах в Северо-Западном регионе.

Материалы и методы

Исследования проводили в 2023–2024 годах на наиболее востребованных крестоцветных культурах – капусте белокочанной в Тосненском и Пушкинском районах и рапсе яровом в Гатчинском районе Ленинградской области. По данным Росстата РФ в Ленинградской области за последние 5 лет площади, занимаемые рапсом, увеличились с 4.5 тыс. га в 2023 г. до 7.5 тыс. га в 2024 году. Посевные площади овощей открытого грунта, куда, в основном, входит капуста белокочанная, имеют некоторую тенденцию к снижению – 5.3 и 5.1 тыс. га, соответственно (Тимофеева, 2025). Тест-объектом полевых исследований являлась капустная моль двух локальных популяций с капусты белокочанной, токсикологических лабораторных – одна с капусты белокочанной и одна с рапса ярового (табл.1).

Материалами исследований были широко используемые и новые инсектициды синтеза зарубежных и отечественных фирм (табл. 2).

Изучение биологической эффективности инсектицидов в полевых условиях проводили на капусте белокочанной согласно «Методическим указаниям по регистрационным испытаниям инсектицидов ...» (Долженко, 2022б). Для расчета использовали формулу Хендерсона-Тилтона, учитывающую изменение численности в опыте и контроле. Все опыты были заложены в фазе листовой мутовки на делянках размером 50 м² в четырёх повторностях.

Количество гусениц подсчитывали на 25 растениях каждой повторности.

Температурный режим начала вегетационного периода 2023 г. для капустных культур был достаточно благоприятным. Однако низкий уровень осадков в мае и первых декадах июня, а также ливневые дожди в третьей декаде июня негативно сказались на развитии растений. В то же время такие условия способствовали слабой интенсивности и растянутому лету перезимовавших имаго капустной моли – единичные бабочки и единичное заселение растений гусеницами, затем куколками моли. К третьей декаде июля на производственных посадках наблюдались гусеницы разных возрастов конца первого и начала второго поколения вредителя. Ситуация на посадках была очень разной. Так, заселенность растений гусеницами моли в КФХ «Жасмин» на сорте Арривист F1 составляла, в среднем, 52–64%, а число гусениц 1–2 особи на растение. Гусеницы, в основном, повреждали точку роста, растения еще находились в фазе листовой мутовки. Такая численность фитофага в совокупности с уровнем заселенности растений, превышающим пороговый (10%) свидетельствовала о необходимости применения средств защиты. Это позволило оценить биологическую эффективность инсектицидов разных химических классов в условиях умеренного уровня развития фитофага.

Таблица 1. Место проведения исследований

Тип исследования	Культура	Сорт	Локальная популяция	Хозяйство, район	Координаты
Полевой	Капуста белокочанная	Арривист F1	Тосненская-1	КФХ «Жасмин», Тосненский	59.655469, 30.523664
		Сторидор F1	Пушкинская	Опытное поле ФГБНУ ВИЗР, Пушкинский	59.740135, 30.429852
Лабораторный	Капуста белокочанная	Байонет F1	Тосненская-2	АО «Агротехника, Тосненский	59.298927, 31.317379
	Рапс яровой	Оредеж 4	Гатчинская	Биополигон АФИ, Гатчинский	59.416658, 30.033697

Table 1. Research location

Type of research	Culture	Variety	Local population	Farm, district	Coordinates
Field	White cabbage	Arrivist F ₁	Tosnensky -1	CF «Jasmine», Tosnensky	59.655469, 30.523664
		Storidor F ₁	Pushiknsky	Experimental field FSSI VIZR, Pushiknsky	59.740135, 30.429852
Laboratory	White cabbage	Bayonet F ₁	Tosnensky -2	JSC «Agrotehnika», Tosnensky	59.298927, 31.317379
	Spring rapeseed	Oredej 4	Gatchinsky	Biopolygon MF AFI, Gatchinsky	59.416658, 30.033697

Таблица 2. Перечень инсектицидов, использованных в полевых и лабораторных токсикологических исследованиях

Химический класс	Действующее вещество	Препарат, содержание д.в.
Пиретроиды	Лямбда-цигалотрин	Молния, КЭ (50 г/л)
	Дельтаметрин	Гладиатор, КЭ (50 г/л)
Оксидазины	Индоксакарб	Децис Эксперт, КЭ (100 г/л)
Диамиды	Флубендиамид	Авант, КЭ (150 г/л)
Изоксазолины	Изоцикloserам	Белт, КС (480 г/л)
Комбинированные препараты	Хлорантранилипрол + лямбда-цигалотрин	Виртэнто, СК (400 г/л)
	Метомил + лямбда-цигалотрин	Амплиго, МКС (150 г/л +50 г/л)
	Индоксакарб + абамектин	Маклауд, КС (250 г/л + 20 г/л)
		Стилет, МД (100 г/л+40 г/л)

Table 2. List of insecticides used in field and laboratory toxicological studies

Chemical class	Active substance	Preparation, content of a.s.
Pyrethroids	Lambda-cyhalothrin	Molniya, EC (50 g/l)
	Deltamethrin	Gladiator, EC (50 g/l)
Oxadiazines	Indoxacarb	Decis Expert, EC (100 g/l)
Diamides	Flubendiamide	Avant, EC (150 g/l)
Isoxazolines	Isocycloseram	Belt, SC (480 g/l)
Combined formulations	Chlorantraniliprole + Lambda-cyhalothrin	Virtento, SC (400 g/l)
	Methomyl + Lambda-cyhalothrin	Ampligo, MCS (150 g/l +50 g/l)
	Indoxacarb + Abamectin	Maklaud, SC (250 g/l + 20 g/l)
		Stilet, OD (100 g/l +40 g/l)

В 2024 году высокая активность имаго моли (бабочки взлетали ориентировочно 6–8 особей на 1 шаг) проявилась в конце мая, практически, до высадки рассады капусты. Имаго заселяли молодые растения сразу после высадки рассады в поле, а отрождающиеся гусеницы повреждали точку роста. При этом наблюдалось 50 % заселение растений на всех посадках капусты в Ленинградской области с численностью до 15 гусениц/растение (Ежегодный справочник агронома, 2025). На опытном поле ФГБНУ ВИЗР, на котором проводилась оценка биологической эффективности инсектицидов в 2024 г., при заселенности 100 % растений, число гусениц до обработки составляло 2.5–4.0 особи на растение. Такая ситуация, в отличие от прошлого

года, позволила оценить действие инсектицидов при массовом размножении моли.

Первичным материалом для токсикологических исследований в лабораторных условиях были гусеницы старших возрастов первого поколения моли, собранные на капусте и рапсе. Гусениц содержали в лабораторных условиях на растениях капусты или рапса в термокамерах MLR-325H-PC (PHCbi) при 25 °C, 60 % влажности и 16-ти часовом световом дне до окукливания и вылета имаго. В опытах по тестированию инсектицидов использовали гусениц второго или третьего возрастов следующего поколения.

Для оценки чувствительности фитофага использовали метод стандартных диагностических концентраций

каждого исследуемого токсиканта (Сухорученко и др., 2024). Этот метод позволяет определить в структуре популяции долю резистентных особей, поскольку значения концентраций являются удвоенной летальной нормой, вызывающей гибель 95% чувствительных особей. Все выжившие при тестировании особи являются потенциально резистентными.

В токсикологических опытах использовали молодые листья капусты (5 недель) или рапса (3 недели). Листья окунали на 3 секунды в эмульсию или суспензию инсектицидов, подсушивали и помещали в чашки Петри, выстланные влажной фильтровальной бумагой. Контрольные листья капусты и рапса окунали в воду. На каждый

обработанный лист сажали 10 гусениц 2 или 3 возраста. Опыты ставили в трех повторениях. Листья капусты или рапса с гусеницами содержали в чашках Петри в термокамерах. Число выживших особей учитывали под биноклем (Стереоскопический микроскоп ZEISS Stemi 200C) на первые, третьи и пятые сутки после посадки. Живыми считали активных гусениц, мертвыми – парализованных или не реагирующих на уколы энтомологической иглой.

Математическую обработку результатов исследований проводили в соответствии с программой PAST 4.03 (Øyvind Hammer) тестом Тьюки. Статистически значимыми считали отличия при значении $p < 0.05$.

Результаты

Изучение биологической эффективности инсектицидов против капустной моли показало, что даже в условиях умеренной интенсивности развития фитофага в 2023 году, снижение численности в вариантах применения препаратов химического класса пиретроидов было недостаточным: самая низкая эффективность весь период учетов с 3 по 21 сутки наблюдалась у инсектицидов на основе лямбда-цигалотрина: Молния, КЭ (65.9–73.6%) и Гладиатор, КЭ (48.9–55.7%), а также дельтаметрина Децис Эксперт, КЭ (75.3–67.5%). При этом уровни снижения численности моли при использовании пиретроидов были близки. Такие показатели эффективности препаратов могут считаться удовлетворительными и даже статистически значимыми, если численность фитофага весь период наблюдений находится на пороговом уровне, как это отмечено в контрольном варианте (табл. 3). На наш взгляд, данные полевых исследований 2023 г. подтверждают сведения о том, что в Северо-Западном регионе формируется популяция капустной моли, резистентная к пиретроидам (Опякин и др. 2020).

В вариантах комбинированных препаратов, в состав которых входил лямбда-цигалотрин, эффективность была несколько выше. Для препарата Амплиго, МКС она составила – 89.8–92.2%, препарата Маклауд, КС – 97.8–86.9%. Это связано с большим содержанием в комбинированных препаратах компонентов других химических классов (антранилиамид хлорантранилипрол в препарате Амплиго и карбамат метомил в препарате Маклауд). Эффективность этих соединений против моли высокая, поскольку они применяются недавно и ограниченно. Такая ситуация наблюдается не только при комбинации с пиретроидами. Так, диапазон эффективности препарата Авант, КЭ на основе только оксидиазина индоксакарба составил 91.9–100%, в отличие от комбинированного (индоксакарб + абамектин) препарата Стиллет, МД – 67.9–92.8% (табл. 3). Высокий защитный эффект наблюдался при использовании флубендиамида Белт КС (89.9–98.5%), а также у инсектицида нового химического класса изоксазолинов Виртэнт, СК, который в настоящее время прошел регистрационные испытания, но пока не регламентирован Реестром разрешенных пестицидов на капусте белокочанной против моли. На протяжении всего периода наблюдений снижение численности гусениц капустной моли при применении этого препарата составляло 96.1–99.4% (табл.3).

Материалы лабораторной оценки токсичности инсектицидов в отношении локальной популяции тосненская-2

в 2023 г. подтвердили данные полевых опытов этого года по биологической эффективности препаратов для локальной популяции тосненская-1. Обе локальные популяции собраны на капусте белокочанной в разных хозяйствах Тосненского района. Так, наибольшая выживаемость гусениц, полученных из выборок популяции тосненская-1, наблюдалась в варианте с лямбда-цигалотрином Молния, КЭ, когда число резистентных особей составляло на протяжении 5 суток учетов 92-83-75% и статистически не отличалось от выживаемости в контроле (табл.4). В то же время на рапсе яровом (гатчинская популяция) в варианте с этим препаратом 100% выживаемость гусениц наблюдалась только в течение первых суток, затем к 5 суткам снижалась до 20% (табл. 5).

По всей вероятности, это связано с менее интенсивным применением препаратов лямбда-цигалотрина на данной культуре и при тестировании остаются живыми только самые резистентные особи. Похожая ситуация складывается и с оксидиазином индоксакарбом и фосфорорганическим малатионом. На обеих культурах обнаружили 30 и 40% выживших гусениц при применении диагностических концентраций этих инсектицидов, которая обеспечивает 100% гибель чувствительных особей (табл. 4, 5). В связи с этим наличие в популяции от 30 до 40% выживших особей может свидетельствовать о довольно значительном числе потенциально резистентных генотипов, что необходимо учитывать при построении схем защиты.

В условиях высокой численности капустной моли на крестоцветных культурах, которая наблюдалась в 2024 году, еще более четко проявились различия в эффективности препаратов и чувствительности моли при тестировании диагностическими концентрациями инсектицидов. В опыте по определению биологической эффективности в этом году, проведенном на пушкинской локальной популяции, пиретроиды на основе лямбда-цигалотрина (Молния, КЭ и Гладиатор, КЭ) оказались практически не эффективными. На 3-и сутки снижение численности не превышало 39.1% и 33.9%, соответственно препаратам, а к четырнадцатым – 17% и 7.7% (табл. 6). В этих вариантах коэффициент p по тесту Тьюки составил 0.75 (Молния) и 0.99 (Гладиатор), что превышает статистически значимый уровень 0.05, следовательно, количество живых гусениц не отличается от контроля. Следует отметить, что средняя численность капустной моли в контрольном варианте (без обработки) за тот же период возросла с исходных 2.5 гусениц/растение до 8.2 гусениц на 14-е сутки. (табл. 6). Такая

Таблица 3. Биологическая эффективность инсектицидов против капустной моли на капусте белокочанной (локальная популяция тосненская-1, КФХ «Жасмин», Тосненский район, 2023 г.)

Химический класс	Действующее вещество	Препарат	Норма применения, л/га	Среднее количество гусениц до обработки, экз./растение	Снижение численности с поправкой на контроль по суткам учета, %	
					3	21
Пиретроиды	Лямбда-цигалотрин	Молния	0.1	0.8 ± 0.05	65.9 ± 2.1 ^a	73.6 ± 1.6 ^a
		Гладиатор	0.1	0.8 ± 0.07	48.9 ± 5.2 ^a	55.7 ± 3.2 ^a
	Дельтаметрин	Децис Эксперт	0.125	0.7 ± 0.07	75.3 ± 2.8 ^a	67.5 ± 7.0 ^a
Оксидазины	Индоксакарб	Авант	0.25	0.4 ± 0.04	91.9 ± 0.5 ^a	100 ± 0 ^a
Диамиды	Флубендиамид	Белт	0.15	0.4 ± 0.1	89.9 ± 2.0 ^a	98.5 ± 1.8 ^a
Изоксазолины	Изоцикloserам	Виртэнт	0.075	0.8 ± 0.15	96.1 ± 0.5 ^a	99.4 ± 1.3 ^a
Комбинированные препараты	Хлорантранилипрол + лямбда-цигалотрин	Амплиго	0.25	0.8 ± 0.16	89.8 ± 2.2 ^a	92.2 ± 4.1 ^a
	Метомил + лямбда-цигалотрин	Маклауд	1.0	0.9 ± 0.08	97.8 ± 5.5 ^a	86.9 ± 6.3 ^a
	Индоксакарб + абамектин	Стилет	0.4	0.8 ± 0.11	67.9 ± 6.1 ^a	92.8 ± 2.1 ^a
Средняя численность гусениц в контроле				0.6 ± 0.04	0.8 ± 0.09	1.1 ± 0.3

Указаны средние значения и стандартная ошибка; буквой *a* отмечены варианты, где различия достоверно отличаются от контроля по тесту Тьюки ($p < 0.05$).

Table 3. Biological efficiency of insecticides against diamondback moth on white cabbage (local population tosnensky-1 CF «Jasmine», Tosnensky district, 2023)

Chemical class	Active substance	Preparation	Application rate, l/ha	Average number of larvae before treatment, ind./plant	Reduction in number adjusted for control by accounting day, %	
					3	21
Pyrethroids	Lambda-cyhalothrin	Molnija	0.1	0.8 ± 0.05	65.9 ± 2.1 ^a	73.6 ± 1.6 ^a
		Gladiator	0.1	0.8 ± 0.07	48.9 ± 5.2 ^a	55.7 ± 3.2 ^a
	Deltamethrin	Decis Expert	0.125	0.7 ± 0.07	75.3 ± 2.8 ^a	67.5 ± 7.0 ^a
Oxadiazines	Indoxacarb	Avant	0.25	0.4 ± 0.04	91.9 ± 0.5 ^a	100 ± 0 ^a
Diamides	Flubendiamide	Belt	0.15	0.4 ± 0.1	89.9 ± 2.0 ^a	98.5 ± 1.8 ^a
Isoxazolines	Isocycloseram	Virtento	0.075	0.8 ± 0.15	96.1 ± 0.5 ^a	99.4 ± 1.3 ^a
Combined preparation	Chlorantraniliprole + lambda-cyhalothrin	Ampligo	0.25	0.8 ± 0.16	89.8 ± 2.2 ^a	92.2 ± 4.1 ^a
	Methomyl + lambda-cyhalothrin	Maklaud	1.0	0.9 ± 0.08	97.8 ± 5.5 ^a	86.9 ± 6.3 ^a
	Indoxacarb + abamectin	Stilet	0.4	0.81 ± 0.11	67.9 ± 6.1 ^a	92.8 ± 2.1 ^a
Average number of larvae in the control				0.6 ± 0.04	0.8 ± 0.09	1.1 ± 0.3

The mean values and standard error are indicated; the letter *a* indicates variants where the differences are significantly different from the control according to the Tukey test ($p < 0.05$).

Таблица 4. Токсичность инсектицидов для гусениц капустной моли на капусте белокочанной (популяция тосненская 2, АО «Агротехника», Тосненский район, 2023 г.)

Препарат	Действующее вещество	Диагностическая концентрация, % д.в.	Выживаемость гусениц 2 возраста после обработки по суткам учетов, %		
			1	3	5
Контроль			100	100	90 ± 14
Молния	Лямбда-цигалотрин	0.0017	92 ± 12	83 ± 24	75 ± 35
Авант	Индоксакарб	0.01	30 ± 12 ^a	30 ± 12 ^a	30 ± 12 ^a

Буквой *a* отмечены варианты, где различия достоверно отличаются от контроля по тесту Тьюки ($p < 0.05$).

Table 4. Toxicity of insecticides to the diamondback moth larvae on white cabbage (population tosnensky- 2, JSC «Agrotekhnik», Tosnensky District, 2023)

Preparation	Active substance	Diagnostic concentration, % of a.s.	Survival of 2nd instar larvae after treatment by day of assessment, %		
			1	3	5
Control			100	100	90 ± 14
Molnija	Lambda-cyhalothrin	0.0017	92 ± 12	83 ± 24	75 ± 35
Avant	Indoxacarb	0.01	30 ± 12 ^a	30 ± 12 ^a	30 ± 12 ^a

The mean values and standard error are indicated; the letter *a* indicates variants where the differences are significantly different from the control according to the Tukey test ($p < 0.05$).

Таблица 5. Токсичность инсектицидов для капустной моли на рапсе яровом (популяция гатчинская, Биополигон МФ АФИ, Гатчинский район, 2023 г.)

Препарат	Действующее вещество	Диагностическая концентрация, % д.в	Выживаемость гусениц 2 возраста после обработки по суткам учетов, %		
			1	3	5
Контроль			100	100	90 ± 14
Молния	Лямбда-цигалотрин	0.0017	100	50 ± 19 ^a	20 ± 5 ^a
Фуфанон Эксперт	Малатион	0.012	30 ± 13 ^a	30 ± 13 ^a	30 ± 13 ^a
Авант	Индоксакарб	0.01	40 ± 12 ^a	30 ± 12 ^a	30 ± 12 ^a
Ланнат	Метомил	0.067	0 ^a	0 ^a	0 ^a

Указаны средние значения и стандартная ошибка; буквой *a* отмечены варианты, где различия достоверно отличаются от контроля по тесту Тьюки ($p < 0.05$).

Table 5. Toxicity of insecticides to the diamondback moth on spring rapeseed (population gatchinsky, Biopolygon MF AFI, Gatchinsky District 2023)

Preparation	Active substance	Diagnostic concentration, % of a.s.	Survival of 2nd instar larvae after treatment by day of assessment, %		
			1	3	5
<i>Control</i>			<i>100</i>	<i>100</i>	<i>90 ± 14</i>
Molniya	Lambda-cyhalothrin	0.0017	100	50 ± 19 ^a	20 ± 5 ^a
Fufanon Expert	Malathion	0.012	30 ± 13 ^a	30 ± 13 ^a	30 ± 13 ^a
Avant	Indoxacarb	0.01	40 ± 12 ^a	30 ± 12 ^a	30 ± 12 ^a
Lannate	Methomyl	0.067	0 ^a	0 ^a	0 ^a

The mean values and standard error are indicated; the letter *a* indicates variants where the differences are significantly different from the control according to the Tukey test ($p < 0.05$).

же численность на 14 сутки была и на обработанных пиретроидами делянках (8.5 и 9.6 гусениц). Это привело к сильной поврежденности растений и потребовало проведения фоновой обработки эффективными инсектицидами.

Начальная активность препаратов других химических классов (флубендиамид Белт, КС, индоксакарб Авант, КЭ и комбинированный инсектицид Маклауд) была очень высока. Их действие вызывало 100%-ное снижение численности на 3-и сутки учетов. Практически аналогичная эффективность отмечена и у комбинированного препарата Стилет, МД (индоксакарб + абамектин) – 98.1 % (табл. 6). Однако к четырнадцатым суткам после обработки их эффективность также начала снижаться. При этом, учитывая высокую численность моли в 2024 году, в этих вариантах на растениях снова наблюдалось пороговое количество гусениц, что потребовало проведения дополнительной обработки растений.

Изучение токсичности инсектицидов в условиях высокой численности моли, проведенное для двух локальных популяций (тосненская-2 на белокочанной капусте и гатчинская на рапсе) подтверждает сложную ситуацию с использованием химических средств защиты против капустной моли на обеих крестоцветных культурах. Выживаемость гусениц популяции тосненская-2 на капусте и обработанных диагностической концентрацией препаратов разных химических классов (табл. 7) в первые сутки учетов была высокой для пиретроидов на основе лямбда-цигалотрина Молния, КЭ (100%), Гладиатор, КЭ (83%) и эсфенвалерата Суми-альфа, КЭ (90%). Кроме того, определенное количество гусениц, выживших на первые сутки учетов было зафиксировано во всех вариантах тестируемых инсектицидов (табл.7). Наблюдения за состоянием выживших гусениц на протяжении 5 суток учетов показали, что только при применении флубендиамида Белт,

КС и циантранилипрола Беневия, МД к 3 и 5 суткам наблюдалась их полная гибель. К пятым суткам в варианте с Молнией снижение выживаемости было незначительно (до 90%), что статистически не отличалось от контроля. В то же время в варианте препарата Гладиатор, КЭ, также содержащего лямбда-цигалотрин, процент выживаемости снижался: с 83 % в первые сутки до 43 % на третьи и до 7% на пятые, причем, различия с контролем были статистически достоверными. Выраженная динамика снижения числа выживших гусениц отмечена также для циантранилипрола Беневия, МД с 71 % в первый день до 19% на третий и 0% на пятые сутки. В варианте с флубендиамидом Белт, КС, при выживаемости на первые сутки 50% гусениц, на третьи сутки наблюдалась их полная гибель. Гусеницы моли, посаженные на листья, обработанные индоксакарбом Авант, КЭ, во все сроки учетов стабильно выживали на уровне 30%. Такая же ситуация была характерна при применении малатиона Фуфанон, КЭ и метомила Ланнат, СП – во все сроки учетов наблюдалось определенное количество выживших гусениц, хотя и достоверно ниже контрольного уровня (табл. 7).

При анализе токсичности инсектицидов для гатчинской популяции в 2024 году все примененные инсектициды показали статистически значимое снижение выживаемости относительно контроля к 3 суткам учета (табл.8). Наибольшую начальную выживаемость продемонстрировал карбамат Ланнат, СП – 100% в первые сутки, однако уже к третьему дню наблюдений все гусеницы погибли. Аналогичная тенденция после первых суток отмечена для пиретроида Суми-альфа, КЭ (с 30 до 0% на третий и пятый день), оксидиазина Авант, КЭ (с 73 до 0%) и диамида Белт, КС (с 63 до 0%). В отличие от этих препаратов, при обработке листьев пиретроидом Молния, КЭ и циантранилипролом Беневия, МД наблюдалось более

Таблица 6. Биологическая эффективность инсектицидов в борьбе с капустной молью на капусте белокочанной (популяция пушкинская, Опытное поле ВИЗР, Пушкинский район, 2024 г.)

Химический класс	Действующее вещество	Препарат	Норма применения, л/га	Среднее количество гусениц до обработки, экз./растение	Снижение численности с поправкой на контроль по суткам учета, %	
					3	14
Пиретроиды	Лямбда-цигалотрин	Молния	0.1	3.1 ± 0.7	39.1 ± 7.4	17 ± 6.2
		Гладиатор	0.1	2.8 ± 0.4	33.9 ± 5.7	7.7 ± 4.0
Диамиды	Флубендиамид	Белт	0.15	3.4 ± 0.7	100 ^a	99.0 ± 0.7 ^a
Оксидазины	Индоксакарб	Авант	0.25	4.0 ± 0.6	100 ^a	73.8 ± 6.8 ^a
Комбинированные препараты	Метомил+	Маклауд	1.0	3.2 ± 0.1	100 ^a	73.9 ± 12.4 ^a
	лямбда-цигалотрин					
	Индоксакарб + абамектин	Стилет	0.4	2.5 ± 0.3	98.1 ± 2.7 ^a	88.1 ± 6.3 ^a
Средняя численность гусениц в контроле				2.5±0.27	5.2±0.38	8.2±0.59

Указаны средние значения и стандартная ошибка; буквой *a* отмечены варианты, где различия достоверно отличаются от контроля по тесту Тьюки ($p < 0.05$).

Table 6. Biological efficiency of insecticides against the diamondback moth on white cabbage (population pushkinsky, Experimental field of FGBNU VIZR Pushkinsky District, 2024)

Chemical class	Active substance	Preparation	Application rate, l/ha	Average number of larvae before treatment, ind./plant	Reduction in number adjusted for control by accounting day, %	
					3	14
Pyrethroids	Lambda-cyhalothrin	Molniya	0.1	3.1 ± 0.7	39.1 ± 7.4	17 ± 6.2
		Gladiator	0.1	2.8 ± 0.4	33.9 ± 5.7	7.7 ± 4
Diamides	Flubendiamide	Belt	0.15	3.4 ± 0.7	100 ^a	99 ± 0.7 ^a
Oxadiazines	Indoxacarb	Avant	0.25	4 ± 0.6	100 ^a	73.8 ± 6.8 ^a
Combined preparation	Methomyl + lambda-cyhalothrin	Maklaud	1.0	3.2 ± 0.1	100 ^a	73.9 ± 12.4 ^a
	Indoxacarb+ abamectin	Stilet	0.4	2.5 ± 0.3	98.1 ± 2.7 ^a	88.1 ± 6.3 ^a
Average number of larvae in the control				2.5±0.27	5.2±0.38	8.2±0.59

The mean values and standard error are indicated; the letter *a* indicates variants where the differences are significantly different from the control according to the Tukey test ($p < 0.05$).

Таблица 7. Токсичность инсектицидов для гусениц капустной моли на капусте белокочанной (популяция тосненская-2, АО «Агротехника», Тосненский район, 2024 г.)

Препарат	Действующее вещество	Диагностическая концентрация, % д.в	Выживаемость гусениц 3 возраста после обработки по суткам учетов, %		
			1	3	5
Контроль			100	100	100
Молния	Лямбда-цигалотрин	0.0017	100	100	90 ± 11.5
Гладиатор			83 ± 12	43 ± 21 ^a	7 ± 6 ^a
Суми-альфа	Эсфенвалерат	0.003	90 ± 10	60 ± 26	50 ± 36
Фуфанон	Малатион	0.012	20 ± 20 ^a	20 ± 20 ^a	13 ± 12 ^a
Ланнат	Метомил	0.067	57 ± 12 ^a	37 ± 23 ^a	23 ± 12 ^a
Авант	Индоксакарб	0.01	30 ± 15 ^a	30 ± 15 ^a	30 ± 15 ^a
Белт	Флубендиамид	0.017	50 ± 10 ^a	0 ^a	0 ^a
Беневия	Циантранилипрол	0.008	71 ± 14	19 ± 16 ^a	0 ^a

Указаны средние значения и стандартная ошибка; буквой *a* отмечены варианты, где различия достоверно отличаются от контроля по тесту Тьюки ($p < 0.05$).

Table 7. Toxicity of insecticides to the diamondback moth larvae on white cabbage (population tosnensky- 2, JSC “Agrotekhnika”, Tosnensky District, 2024)

Preparation	Active substance	Diagnostic concentration, % of a.s.	Survival of 3rd instar larvae after treatment by day of assessment, %		
			1	3	5
<i>Control</i>			<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
Molniya	Lambda-cyhalothrin	0.0017	100	100	90 ± 11
Gladiator			83 ± 12	43 ± 21 ^a	7 ± 6 ^a
Sumi-Alpha	Esfenvalerate	0.003	90 ± 10	60 ± 26	50 ± 36
Fufanon	Malathion	0.012	20 ± 20 ^a	20 ± 20 ^a	13 ± 12 ^a
Lannate	Methomyl	0.067	57 ± 12 ^a	37 ± 23 ^a	23 ± 12 ^a
Avaunt	Indoxacarb	0.01	30 ± 15 ^a	30 ± 15 ^a	30 ± 15 ^a
Belt	Flubendiamide	0.017	50 ± 10 ^a	0 ^a	0 ^a
Beneviva	Cytraniliprole	0.008	71 ± 14	19 ± 16 ^a	0 ^a

The mean values and standard error are indicated; the letter *a* indicates variants where the differences are significantly different from the control according to the Tukey test ($p < 0.05$).

плавное снижение выживаемости гусениц: у варианта Молния, КЭ 100 % живых в первый день, 50 % на третий и затем 20 % на пятый; Беневия – 63 % на первый день, 17 % на третий и 0 % на пятый. В варианте малатиона Фуфанон, КЭ отмечена сравнительно низкая, но стабильная

выживаемость на уровне 30 % в течение всех трех учетов, тогда как в варианте Гладиатор, КЭ – прогрессирующее снижение с 57 % на первый день, до 27 % на третий и 7 % на пятый (табл. 8).

Таблица 8. Токсичность инсектицидов для гусениц капустной моли на рапсе яровом (популяция гатчинская, Биополигон МФ АФИ, Гатчинский район, 2024 г.)

Действующее вещество	Препарат	Диагностическая концентрация, % д.в.	Выживаемость гусениц 3 возраста после обработки по суткам учетов, %		
			1	3	5
Контроль			100	100	100
Лямбда-цигалотрин	Молния	0.0017	100	50 ± 6 ^a	20 ± 10 ^a
	Гладиатор		57 ± 12 ^a	27 ± 15 ^a	7 ± 6 ^a
Эсфенвалерат	Суми-альфа	0.003	30 ± 6 ^a	0 ^a	0 ^a
Малатион	Фуфанон	0.012	30 ± 5 ^a	30 ± 5 ^a	30 ± 5 ^a
Метомил	Ланнат	0.067	100	0 ^a	0 ^a
Индоксакарб	Авант	0.01	73 ± 6	0 ^a	0 ^a
Флубендиамид	Белт	0.017	63 ± 15	0 ^a	0 ^a
Циантранилипрол	Беневия	0.008	63 ± 13	17 ± 14 ^a	0 ^a

Указаны средние значения и стандартная ошибка; буквой *a* отмечены варианты, где различия достоверно отличаются от контроля по тесту Тьюки ($p < 0.05$).

Table 8. Toxicity of insecticides to the diamondback moth larvae on spring rapeseed (population gatchinsky, Biopolygon MF AFI, Gatchinsky District, 2024)

Active substance	Preparation	Diagnostic concentration, % of a.s.	Survival of 3rd instar larvae after treatment * by day of assessment, %		
			1	3	5
<i>Control</i>			<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
Lambda-cyhalothrin	Molniya	0.0017	100	50 ± 6 ^a	20 ± 10 ^a
	Gladiator		57 ± 12 ^a	27 ± 15 ^a	7 ± 6 ^a
Esfenvalerate	Sumi-Alpha	0.003	30 ± 6 ^a	0 ^a	0 ^a
Malathion	Fufanon	0.012	30 ± 5 ^a	30 ± 5 ^a	30 ± 5 ^a
Methomyl	Lannate	0.067	100	0 ^a	0 ^a
Indoxacarb	Avaunt	0.01	73 ± 6	0 ^a	0 ^a
Flubendiamide	Belt	0.017	63 ± 15	0 ^a	0 ^a
Cyantraniliprole	Beneviya	0.008	63 ± 13	17 ± 14 ^a	0 ^a

The mean values and standard error are indicated; the letter *a* indicates variants where the differences are significantly different from the control according to the Tukey test ($p < 0.05$).

Обсуждение

Анализ результатов определения биологической эффективности инсектицидов, полученных в 2023 году в Тосненском районе, выявил заметное снижение результативности у пиретроидных препаратов – лямбда-цигалотрина (Молния; Гладиатор) и дельтаметрина (Децис Эксперт). Эти данные позволяют предположить, что в Северо-Западном регионе постепенно формируются популяции капустной моли с пониженной чувствительностью к пиретроидам и некоторым смесевым препаратам на их основе. Вместе с тем комбинированные средства Маклауд и Амплиго сохраняли достаточно высокую эффективность, что, вероятно, связано с их ограниченным и недавним применением в практике химической защиты культуры от вредителя. Также высокая биологическая эффективность отмечалась при обработке растений от капустной моли инсектицидами Авант, Белт, Виртэнто и комбинированным препаратом Стилет.

Лабораторная оценка токсичности в 2023 году с использованием диагностических концентраций инсектицидов,

вызывающих 100 % гибель чувствительных особей, подтвердила полевые наблюдения. Во всех случаях при тестировании наблюдалось определенное количество выживших особей, наиболее высокое при применении пиретроидов, что свидетельствует об активном развитии резистентности во всех трех локальных популяциях Ленинградской области. Исключение составил карбамат метомил (Ланнат) на рапсе яровом. Чувствительность к этому токсиканту оставалась высокой и в 2024 г. – выживших гусениц не было. Вероятнее всего, это объясняется тем, что инсектицид на полях Биополигона МФ АФИ ранее не применялся.

В полевых опытах 2024 г. на капусте белокочанной в Пушкинском районе отмечено дальнейшее снижение эффективности пиретроидов. Эта тенденция наблюдалась и при лабораторном тестировании, в частности, выживаемость гусениц локальной популяции из АО «Агротехника» (Тосненский район) после обработки диагностической

концентрацией лямбда-цигалотрина достигала 100% для препарата Молния, КЭ и 57% для Гладигатора, КЭ.

При оценке чувствительности моли к действующим веществам разных химических классов, как правило, наблюдалось определенное варьирование числовых показателей выживаемости. На наш взгляд, это связано как с особенностями мишени действия токсиканта, так и степенью чувствительности конкретной особи вредителя и свидетельствует о необходимости более детальных исследований. Обращает на себя внимание также сокращение длительности защитного действия препаратов в полевых условиях, что является одним из признаков развития резистентности к применяемым средствам. Оптимальный период защитного действия составляет не менее 21 дня и его сокращение должно быть на контроле специалистов хозяйств.

Таким образом, сопоставление результатов 2023 и 2024 годов, разных по интенсивности развития капустной моли в Ленинградской области, свидетельствует о постепенном, но заметном снижении эффективности ряда инсектицидов из разных химических классов. Наиболее выраженные изменения наблюдаются с пиретроидами: их полевая эффективность упала с 70–75% в год низкой численности вредителя до 7–17% при высокой численности. Ситуация с низкой эффективностью пиретроидов объясняется их многолетним интенсивным использованием не только в Ленинградской области, но и других регионах России в предыдущие годы, когда площади под посадками капусты были значительно выше, как и необходимость применения средств защиты, основу которых составляли препараты

класса пиретроидов (Опякин и др., 2020). В настоящее время такой культурой является рапс.

Как правило, длительное применение препаратов одного химического класса отрицательно сказывается на чувствительности фитофага к препаратам других химических классов, что мы и регистрируем в настоящее время: для оксидиазинов, карбаматов и некоторых диамидов также наблюдаются начальные признаки снижения чувствительности. Тем более при использовании комбинированных средств, в состав которых входят пиретроиды, что поддерживает в популяции определенный уровень резистентных генотипов.

Для предупреждения дальнейшего развития этого негативного явления необходимо исключить применение на капусте и рапсе не только пиретроидных препаратов, но и комбинированных на их основе. Необходимо снижать уровень токсического пресса, усиливая комплекс агротехнических мероприятий. Схемы чередования инсектицидов в борьбе с капустной молью должны формироваться для конкретного поля (с учетом его токсикологической истории в севообороте) из препаратов новых химических классов, токсичных для вредителя согласно действующему Регистру разрешенных для применения пестицидов. В этой ситуации особое значение приобретает регулярный мониторинг чувствительности капустной моли к применяемым в системе чередования соединениям для своевременного исключения из нее теряющих эффективность препаратов. Такая тактика будет способствовать постепенному восстановлению чувствительности фитофага, в том числе и к пиретроидам.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №126011615714-3).

Библиографический список (References)

- Андреева ИА, Шаталова ЕИ, Ходакова АВ (2021) Капустная моль *Plutella xylostella*: эколого-биологические аспекты, вредоносность, контроль численности. *Вестник защиты растений* 104(1):28–39. <http://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-1-14947>
- Долженко ВИ, Опякин ПА, Иванова ГП (2022a) Совершенствование ассортимента инсектицидов для защиты капусты белокочанной от капустной моли. *Защита и карантин растений* 8:11–14. http://doi.org/10.47528/1026-8634_2022_8_11
- Долженко ВИ, Сухорученко ГИ, Буркова ЛА и др (2022b) Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, феромонов, моллюскоцидов и родентицидов в растениеводстве. М.: Росинформагротех. 508 с.
- Ежегодный справочник агронома (2025) Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский сельскохозяйственный Центр» по Ленинградской, Мурманской областям и Республике Карелия. СПб: 15–16.
- Емельянов ДА, Сухорученко ГИ, Иванова ГП (2024) Резистентность капустной моли *Plutella xylostella* L. к применяемым инсектицидам в Северо-Западном регионе России. Материалы Пятого Всероссийского конгресса по защите растений: СПб.ФГБНУ ВИЗР: 153.
- Иванова ГП, Васильева ГИ (2023) Эффективный инсектицид в борьбе с резистентными популяциями колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) и капустной моли (*Plutella xylostella* L.). Материалы XI Международной научно-практической конференции «Защита растений от вредных организмов». 169–171
- Каталог химических и биологических средств борьбы с вредителями, болезнями растений и сорняками и регуляторов роста растений, разрешенных для применения в сельском хозяйстве на 1986–1990 годы (1987) М.: ГосАгропром СССР. ВНПО «Сельхозхимия». Госхимкомиссия МСХ РФ.
- Каталог химических и биологических средств борьбы с вредителями, болезнями растений и сорняками, регуляторов роста растений и феромонов, разрешенных для применения в сельском, в том числе фермерском, лесном и коммунальном хозяйствах на 1992–1996 годы (1994) М.: Госхимкомиссия МСХ РФ.
- Корнилов ВГ (1980) Изменение чувствительности вредителей крестоцветных культур к инсектицидам. Тезисы докладов Пятого Всесоюзного совещания «Состояние и перспективы развития научных исследований по предотвращению резистентности у вредителей, возбудителей болезней и сорняков к пестицидам и разработка

- эффективных мер борьбы с бактериальными болезнями растений»: 85–87
- Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Реестр пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации. (13.08.2026) <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-grstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/> (30.08.2026)
- Опякин ПА, Долженко ВИ, Иванова ГП (2020) Современные инсектициды для защиты капусты белокочанной от капустной моли. Материалы международной научно-практической конференции «Развитие агропромышленного комплекса на основе современных научных достижений и цифровых технологий, СПб-Пушкин: 59–62
- Сазонов ПВ (1948) Новые препараты ДДТ и ГХЦГ для борьбы с вредителями овощных культур. Л.: Лениздат. 54 с.
- Сазонов ПВ (1952) Влияние ГХЦГ на растения в зависимости от срока применения и дозы препарата. *Доклады ВАСХНИЛ* (6):38–40
- Степанова ЛА (1961) Вредители крестоцветных овощных культур севера Карелии. *Защита растений от вредителей и болезней* (7):15–16
- Сухорученко ГИ, Долженко ВИ, Ганнибал ФБ и др. (2024) Резистентность вредных членистоногих, фитопатогенных грибов и грызунов к пестицидам. Монография. Долженко ВИ, Сухорученко ГИ, Ганнибал ФБ (ред). СПб.: ФГБНУ ВИЗР. 672 с.
- Тимофеева СА, Горковенко ЮВ. Растениеводство Ленинградской области в 2024 году (2025) <https://78.rosstat.gov.ru/news/document/257838> (02.07.2026)
- Шапиро ИД (1952) Опыт применения ГХЦГ и ДДТ в борьбе с вредителями кормовых и овощных культур в совхозах Ленинградской зоны. Л. 55 с.
- Coulson SJ, Hodkinson ID, Webb NR, Mikkola K et al (2002) Aerial colonization of high Arctic islands by invertebrates: the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a potential indicator species. *Divers Distrib* 8(6):327–334. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2002.00157.x>
- Mason P (2022) *Plutella xylostella* (diamondback moth). CABI Compendium. CABI International. <http://doi.org/10.1079/cabicompendium.42318>
- Mota-Sanchez D, Wise JC. The Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University (2023) <http://www.pesticideresistance.org> (02.05.2026)
- Shelton AM (2004) Management of the diamondback moth: déjà vu all over again. *Proc. 4th Intern. Workshop Manag.* 26–29
- Sparks TC, Crossthwaite AJ, Nauen R, Banba S et al (2020) Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification – a tool for resistance management. *Pestic Biochem Physiol* 167:104587. <http://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587>
- Talekar NS, Shelton AM (1993) Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Ann Rev Entomol* 38(1):275–301
- Zalucki MP, Shabbir A, Silva R, Adamson D et al (2012) Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string? *J Econ Entomol* 105(4):1115–1129. <http://doi.org/10.1603/EC12107>

Translation of Russian References

- Andreeva IA, Shatalova EI, Khodakova AV (2021) [Diamondback moth *Plutella xylostella*: ecological and biological aspects, harmfulness, population control]. *Vestnik zashchity rasteniy* 104(1):28–39 (In Russian) <http://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-1-14947>
- Dolzhenko VI, Opyakin PA, Ivanova GP (2022a) [Improving the range of insecticides for protecting white cabbage from diamondback moth]. *Zashchita i karantin rasteniy* (8):11–14 (In Russian) http://doi.org/10.47528/1026-8634_2022_8_11
- Dolzhenko VI, Sukhoruchenko GI, Burkova LA, Laptiev AB et al (2022b) [Guidelines for registration trials of insecticides, acaricides, pheromones, molluscicides and rodenticides in crop production]. Moscow: Rosinformagrotekh. 508 p. (In Russian)
- Annual handbook of agronomist. Branch of the Federal State Budgetary Institution “Russian Agricultural Center” for the Leningrad, Murmansk regions and the Republic of Karelia (2025) St. Petersburg. 15–16 (In Russian)
- Emelyanov DA, Sukhoruchenko GI, Ivanova GP (2024) [Resistance of diamondback moth *Plutella xylostella* L. to applied insecticides in the North-West region of Russia]. *Proc. 5th All-Russ. Congr. Plant Protection*. St. Petersburg: FGBNU VIZR. 153 (In Russian)
- Ivanova GP, Vasilyeva TI (2023) [Effective insecticide in the control of resistant populations of Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) and diamondback moth (*Plutella xylostella* L.)]. *Proc. 11th Int. Sci. Pract. Conf. “Plant protection from harmful organisms”*. 169–171 (In Russian)
- Catalog of chemical and biological means of control of pests, plant diseases and weeds and plant growth regulators approved for use in agriculture for 1986–1990 (1987) Moscow: GosAgroprom SSSR. VNPO “Selkhozkhimiya”. Goskhimkomissiya MSKh RF. (In Russian)
- Catalog of chemical and biological means of control of pests, plant diseases and weeds, plant growth regulators and pheromones approved for use in agriculture, including farming, forestry and municipal economy for 1992–1996 (1994) Moscow: Goskhimkomissiya MSKh RF. (In Russian)
- Kornilov VG (1980) [Changes in sensitivity of cruciferous crop pests to insecticides]. *Proc. of the 5th All-Union meeting “State and prospects of development of scientific research on prevention of resistance in pests, pathogens and weeds to pesticides and development of effective measures to combat bacterial plant diseases”*. 85–87 (In Russian)
- Ministry of Agriculture of the Russian Federation. [Register of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation]. (13.08.2026) <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-grstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/>

- usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agro-khimikatov/ (30.08.2026) (In Russian)
- Opyakin PA, Dolzhenko VI, Ivanova GP (2020) [Modern insecticides for protecting white cabbage from diamondback moth]. Proc. Int. Sci. Pract. Conf. "Development of agro-industrial complex based on modern scientific achievements and digital technologies". St. Petersburg-Pushkin: 59–62 (In Russian)
- Sazonov PV (1948) [New preparations DDT and HCCH for control of vegetable crop pests]. Leningrad: Lenizdat. 54 p. (In Russian)
- Sazonov PV (1952) [Effect of HCCH on plants depending on the timing of application and dose of the preparation]. Doklady VASKhNIL (6):38–40 (In Russian)
- Stepanova LA (1961) [Pests of cruciferous vegetable crops in northern Karelia]. Zashchita rasteniy ot vreditel'ey i bolezney (7):15–16 (In Russian)
- Sukhoruchenko GI, Dolzhenko VI, Gannibal FB et al (2024) [Resistance of harmful arthropods, phytopathogenic fungi and rodents to pesticides]. St. Petersburg: FGBNU VIZR. 672 p. (In Russian)
- Timofeeva SA, Gorkovenko YuV. Crop production of the Leningrad region in 2024 (2025) <https://78.rosstat.gov.ru/news/document/257838> (02.07.2026) (In Russian)
- Shapiro ID (1952) [Experience of using HCCH and DDT in the control of pests of forage and vegetable crops in state farms of the Leningrad zone]. Leningrad. 55 p. (In Russian)

Plant Protection News, 2026, 109(2), p. 180–190

OECD+WoS: 4.01+AM (Agronomy); 1.06+IV (Entomology)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2026-109-2-17075>

Full-text article

TOXICITY OF INSECTICIDES FOR THE DIAMONDBACK MOTH *PLUTELLA XYLOSTELLA* IN THE NORTHWESTERN REGION OF RUSSIA

D.A. Emelyanov*, G.P. Ivanova, G.I. Sukhoruchenko

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

**corresponding author, e-mail: dimitriy.nord@yandex.ru*

Development of multiple resistance in local populations of the cabbage moth *Plutella xylostella* to insecticides from different chemical classes was revealed in Leningrad Region in 2023–2024. This led to a decrease in the biological efficacy of the most widely used lambda-cyhalothrin and deltamethrin formulations, as well as some mixed formulations containing lambda-cyhalothrin and alpha-cypermethrin on white cabbage in the Tosnensky and Pushkinsky districts. On both crops, an initial stage of resistance development in the cabbage moth has been detected to the organophosphate malathion, the oxadiazine indoxacarb, the diamides cyanotranilyprol and flubendiamide, and on white cabbage in the Tosnensky district, to the carbamate methomyl, which complicates the protection system. To prevent further development of this negative phenomenon, it is necessary to discontinue the use of both pyrethroids and corresponding combined preparations on cabbage and rapeseed. Insecticide rotation schemes for controlling the cabbage moth should be developed for a particular field exploiting chemicals from new chemical classes accompanied with regular monitoring of pest sensitivity in order to promptly exclude preparations which lose their efficacy.

Keywords: organophosphates, pyrethroids, carbamates, oxadiazines, diamides, biological efficacy, multiple resistance.

Submitted: 17.12.2025

Accepted: 27.03.2026

ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЛАБОРАТОРНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ПАРАЗИТОИДА *DIBRACHYS CAVUS* (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE)

И.С. Агасьева, М.В. Петрищева*, Е.О. Голобородько, В.С. Петрищев

Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар

*ответственный за переписку, e-mail: maria.petrische@yandex.ru

Основная задача живой коллекции энтомоакарифагов состоит в сохранении биоразнообразия видов и генофонда для воспроизводства в природных и лабораторных условиях. Целью настоящей работы служило пополнение биоресурсной коллекции Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» путем введения в культуру паразитического перепончатокрылого *Dibrachys cavus*, а также изучение его биологических особенностей, выявление оптимальных условий для искусственного размножения, изучение трофической специализации. В 2023 году в Темрюкском районе Краснодарского края на виноградниках были отловлены имаго *D. cavus*. Для его введения в культуру определены оптимальные условия разведения, а также хранения паразитоида. В качестве основного лабораторного хозяина выбраны гусеницы вошинной моли *Galleria mellonella*. Хранение имаго наездника при температуре 15 °C (вызывающей замедление метаболизма) и 4 °C (остановка развития) на протяжении 15 и 25 суток не оказывало негативного влияния на биологические показатели развития паразитоида. В лабораторных условиях установлено, что дибрахис эффективно паразитирует на гусеницах и куколках гроздевой (*Lobesia botrana*), дубовой (*Tortrix viridana*) и розанной (*Acleris bergmanniana*) листоверток, а также яблонной плодовой Cydia pomonella.

Ключевые слова: коллекция энтомоакарифагов, паразитические перепончатокрылые, методы разведения, хранение, чешуекрылые вредители

Поступила в редакцию: 04.03.2026

Принята к печати: 09.07.2026

Введение

Систематическое и долговременное использование пестицидов в защите сельскохозяйственных культур приводит к формированию резистентных популяций вредителей, нарушению естественной биоценологической регуляции в результате гибели энтомофагов и акарифагов. В связи с чем при увеличивающихся нормах расхода и кратности обработок эффективность пестицидов постоянно снижается и не достигает 70–80% (Агасьева, Исмаилов, 2016). Применение пестицидов оказывает негативное влияние на окружающую среду, в том числе угнетает почвенные бактерии, снижает биоразнообразие полезных насекомых (опылителей, энтомофагов др.) (Jeyaseelan et al., 2024; Elhamalawy et al., 2024; Basapuram et al., 2025). Развитие биологической защиты растений ведет к значительному снижению пестицидной нагрузки на агроценозы (Витион, 1998; Samnegård et al., 2019).

Насекомые являются постоянным и многочисленным компонентом экосистем в связи с чем концепция управления популяциями вредных видов ориентирована на максимальное использование сил естественной регуляции, прежде всего деятельности природных популяций энтомофагов (Pierre et al., 2023). Точная диагностика видов – зоофагов, т.е. таксономия, биоразнообразие и регуляторная активность служат базовым условием их эффективного использования.

Создание и поддержание живой коллекции энтомоакарифагов – основа для разработки технологий

биологического контроля многих видов вредителей сельскохозяйственных культур.

В настоящее время в 65 странах мира насчитывается около 500 официально зарегистрированных и входящих в региональные и международные организации коллекций энтомофагов и микроорганизмов, для биологического контроля вредителей используются от 250 до 412 видов насекомых и клещей (Белякова, Павлюшин, 2023).

Пополнение, поддержание и изучение живой коллекции полезных членистоногих необходимо для сохранения генофонда и биоразнообразия, селекции наиболее эффективных популяций и использования в программах биологического контроля вредителей.

В современных агробиоценозах часто наблюдается нарушение экологического равновесия полезных и вредных организмов. В последние десятилетия отмечаются вспышки численности фитофагов, ранее существенно не вредивших, инвазии новых видов. Многочисленными исследованиями показано, что при сохранении природной экологической среды возрастает численность, биоразнообразие и эффективность различных групп природных энтомофагов (Ченикалова, 2005; Ченикалова, 2018; Pierre et al., 2023).

Энтомофаги в ряду с абиотическими и биотическими факторами сохраняют экологическое равновесие экосистем, а также играют существенную роль в снижении численности вредителей сельскохозяйственных культур (Kareiva, 2012; Витион, 2016; Попов и др., 2023). Один из

основных критериев стабильности биоценоза состоит в разнообразии сообществ живых организмов, которое характеризуется числом видов и их значимостью в экосистеме (Дудкин и др., 2017; Комарова, 2021).

Изучение природного потенциала регуляторов плотности вредителей – энтомофагов и хищников интересно как с экологической, так и с экономической точки зрения. Фауна большинства видов и степень их эффективности на региональном уровне до сих пор мало изучены (Андреева и др., 2023). Развитие комплексной защиты растений предполагает постепенную замену высокотоксичных пестицидов биологическими средствами защиты растений, в основе которых лежат паразитоиды и хищники (Misrieva, Shamsudinova, 2017).

Среди перспективных видов энтомофагов большой интерес вызывают паразитические насекомые, способные заражать большое количество вредителей, чем обусловлена их практическая значимость для биологической защиты растений. Одним из таких паразитоидов является *Dibrachys cavus*, или *Dibrachys microgastri*, согласно фундаментальной ревизии Peters, Baur (2011). *D. cavus* относится к семейству Pteromalidae, подсемейству Chalcidoidea, (Hymenoptera). Семейство Pteromalidae – одно из наиболее крупных, морфологически и биологически разнообразных групп хальцидоидных наездников, являющихся важнейшими энтомофагами многих видов насекомых в природных и антропогенных биоценозах. В мировой фауне насчитывается более 3500 видов из почти 600 родов и 31 подсемейства. Среди вредных объектов, которых может поражать дибрахис, в литературе описаны следующие: *Cydia pomonella* Lobesia botrana, *Pectinophora gossypiella* (Mervat, El-Sayed, 2007), *Swammerdamia pyrella*

(Górska-Drabik et al., 2014). Дибрахис обладает широким ареалом, встречаясь в различных климатических зонах – от Европы до Азии и Америки. Это открывает возможности для скрининга местных популяций с целью создания лабораторных культур, наиболее адаптированных к конкретным условиям, что повышает эффективность биологической защиты.

Жизненный цикл *D. cavus* включает все стадии развития, характерные для насекомых с полным превращением: яйцо, личинка, куколка и имаго. После спаривания самки находят хозяина, парализуют личинку или куколку и откладывает на её поверхность свои яйца. Важную роль при размножении играет хеморецепция: самки дибрахиса привлекаются летучими компонентами экскрементов гусениц-хозяев (Chuche et al., 2006). Личинки паразита, выходящие из яиц, питаются гемолимфой и тканями хозяина, завершая развитие за 10–20 суток в зависимости от температуры. В умеренном климате дибрахис дает от трех до пяти поколений. Соотношение полов может меняться, чаще преобладают самки (55–75%): из перезимовавших особей весной вылетает больше самок, чем из летних поколений. Зимовка происходит на стадии личинки внутри кокона хозяина (Mervat, El-Sayed, 2007).

В 2023 году на виноградниках Темрюкского района Краснодарского края была отловлена местная популяция *D. cavus*.

Целью исследований являлось изучение биологических особенностей и трофической специализации, а также выявление оптимальных условий размножения паразитического перепончатокрылого насекомого *D. cavus* для пополнения биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР.

Материалы и методы

Работа проводилась при использовании материально-технической базы Уникальной научной установки (УНУ) «Технологическая линия по массовому разведению насекомых-энтомофагов» (<https://fncbzs.ru/brk-i-unu/unique-installation-2/>), а также объектов биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» (<https://fncbzs.ru/brk-i-unu/unique-installation-1/>).

В 2023 году коллекция энтомоакарифагов пополнена эктопаразитом *D. cavus*, который был отловлен на виноградниках в Темрюкском районе Краснодарского края. Для отлова эктопаразита использовали ловчие пояса (рисунок 1).

Для идентификации отловленного насекомого был использован Определитель паразитов вредителей плодового сада (Костюков и др., 2007).

В лабораторных условиях была начата работа по подбору насекомого-хозяина и определения оптимальных условий для разведения *D. cavus*. Подбор насекомого-хозяина осуществляли в лабораторных условиях, где в качестве насекомых-хозяев были предложены гусеницы вошинной моли *Galleria mellonella* и мельничной огневки *Ephesia kuehniella*. Эффективность определяли по количеству парализованных гусениц и вылету паразитов дочернего поколения. Соотношение полов самцы:самки до эксперимента составляло 1:1.3.



Рисунок 1. Ловчий пояс для отлова *Dibrachys cavus* (ориг.)

Figure 1. Insect trap belt for capturing *Dibrachys cavus* (original)

Проведены исследования по хранению и изучению репродуктивной способности паразитического насекомого *D. cavus*. Особей паразита содержали в климатической камере Binder 9020-0343 (KMF-240) при температуре 25–27°C, относительной влажности воздуха 60–70%, при 16-часовом дневном освещении. Особей дибрахиса спустя четверо суток после начала лета в количестве 50 экз. (самцы:самки – 1:1) в стеклянных емкостях объемом 0.5 л помещали в холодильную камеру при температуре 4°C, 15°C на 15, 25 суток. По прошествии 15, 25 суток дибрахиса извлекали из холодильной камеры, выдерживали 4–6 часов при комнатной температуре и заражали ими гусениц насекомого-хозяина (50 гусениц на одну емкость 0.5 л). В качестве контрольного варианта использовали не хранившихся в холодильной камере особей паразита (50 экз. дибрахиса в емкости 0.5 л с 50 гусеницами насекомого-хозяина), которого использовали также после четырех суток от начала лета. О результатах хранения судили по количеству экземпляров дибрахиса, вылетевших из 50

гусениц насекомого-хозяина, а также по количеству незараженных дибрахисом гусениц.

Для определения трофической специализации и биологической эффективности паразита против различных вредителей были собраны гусеницы различных чешуекрылых вредителей: гроздевая листовертка *Lobesia botrana*, дубовая листовертка *Tortrix viridana*, розанная листовертка *Acleris bergmanniana*, яблонная плодожорка *Cydia pomonella*, хлопковая совка *Helicoverpa armigera* и в лабораторных условиях заражены дибрахисом. Собранных гусениц старшего возраста по 35–40 особей помещали в банки объемом 0.7 л и предлагали для заражения паразиту (по 25 особей дибрахиса) при 26–27°C, относительной влажности воздуха 60–70%, при 16-часовом дневном освещении в течение 4-х недель. Все опыты проводили в 3-х кратной повторности. Эффективность определяли по проценту паразитированных гусениц и по количеству вылетевших паразитов.

Статистическую обработку результатов исследований выполняли по Б.А. Доспехову (2011).

Результаты и обсуждение

Особи *D. cavus*, отловленные на виноградниках в Темрюкском районе Краснодарского края, имели следующие внешние признаки: длина тела самки 1.0–3.12 мм, наиболее обычны особи 2.5 мм. Голова и грудь темные с металлическим блеском; брюшко черно-бурое или темно-коричневое, почти черное, редко брюшко желто-бурое. Усики от темно-бронзовых до зеленовато-бурых и почти целиком бурых. Голова сверху в 2 раза шире своей максимальной длины. Брюшко примерно такой длины, как голова с грудью, или незначительно длиннее, заостренное на конце (рис. 2А). Длина тела самца 1.12–2.5 мм. Окраска самца более светлая, чем у самки (с бронзовыми аксиллами, щитиком и тазиками). Брюшко часто со светлым пятном, величина и форма которого крайне изменчивы. Усики обычно светло-желтые, но встречались особи с затемненными, зеленовато-бурыми усиками. Усики самцов в целом как у самки (рис. 2А).

В лабораторных условиях подбирали насекомое-хозяина и оптимальные условия для массового размножения, хранения и поддержания популяции отловленного

паразита. В качестве насекомого-хозяина были испытаны гусеницы вошинной моли (*G. mellonella*) и гусеницы мельничной огневки (*E. kuehniella*). Эффективность каждого вида определяли по количеству парализованных гусениц и вылету паразитов дочернего поколения (табл. 1).

Более эффективным насекомым-хозяином для поддержания популяции паразита оказалась вошинная моль (*G. mellonella*), в варианте с использованием которой выход имаго дибрахиса составил 94 особи, при этом соотношение самцы:самки составило 1:1.2. Мельничная огневка оказалась неэффективной, так как ни одного кокона энтомофага при её использовании не образовалось.

Самки откладывали яйца на предварительно парализованных гусениц *G. mellonella* старших возрастов. Спустя 2–3 суток появляются личинки энтомофага, которые развиваются 8–12 суток, а затем окукливаются (рис. 2С). На 16–24 сутки после заражения вылетает имаго. Вылетает в среднем от 16 до 33 особей паразита с 1 кокона. С 10 тыс. гусениц вошинной моли, взятых для заражения, получают в среднем 7.5–8.5 тыс. зараженных коконов, из

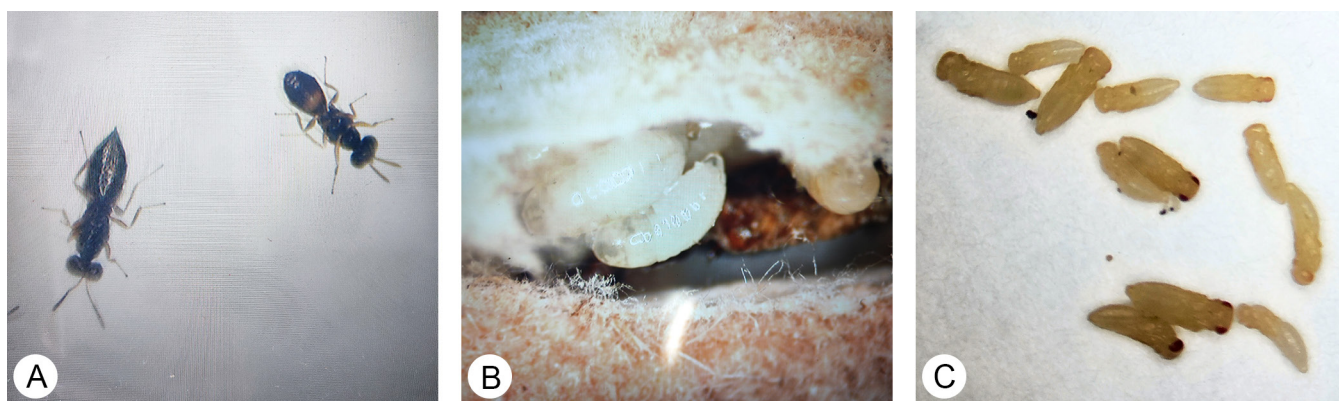


Рисунок 2. Самец и самка *Dibrachys cavus*: (А), дочернее поколение от особей, отловленных в Темрюкском районе Краснодарского края; личинки паразита во вскрытом коконе вошинной моли, зараженной паразитом (В); куколки, извлеченные из кокона вошинной моли (С) (ориг.)

Figure 2. Male and female *Dibrachys cavus*: (А), a filial generation from specimens collected in the Temryuk District of Krasnodar Area; parasite larvae in an opened cocoon of the greater wax moth infested with the parasite (В); pupae extracted from a greater wax moth cocoon (С) (original)

Таблица 1. Количество вылетевшего *Dibrachys cavus* в зависимости от насекомого-хозяина**Table 1.** Number of emerged *Dibrachys cavus* depending on the insect host

Вид насекомого-хозяина Species of host insect	Количество гусениц, экз. Number of larvae, ind.	Количество дибрахиса для заражения, экз. Number of <i>D. cavus</i> for infection, ind.	Количество образовавшихся коконов, экз. The number of cocoons formed, ind.	Количество вылетевшего дибрахиса, экз. Number of <i>D. cavus</i> emerged, ind.
<i>E. kuehniella</i>	45	27	0	0
<i>G. mellonella</i>	45	27	98*	94*

* Варианты достоверно отличаются в пределах столбцов ($p < 0.05$) по t-критерию Стьюдента.

Significant difference between treatments within the same column ($p < 0.05$, Student's t-test).

которых вылетают в среднем 180–200 тыс. особей паразита (рис. 3).

Через несколько минут после вылета из зараженного хозяина особи дибрахиса приступали к спариванию. Спустя 3–4 суток наблюдалась откладка яиц. Плодовитость – до 60 яиц. Продолжительность эмбрионального развития составляла в среднем 1.8–2.2 суток. Личинка при этом проходила четыре возраста, причем в последнем, четвертом возрасте, не питалась, приобретала матово-белую окраску (рис. 2В), выводила экскременты и окукливалась. Стадии куколки предшествовала стадия предкуколки. Личинка развивалась 8–12 суток, предкуколка – 4–5 суток и куколка – 4–5 суток. Продолжительность предимагинального развития отловленной популяции дибрахиса (от яйца до имаго) в лабораторных условиях составляла от 17 до 23 суток. Срок жизни имаго при наличии дополнительного питания возрастал до 22–25 суток.

В результате хранения паразита *D. cavus* при температуре 4°C и 15°C, было выявлено, что паразит сохраняет жизнеспособность и способен давать потомство (табл. 2).

При хранении дибрахиса в течении 15 суток, выживаемость и способность к размножению соответствовали контролю. Так вылет имаго паразитоида составил 804.3 экз. (хранение при +15°C) и 789.5 экз. (+4°C), по сравнению с 815.0 имаго паразитоида в контроле. Хранение в течение 25 суток незначительно снизило биологические показатели паразитоида: вылет составил 769.8 экз. (+15°C) и 732.9 экз. (+4°C). Средний выход особей дибрахиса с

одной поражённой гусеницы составил 16.3 экз. в контроле, 16.0 экз. в варианте с хранением при температуре (+15°C) в течении 15 суток. После хранения соотношение самцы:самки в среднем составило 1:5 (таблица 2).

Таким образом, хранение *D. cavus* в холодильной камере при температуре 15°C и 4°C на протяжении 15 и 25 суток на стадии имаго не оказывало негативного влияния на выживаемость и репродуктивную способность паразитоида.

В лабораторных условиях проведено изучение трофической специализации *D. cavus*. Установлено, что дибрахис эффективно паразитирует на гусеницах старших возрастов гроздовой, дубовой и розанной листоверток, яблонной плодовой. Количество паразитированных гусениц хлопковой совки составило 9.4%, но вылетевших паразитов не наблюдалось (рис. 4).

Космополитный паразитоид насекомых-вредителей *D. cavus* играет важную роль в биологической борьбе с гроздовой листоверткой.

Дальнейшие исследования будут направлены на оценку эффективности *D. cavus* против гроздовой листовертки на винограднике и чешуекрылых вредителей на яблоне. Наиболее целесообразно введение дибрахиса в агробиоценоз виноградников с осени посредством массового выпуска паразита в период развития гусениц III-IV возрастов последней, уходящей в диапаузу, генерации гроздовой листовертки (рис. 5).

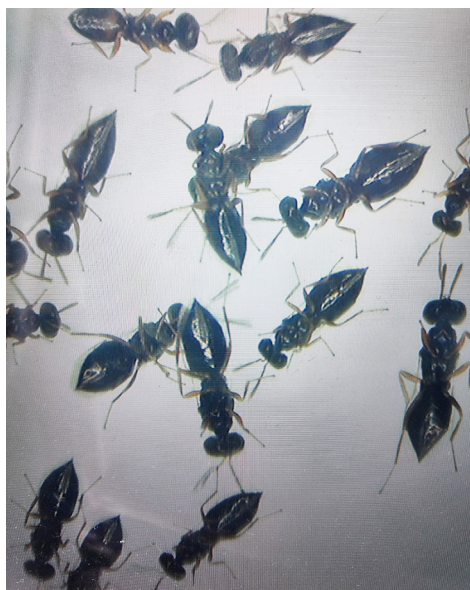


Рисунок 3. Вылет *Dibrachys cavus* при использовании гусениц вошинной моли *Galleria mellonella* старших возрастов (ориг.)

Figure 3. Emergence of *Dibrachys cavus* using older instars of greater wax moth *Galleria mellonella* larvae (original)

Таблица 2. Влияние температуры и длительности хранения на выживаемость и репродуктивную способность паразитоида *Dibrachys cavus*, лабораторные условия**Table 2.** Effect of temperature and storage duration on the viability and reproductive ability of the parasitoid *Dibrachys cavus* under laboratory conditions

Вариант опыта, режимы хранения, t °C Experimental conditions and storage temperature regimes, t °C	Продолжитель- ность хранения, сут. Storage duration, days	Выживае- мость, % Survival, %	Зараженность насекомого-хозяина паразитоидом <i>D. cavus</i> , % Parasitism rate of the host insect by <i>D. cavus</i> , %	Количество вылетевших имаго паразитоида, экз. Number of emerged parasitoid adults, ind.	Соотношение полов Sex ratio	Количество Number	
						самцы males	самки females
+15	15	100* ^{***}	97.0 ^{ab}	804.3±3.5 ^a	1:4.6	144	660
+4		96.4 ^b	95.8 ^b	789.5±4.5 ^b	1:5.0	132	657
+15	25	89.6 ^c	92.7 ^c	769.8±3.0 ^c	1:5.0	129	640
+4		77.9 ^d	89.4 ^d	732.9±2.5 ^d	1:4.8	126	606
Контроль Control	-	100 ^a	98.5 ^a	815.0±4.0 ^a	1:4.9	143	672

* Исходное количество перед хранением во всех вариантах составляло 50 экз.

Initial number before storage in all treatments was 50 individuals.

** Между вариантами, отмеченными одинаковыми буквенными индексами в пределах одного столбца, нет статистически достоверных различий ($p > 0.05$, тест Дункана).

Values within a column sharing the same superscript letter do not differ significantly ($p > 0.05$, Duncan's test).

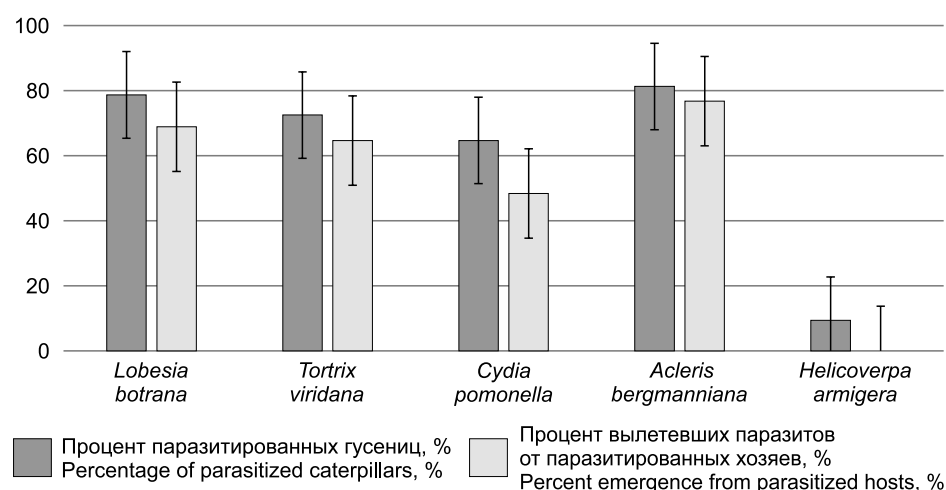


Рисунок 4. Эффективность паразитирования чешуекрылых вредителей энтомофагом *Dibrachys cavus*
Figure 4. The effectiveness of parasitism of lepidopteran pests by the entomophagous *Dibrachys cavus*



Рисунок 5. Вскрытый кокон *Lobesia botrana* с личинками *Dibrachys cavus* в ловчем поясе, Темрюкский район Краснодарского края, 2025 г. (ориг.)

Figure 5. Dissected cocoon of *Lobesia botrana* with *Dibrachys cavus* larvae inside a trap belt, Temryuk District, Krasnodar Area, 2025 (original)

Заключение

В результате исследований получена стартовая культура паразита *D. cavus*. Разработана методика его лабораторного разведения на большой пчелиной огневке *G. mellonella*, выращиваемой на оригинальной искусственной питательной среде (Ширинян и др., 2003). Подобраны

оптимальные условия разведения и хранения. Установлено, что дибрахис эффективно паразитирует на гусеницах гроздовой, дубовой и розанной листоверток, а также яблонной плодовой.

Благодарности

Авторы выражают огромную благодарность Д.В. Дергачеву (ООО «РЕНОП – Агро-5») и В.Я. Исмаилову (Федеральный научный центр биологической защиты растений) за помощь в отлове и определении паразита *D. cavus*.

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2025-0005.

Библиографический список (References)

- Агасьева ИС, Исмаилов ВЯ (2016) Роль биотехнологии в биологической защите растений. *Труды Кубанского государственного аграрного университета* 58:67–74
- Андреева ИВ и др (2023) Практический опыт разведения и применения хищного клопа *Podisus maculiventris* в условиях Западной Сибири. *Вестник защиты растений* 1(106):71–79. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-1-15491>
- Белякова НА, Павлюшин ВА (2023) Скрининг биоресурсов насекомых и клещей для биологического контроля вредителей в защищенном грунте *Вестник защиты растений* 1(106):49–70. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-1-15533>
- Витион ПГ (2016) Опыт привлечения энтомофагов и насекомых-опылителей ароматическими и медоносными растениями. *Евразийский энтомологический журнал* 15(1):89–94
- Витион ПГ (2019) Роль хищных природных энтомофагов в биозащите культуры кукурузы. *Плодоводство и ягодоводство России* 58:109–116
- Глазунова НН, Ченикалова ЕВ (2005) Пути сохранения ценных компонентов агробиоценоза *Защита и карантин растений* 8:19–20
- Доспехов БА (2011) Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. 6 изд. Москва:Альянс. 350 с.
- Дудкин ИВ, Дудкин ВМ, Айдиев АЯ, Стрижков НИ и др (2017) Экологические аспекты формирования систем земледелия и защиты растений *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии* 7:2–7
- Комарова ОП (2021) Биоразнообразие энтомологических сообществ в орошаемых агроландшафтах нижнего Поволжья. *Международный научно-исследовательский журнал* 103(1):121–123
- Костюков ВВ, Кошелева ОВ, Балахнина ИВ (2007) Определитель паразитов вредителей плодового сада. Ростов-на-Дону. 255 с.
- Мисриева БУ, Шамсудинова ММ (2017) Изучение роли перспективных видов энтомофагов в агроценозах Дагестана. *Овощи России* 1:87–91. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2017-1-87-91>
- Попов ИБ, Кремнева ОЮ, Пачкин АА, Ермаков ЯС и др (2023) Роль посевов подсолнечника в поддержании биоразнообразия перепончатокрылых насекомых в агроценозах Краснодарского края. *Юг России: экология, развитие* 18(2):127–139
- Ченикалова ЕВ (2018) Роль энтомофильных культур в сохранении полезной энтомофауны. *Проблемы современной науки и образования* (11):7–9
- Ширинян ЖА, Исмаилов ВЯ, Квасенков ОИ (2003) Способ производства питательной среды для разведения *Galleria mellonella* L. Патент на изобретение № 2001131299/13
- Basapuram G, Dutta A, Duttagupta S (2025) Biotransformation of Pesticides across Biological Systems: Molecular Mechanisms, Omics Insights, and Biotechnological Advances for Environmental Sustainability. *ACS Omega* 10(43):50709–50723. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c06484>
- Chuche J., Xuéreb A., Thiéry D. (2006) Attraction of *Dibrachys cavus* (Hymenoptera: Pteromalidae) to its host frass volatiles. *J Chem Ecol* 32(12):2721–2731
- Elhamalawy O, Bakr A, Eissa F (2024) Impact of pesticides on non-target invertebrates in agricultural ecosystems. *Pestic Biochem Physiol* 202:105974. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2024.105974>
- Górska-Drabik E, Kot I, Golan K, Kmiec K (2014) Parasitoid complex associated with the overwintering generation of *Swammerdamia pyrella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) in Poland. *J Insect Sci* 1(14):264
- Jeyaseelan A, Murugesan K, Thayanithi S, Palanisamy SB (2024) A review of the impact of herbicides and insecticides on the microbial communities. *Environ Res* 245:118020. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.118020>
- Kareiva P, Marvier M (2012) What is conservation science? *BioScience* 62:962–969
- Mervat AA, El-Sayed A (2007) Biological Aspects of Ectoparasitoid *Dibrachys cavus* (Walker) (Hymenoptera: Pteromalidae) on Some Lepidopterous Host Species. *Bull Ent Soc Egypt* 84:29–4Y
- Peters RS, Baur H (2011) A revision of the *Dibrachys cavus* species complex (Hymenoptera: Chalcidoidea: Pteromalidae). *Zootaxa* 2937:1–30
- Pierre JF, Jacobsen K, Latournerie-Moreno L, Torres-Cab WJ et al (2023) A review of the impact of maize-legume intercrops on the diversity and abundance of entomophagous and phytophagous insects. *PeerJ* 11:e15640. <https://doi.org/10.7717/peerj.15640>
- Samnegård U, Alins G, Boreux V, Bosch J et al (2019) Management trade-offs on ecosystem services in apple orchards across Europe: Direct and indirect effects of organic production. *J Appl Ecol* 56(4):802–811

Translation of Russian References

- Agasyeva IS, Ismailov VYa (2016) [The Role of Biotechnology in Biological Plant Protection]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* 58:67–74 (In Russian)
- Andreeva IV et al (2023) [Practical experience in breeding and using the predatory bug *Podisus maculiventris* in Western Siberia]. *Vestnik zashchity rasteniy* 1(106):71–79. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-1-15491> (In Russian)

- Belyakova NA, Pavlyushin VA (2023) [Screening of Insect and Mite Bioresources for Biological Control of Pests in Protected Ground]. *Vestnik zashchity rasteniy* 1(106):49–70. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-1-15533> (In Russian)
- Vition PG (2016) [Attraction of entomophagous and beneficial insects by aromatic and melliferous plants: experimental evidence]. *Evrasiyskiy entomologicheskii zhurnal* 15(1):89–94 (In Russian)
- Vition PG (2019) The Role of Predatory Natural entomophages in the biosecurity of corn cultures. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* 58:109–116 (In Russian)
- Glazunova NN, Chenikalova EV (2005) [Ways of Preservation of Valuable Components of Agrobiocenosis] *Zashchita i karantin rasteniy* 8:19–20 (In Russian)
- Dospikhov BA (2011) [Methodology of Field Experiment: (with the Basics of Statistical Processing of Research Results). 6th ed. Moscow: Alyans. 350 p. (In Russian)]
- Dudkin IV, Dudkin VM, Aydiev AY, Strikhov NI et al (2017) [Environmental Aspects of the Formation of Farming and Plant Protection Systems]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskhozaystvennoy akademii* 7:2–7 (In Russian)
- Komarova OP (2021) [Biodiversity of entomological communities in irrigated agro-landscapes of the Lower Volga region] *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* 103(1):121–123 (In Russian)
- Kostyukov VV, Kosheleva OV, Balakhnina IV (2007) [Identification of Pests of Fruit Orchards]. Rostov-on-Don. 255 p. (In Russian)
- Misrieva B, Shamsudinova M (2017) [Study of the role of perspective types of entomophages in agrobiocenosis of Dagestan]. *Vegetable crops of Russia* 3:87–91 (In Russian)
- Popov IB, Kremneva OYu, Pachkin AA, Ermakov YaS et al (2023) [The Role of Sunflower Crops in Maintaining the Biodiversity of Hymenopteran Insects in the Agroecosystems of the Krasnodar Territory]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* 18(2):127–139 (In Russian)
- Chenikalova EV (2018) [The Role of Entomophilous Crops in Preserving the Useful Entomofauna]. *Problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya* (11):7–9 (In Russian) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2017-1-87-91>
- Shirinyan ZhA, Ismailov VYa, Kvasenkov OI (2003) [Method for producing a nutrient medium for rearing *Galleria mellonella* L.] Author's Certificate No. 2001131299/13 (In Russian)

Plant Protection News, 2026, 109(2), p. 191–197

OECD+WoS: 1.06+IY (Entomology); 4.01+AM (Agronomy)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2026-109-2-17807>

Full-text article

STUDY OF BIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND DEVELOPMENT OF METHODS FOR LABORATORY REARING OF THE PARASITOID *DIBRACHYS CAVUS* (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE)

I.S. Agasyeva, M.V. Petrishcheva*, E.O. Goloborodko, V.S. Petrishchev

Federal Research Center of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

*corresponding author, e-mail: maria.petrischeva@yandex.ru

The primary objective of a living collection of entomocariphagous arthropods is to preserve species biodiversity and their gene pool for reproduction under natural and laboratory conditions. The aim of this research was to replenish the bioresource collection of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Center of Biological Plant Protection» with the parasitoid hymenopteran *Dibrachys cavus*, as well as to study its biological characteristics, identify optimal rearing conditions, and investigate its trophic specialization. In 2023, adult *D. cavus* were collected in vineyards in the Temryuk District of Krasnodar Area. Optimal rearing and storage conditions were determined, and the insect host selected were the larvae of the greater wax moth *Galleria mellonella*. Storage of *D. cavus* at 15 °C (achieving metabolic slowdown) and 4 °C (development arrest) for 15 and 25 days at the adult stage did not negatively affect its developmental parameters. Under laboratory conditions, *D. cavus* effectively parasitized the larvae and pupae of the European grapevine moth *Lobesia botrana*, the green oak tortrix *Tortrix viridana*, the yellow rose tortrix *Acleris bergmanniana* and the codling moth *Cydia pomonella*.

Keywords: entomocariphagous arthropod collection, parasitic hymenopterans, rearing methods, storage, lepidopteran pests

Submitted: 04.03.2026

Accepted: 09.07.2026

СТВОЛОВЫЕ НАСЕКОМЫЕ – ВРЕДИТЕЛИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ОСЛАБЛЕННОМ ДЕФОЛИАЦИЕЙ И НИЗОВЫМ ПОЖАРОМ ЛЕНТОЧНОМ БОРУ НА ЮГЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Н.И. Кириченко^{1,2*}, А.А. Агеев³, С.А. Астапенко³, А.А. Ефременко¹,
Н.С. Бабичев¹, Д.Г. Касаткин²

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленное подразделение ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск

²Всероссийский центр карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»), Быково, м.о. Раменский, Московская обл.

³Филиал ФБУ ВНИИЛМ “Центр лесной пирологии”, Красноярск

*ответственный за переписку, e-mail: nkirichenko@yahoo.com

В статье представлены результаты пилотного изучения комплекса насекомых-ксилофагов на юге Алтайского края в ленточном сосновом бору, ослабленном сосновым шелкопрядом *Dendrolimus pini* и низовым пожаром. В июне–июле 2025 г. в две феромонные ловушки было отловлено 447 экземпляров жуков, относящихся к 17 видам из трех семейств (Cerambycidae, Curculionidae, and Buprestidae). Доминировали черный сосновый усач *Monochamus galloprovincialis* и шестизубчатый короед *Ips sexdentatus* (суммарно до 68% в уловах). Они, а также короед *Ips acuminatus*, долгоносики *Pissodes piniphilus*, *Hyllobius abietis* и златки *Phaenops cyanea* и *Buprestis haemorrhoidalis* являются хозяйственно значимыми видами. Приводится оценка состава и численности ксилофагов в уловах, которая может послужить основой для дальнейшего мониторинга и оптимизации лесозащитных мероприятий в регионе.

Ключевые слова: ксилофаги, усачи, короеды, долгоносики, златки, феромонные ловушки, хозяйственная значимость, Южная Сибирь

Поступила в редакцию: 16.06.2026

Принята к печати: 05.08.2026

Введение

Изучение стволовых вредителей сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в ослабленных насаждениях представляет как фундаментальный, так и практический интерес, в частности для оптимизации лесозащитных мероприятий (Кармазина и др., 2012; Астапенко, Агеев, 2026; Gandhi et al., 2026). В условиях комплексного воздействия первичных вредителей, объедающих хвою, и низового пожара насекомые-ксилофаги выступают фактором, ускоряющим деградацию древостоев. Объектом наших пилотных ис-

следований в 2025 г. стал участок соснового бора на юге Алтайского края (близ границы с Казахстаном), ослабленный сосновым шелкопрядом *Dendrolimus pini* (L.) (Lepidoptera: Lasiocampidae) и низовым пожаром, который весной 2025 г. прошел по границе очага вредителя. В статье приведены список видов ксилофагов, данные по уловам в феромонные ловушки и краткая характеристика хозяйственно значимых видов.

Материалы и методы

Регион исследования. Исследования проводились на окраине затухающего очага соснового шелкопряда (52.24°N, 78.90°E), действовавшего на площади 2370 га в северо-западной части ленточного бора, представленного сосной обыкновенной, в Ключевском лесничестве на юге Алтайского края (рис. 1). Восточная часть бора (Ключевский бор) находится в России, западная (Шалдайский бор) – в Казахстане на плосковершинных возвышениях сухой степи (Данчева, Залесов, 2024). Засушливый климат и большой запас горючих материалов способствуют здесь возникновению низовых пожаров.

Насаждение – чистый, приспевающий сосняк III класса бонитета, полнота 0.7; средняя высота деревьев – 19 м, диаметр – 21 см. Подлесок отсутствует. Напочвенный покров – *Cladonia* sp., злаки, осока. Почвы супесчаные.

Отлов ксилофагов в феромонные ловушки. Для сбора насекомых-ксилофагов две черные многоворончатые

ловушки (Econex, Испания) были установлены 25 июня 2025 г. на деревьях на высоте 3–5 м. Использовали три аттрактанта: 1) смесь феромонов восьми видов усачей (INRAE, Франция) (Roques et al., 2023); 2) α-пинен (Китай); 3) 95%-ный этанол. Диспенсеры – хлопковые валики (1×3.8 см), пропитанные 1 мл аттрактанта и помещенные в полиэтиленовые пакеты с zip-застежкой (4×6 см) – по три пакета (по одному на каждый аттрактант) крепили к бокам ловушки. Аттрактант 1 был предназначен для усачей (Roques et al., 2023), аттрактанты 2 и 3 – для короедов. В приемные ёмкости ловушек заливали по 200 мл антифриза для предотвращения разложения жуков. Ловушки размещали в 50 м друг от друга и экспонировали четыре недели; аттрактанты 2 и 3 обновляли еженедельно. Извлеченных 22 июля из ловушек жуков помещали в контейнеры (0.5 л) с 95%-ным этанолом и доставляли в ИЛ СО РАН (Красноярск). Виды идентифицировали (Рихтер, 1952;



Рисунок 1. Полевые работы на юге Алтайского края в июне 2025 г. А – точка сбора насекомых-ксилофагов (сосновый бор, Ключевское лесничество); Б – ослабленный дефолиацией и низовым пожаром древостой; В, Г – установка феромонных ловушек. Базовая карта заимствована с (Карты России, 2026). Фото: А.А. Агеев, Н.И. Кириченко

Figure 1. Field work in the south of Altai Territory in June 2025. А – sampled site of xylophagous beetles (pine forest, Klyuchevskoe forestry); Б – tree stand weakened by defoliation and ground fire; В, Г – installation of pheromone traps. The base map was borrowed from Maps of Russia (2026). Photos by A.A. Ageev, N.I. Kirichenko

Определитель..., 1965; Черепанов, 1984 и др.) и подсчитывали число и долю их экземпляров в уловах (%). Для хозяйственно значимых видов указаны сведения о

вредоносности (Knizek, 2011; Danilevsky, 2020; Кулинич и др., 2022; Сазонов и др., 2023; Ижевский и др., 2005).

Результаты и обсуждение

За весь период исследования было отловлено 447 экземпляров жуков, относящихся к 17 видам из 3 семейств, со сходными суммарными уловами в ловушках 1 и 2 – 248 и 199 экземпляров соответственно (табл. 1).

Усачи (Cerambycidae) доминировали и составляли 58.5 и 39.2% от суммы уловов всех видов жуков в ловушках (табл. 1).

В совокупности было идентифицировано шесть видов усачей, среди которых преобладал черный сосновый усач *Monochamus galloprovincialis* (рис. 2А, Б) – его особи (преимущественно самцы) составляли около трети всех насекомых в ловушках (табл. 1). За ним следовал малый серый длинноусый усач *Acanthocinus griseus* (рис. 2В, Г) – 25.4%

в ловушке 1, но всего 5% в ловушке 2. Прочие виды усачей (рис. 2Д–Ж) присутствовали в ловушках единично.

Семейство Curculionidae было представлено четырьмя видами короедов (рис. 33–Л) и двумя видами долгоносиков. Среди короедов доминировал шестизубчатый – *Ips sexdentatus* (рис. 3А) – 29.4 и 34.7% в ловушке 1 и 2 (табл. 1). С большим отрывом от него следовали короеды *Ips acuminatus* и *Crypturgus cinereus*. Короед *Orthotomicus laricis* и долгоносики – сосновый жердняковый (или вершинная смолевка) *Pissodes piniphilus* и большой сосновый *Hylobius abietis* – были в ловушках малочисленны.

Златки Buprestidae (рис. 2М–П) были представлены пятью видами и наименьшим числом особей в уловах – 6.9

Таблица 1. Число видов насекомых-ксилофагов, отловленных в феромонные ловушки в Ключевском лесничестве (Алтайский край) в июне–июле 2025, и их доля в уловах (%)

Table 1. The number of xylophagous species caught in pheromone traps in the Klyuchevskoe forestry (Altai Area) in June–July 2025, and their share in catches (%)

Сем. Fam.	№	Вид / Species	Ловушка 1 / Trap 1		Ловушка 2 / Trap 2	
			Σ	%	Σ	%
CERAMBYCIDAE	1	<i>Monochamus galloprovincialis</i> (Olivier, 1795)	78	31.5	66	33.2
	2	<i>Acanthocinus griseus</i> (Fabricius, 1793)	63	25.4	10	5.0
	3	<i>Spondylis buprestoides</i> Linnaeus, 1758	1	0.4	0	0.0
	4	<i>Arhopalus rusticus</i> (Linnaeus, 1758)	2	0.8	1	0.5
	5	<i>Arhopalus ferus</i> (Mulsant, 1839)	1	0.4	0	0.0
	6	<i>Aegomorphus obscurior</i> (Pic, 1904)	0	0.0	1	0.5
	Итого по Cerambycidae / Total for Cerambycidae		145	58.5	78	39.2
CURCULIONIDAE	7	<i>Ips sexdentatus</i> (Börner, 1776)	73	29.4	69	34.7
	8	<i>Ips acuminatus</i> (Gyllenhal, 1827)	8	3.2	8	4.0
	9	<i>Orthotomicus laricis</i> (Fabricius, 1792)	1	0.4	0	0.0
	10	<i>Crypturgus cinereus</i> (Herbst, 1793)	0	0.0	13	6.5
	11	<i>Pissodes piniphilus</i> (Herbst, 1797)	4	1.6	1	0.5
	12	<i>Hylobius abietis</i> (Linnaeus, 1758)	0	0.0	3	1.5
	Итого по Curculionidae / Total for Curculionidae		86	34.7	94	47.2
BUPRESTIDAE	13	<i>Phaenops cyanea</i> (Fabricius, 1775)	16	6.5	19	9.5
	14	<i>Chalcophora mariana</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	1	0.5
	15	<i>Buprestis novemmaculata</i> (Linnaeus, 1758)	0	0.0	1	0.5
	16	<i>Buprestis haemorrhoidalis</i> Herbst, 1780	0	0.0	3	1.5
	17	<i>B. haemorrhoidalis sibirica</i> Fleischer, 1887	1	0.4	3	1.5
	Итого по Buprestidae / Total for Buprestidae		17	6.9	27	13.6
ВСЕГО (по трем семействам) / TOTAL (for the three families)			248	100 %	199	100 %

и 13.6% в ловушке 1 и 2 (табл.1). Это объясняется их случайным попаданием в ловушки (приманок на златок не использовали) и, возможно, низкой численностью в насаждении в год исследования. Среди златок в обеих ловушках превалировала синяя сосновая златка *Phaenops cyanea* (рис. 2М). На ее долю приходилось от 6 до почти 10% всех особей насекомых в уловах (табл.1). В ловушках единично встречались также златки *Chalcophora mariana*, *Buprestis novemmaculata*, *B. haemorrhoidalis* и ее подвид сибирский *B. haemorrhoidalis sibirica*.

Все выявленные виды насекомых-ксилофагов являются типичными обитателями ослабленных сосновых насаждений и входят в состав местной энтомофауны изученного региона. Среди них особый интерес с точки зрения хозяйственной значимости представляют семь видов, т.е. 41% от общего числа отловленных видов в 2025 г. на юге Алтайского края. Ниже даны краткие сведения по каждому из них.

Черный сосновый усач *M. galloprovincialis* – транспалеарктический вид, имеет пять подвидов, но их статус носит дискуссионный характер; карантинный вид в странах ЕАЭС. Усач развивается в ветвях и стволах отмирающих, мертвых, срубленных или выкорчеванных сосен. Жуки поражают кроны, ветви и верхушки деревьев меньшего диаметра (4–15 см), реже более толстые стволы и ветви (20–25 см).

Короеды шестизубчатый *Ips sexdentatus* и вершинный *I. acuminatus* – транспалеарктические виды, способны давать вспышки массового размножения, заселяют

отмирающие и свежепогибшие деревья, порубочные остатки, но могут нападать и на внешне здоровые деревья; карантинные виды для ряда зарубежных стран (не ЕАЭС) (Кулинич и др., 2022). В связи с изменением климата вредоносность этих видов короедов в древостоях увеличилась: с 2016 г. в Беларуси отмечают массовое усыхание сосновых насаждений из-за их деятельности (Кулинич и др., 2022).

Сосновый жердняковый долгоносик *Pissodes piniphilus* распространен от Европы до Дальнего Востока, вызывает суховершинность и гибель ветвей, а при массовом повреждении приводит к усыханию деревьев. Сосновый большой долгоносик *Hylobius abietis* обитает от Европы до Дальнего Востока; его имаго окольцовывают стволы молодых деревьев, вызывая их усыхание, а также повреждают хвою и почки.

Синяя сосновая златка *Phaenops cyanea* – транспалеарктический вид, важнейший вредитель сосны, особенно интенсивно размножается в очагах корневой губки и на пожарищах, а также в сосновых культурах после весенней засухи. Вид заселяет не только природные, но и искусственные насаждения; плотность заселения может достигать нескольких сотен личинок на дерево. В Беларуси в ряде лесхозов этот вид занимает первое место среди ксилофагов по площади очагов в сосновых борах (Сазонов и др., 2023). Златка *Buprestis haemorrhoidalis* обитает в Европе, Казахстане, Западной Сибири, занесена в Африку; является важным техническим вредителем – поражает конструкции из древесины сосны.

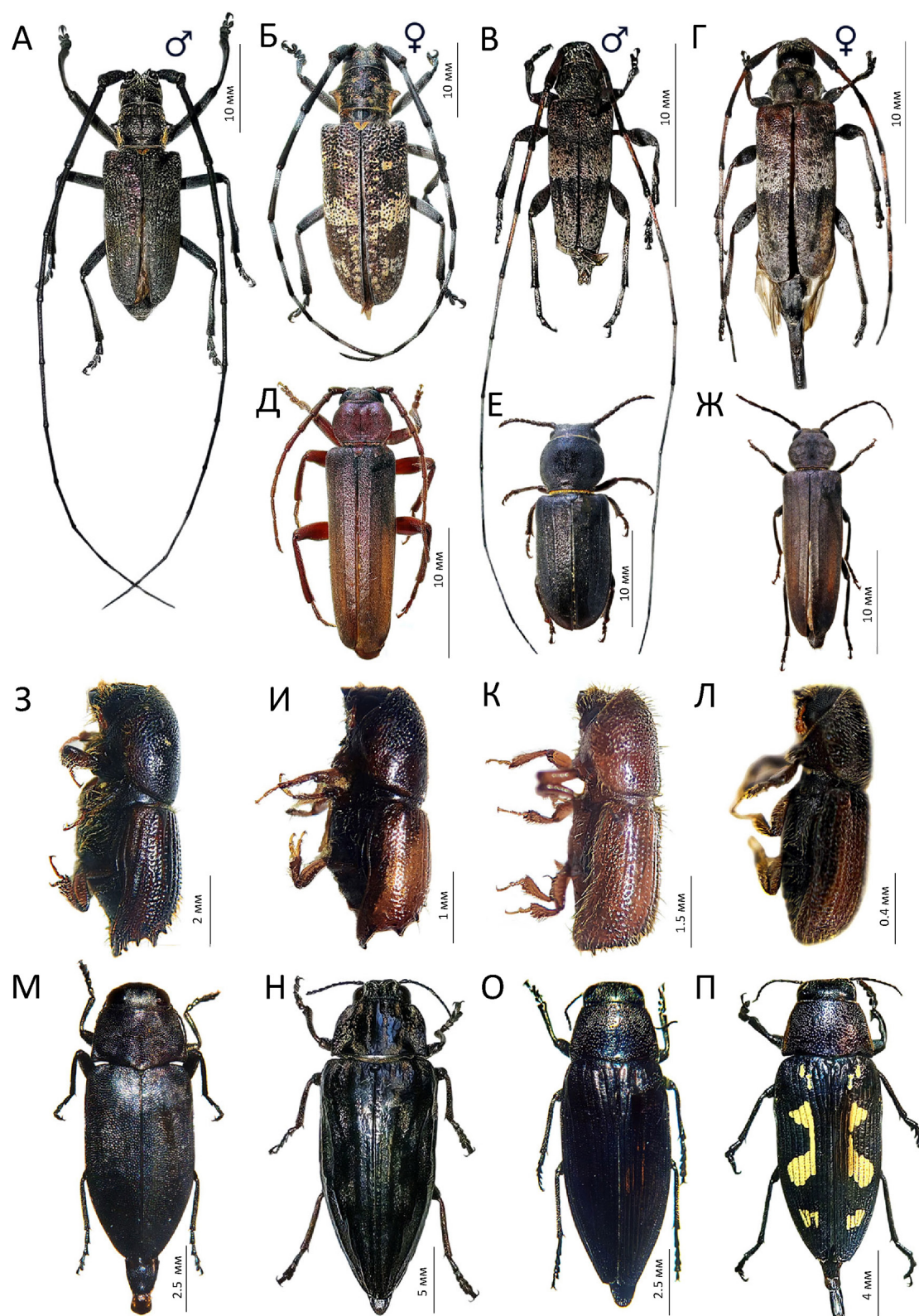


Рисунок 2. Стволовые виды жуков, отловленные в феромонные ловушки в Ключевском лесничестве (Алтайский край) в июне-июле 2025 г. Усачи: А, Б – *Monochamus galloprovincialis*, В, Г – *Acanthocinus griseus*, Д – *Arhopalus rusticus*, Е – *Spondylis buprestoides*, Ж – *Arhopalus ferus*; короеды: З – *Ips sexdentatus*, И – *Ips acuminatus*, К – *Orthotomicus laricis*, Л – *Crypturgus cinereus*; златки: М – *Phaenops cyanea*, Н – *Chalcophora mariana*, О – *Buprestis haemorrhoidalis sibirica*, П – *Buprestis novemmaculata*. Фото: Н.И. Кириченко, А.А. Ефременко

Figure 2. Wood-boring beetles captured in pheromone traps in the Klyuchevskoye forestry (Altai Area) in June–July 2025. Longhorn beetles: А, Б – *Monochamus galloprovincialis*, В, Г – *Acanthocinus griseus*, Д – *Arhopalus rusticus*, Е – *Spondylis buprestoides*, Ж – *Arhopalus ferus*; bark beetles: З – *Ips sexdentatus*, И – *Ips acuminatus*, К – *Orthotomicus laricis*, Л – *Crypturgus cinereus*; jewel beetles: М – *Phaenops cyanea*, Н – *Chalcophora mariana*, О – *Buprestis haemorrhoidalis sibirica*, П – *Buprestis novemmaculata*. Photo by N.I. Kirichenko, A.A. Efremenko

Заключение

Несмотря на пилотный характер работы, полученные результаты позволили составить предварительную картину видового состава и относительной численности стволовых видов жуков в сосновом ленточном бору на юге Алтайского края, испытавшем в 2025 г. двойную нагрузку – дефолиацию сосновым шелкопрядом и воздействие низового пожара. Выявленное доминирование хозяйственно значимых видов, способных к массовому размножению,

указывает на необходимость продолжения мониторинга в регионе с целью своевременного обнаружения вспышек численности и оптимизации лесозащитных мероприятий. Полученные данные могут служить основой для разработки системы раннего выявления и прогнозирования динамики популяций опасных стволовых вредителей в условиях комплексного ослабления сосновых древостоев Южной Сибири.

Благодарности

Выражаем благодарность коллегам из Ключевского лесничества за содействие, А. Рока (A. Roques, France) за предоставление ловушек и аттрактантов усачей, М.Г. Волковича (ЗИН РАН, Санкт-Петербург) за подтверждение видов златок. Работа выполнена в рамках базового проекта ИЛ СО РАН (№ FWES-2024-0029) (идентификация видов) и государственного задания Филиала ФБУ ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии» (№124080700008-8) (сбор полевого материала).

Библиографический список (References)

- Астапенко СА, Агеев АА (2026) Большой еловый лубоед в Красноярском крае. *Фитосанитария. Карантин растений* 2S(27A):6–7. <https://doi.org/10.69536/FKR.2026.94.68.001>
- ГЯ Бей-Биенко, ред (1965) Определитель насекомых европейской части СССР. Жесткокрылые и веерокрылые Т II, М.-Л.: Наука. 668 с.
- Данчева АВ, Залесов СВ (2024) Районирование сосновых лесов Республики Казахстан. *Леса России и хозяйство в них* 1(88):4–28
- Ижевский СС, Никитский НБ, Волков ОГ, Долгин ММ (2005) Иллюстрированный справочник жуков-ксилофагов – вредителей леса и лесоматериалов Российской Федерации. Тула: Гриф и К. 220 с.
- Кармазина ИО, Сахнов ВВ, Шулаев НВ (2012) Оценка влияния ксилофагов на состояние сосновых насаждений, поврежденных лесными пожарами на территории национального парка «Марий Чодра» (республика Марий Эл). *Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки* 2:139–155
- Карты России (2026) Карта Республики Алтай с городами и другими населёнными пунктами. <http://www.russia-map.ru/respublika-altaj.html> (16.07.2026)
- Кулинич ОА, Чалкин АА, Ряскин ДИ, Арбузова ЕН и др. (2022) Распространение и карантинный статус короедов рода *Ips* для России и других стран мира. *Защита и карантин растений* 4:27–31
- Рихтер АА (1952) Златки (Buprestidae). Ч. 4 – трибы Ancylocheirini, Capnodini, Buprestini, Chrysobothrini. Фауна СССР. Жесткокрылые, Т XIII (4). М.-Л.: Изд. АН СССР. 234 с.
- Сазонов АА, Кухта ВН, Романенко МО, Салук СВ (2023) Синяя сосновая златка (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) – новая угроза лесам Беларуси. *Труды БГТУ* 1:61–72. <https://doi.org/10.52065/2519-402X-2023-264-07>
- Черепанов АИ (1984) Усачи Северной Азии (Lamiinae: Pterycopini – Agapanthiini). Новосибирск: Наука. 214 с.
- Danilevsky M (2020) Catalogue of Palaearctic Coleoptera 6 (1), Chrysomeloidea I (Vesperidae, Disteniidae, Cerambycidae). Revised and updated edition. Leiden/Boston: Brill. 712 p.
- Knizek M (2011) Subfam. Scolytinae. In: Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Curculionoidea I (7):204–251
- Roques A, Ren L, Rassati D, Shi J et al (2023) Worldwide tests of generic attractants, a promising tool for early detection of non-native cerambycid species at arrival on other continents. *NeoBiota* 84:169–209. <https://doi.org/10.3897/neobiota.84.91096>
- Gandhi KJK, Hood SM (2026) Eco-evolutionary interactions between pines, fire, and herbivorous insects. In: Johnson DM, Niinemets Ü, Domec JC (eds) *Physiology and Ecology of Pines Worldwide. Tree Physiology* 9. Springer: Cham. 87–116. https://doi.org/10.1007/978-3-032-23001-0_4

Translation of Russian References

- Astapenko SA, Ageev AA (2026) [The greater spruce bark beetle in Krasnoyarsk Krai]. *Plant Health and Quarantine* 2S(27A):6–7 (In Russian)
- Bej-Bienko GYa, ed (1965) [Key to insects of the European part of the USSR (1965) [Coleoptera and Strepsiptera II]. Moscow-Leningrad: Nauka. 668 p. (In Russian)
- Dancheva AV, Zalesov SV (2024) [Zoning of Pine Forests of the Republic of Kazakhstan]. *Forests of Russia and Their Management* 1(88):4–28 (In Russian)
- Izhevskiy SS, Nikitskiy NB, Volkov OG, Dolgin MM (2005) [Illustrated handbook of xylophagous beetles – Pests of Forests and Timber in the Russian Federation]. Tula: Grif and Co. 220 p. (In Russian)
- Karmazina IO, Sakhnov VV, Shulaev NV (2012) [Assessment of the influence of xylophages on the condition of pine plantations damaged by forest fires in the Mari Chodra National Park (Mari El Republic)]. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki* 2:139–155 (In Russian)
- Kulinich OA, Chalkin AA, Ryaskin DI, Arbuzova EN et al (2022) [Distribution and quarantine status of bark beetles of the genus *Ips* for Russia and other countries]. *Plant Protection and Quarantine* 4:27–31 (In Russian)
- Maps of Russia (2026) Map of the Altai Republic with cities and other settlements (In Russian) <http://www.russia-map.ru/respublika-altaj.html> (16.07.2026)
- Richter AA (1952) [Buprestidae. Part 4 – tribes Ancylocheirini, Capnodini, Buprestini, Chrysobothrini]. Fauna of the USSR. Coleoptera, XIII (4). Moscow-Leningrad: Publ. Academy of Sciences of the USSR. 234 p. (In Russian)

Sazonov AA, Kukhta VN, Romanenko MO, Saluk SV (2023) [Steelblue jewel beetle (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) – a new threat to the forests of Belarus]. *Proceedings of BSTU* 1:61–72 (In Russian) <https://doi.org/10.52065/2519-402X-2023-264-07>

Cherepanov AI (1984) [Longhorn beetles of Northern Asia (Lamiinae: Pterycoptini – Agapanthiini)]. Novosibirsk: Nauka. 214 p. (In Russian)

Plant Protection News, 2026, 109(2), p. 198–203

OECD+WoS: 1.06+IY (Entomology); 4.01+KA (Forestry)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2026-109-2-18251>

Short communication

XYLOPHAGOUS INSECT PESTS OF SCOTS PINE IN A RIBBON FOREST WEAKENED BY DEFOLIATION AND GROUND FIRE IN THE SOUTH OF THE ALTAI AREA

N.I. Kirichenko^{1,2*}, A.A. Ageev³, S.A. Astapenko³, A.A. Efremenko¹, N.S. Babichev¹, D.G. Kasatkin²

¹V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Krasnoyarsk, Russia

²All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU “VNIKR”), Bykovo, Moscow Oblast, Russia

³All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization (VNIILM), «Forest Pyrology Center», Krasnoyarsk Branch, Krasnoyarsk, Russian Federation

*corresponding author, e-mail: nkirichenko@yahoo.com

The results of a pilot study of xylophagous insects in a ribbon pine forest, weakened by pine tree lappet moth *Dendrolimus pini* and ground fire, in the southern Altai Area are presented here. In June–July 2025, overall, 447 specimens from 17 species and three families (Cerambycidae, Curculionidae, and Buprestidae) were captured in two pheromone traps. The pine sawyer beetle *Monochamus galloprovincialis* and the six-toothed bark beetle *Ips sexdentatus* were dominant (in total up to 68% of catches). These insects, along with the bark beetle *Ips acuminatus*, the weevils *Pissodes piniphilus* and *Hylobius abietis*, and the jewel beetles *Phaenops cyanea* and *Buprestis haemorrhoidalis*, are economically significant species. The assessment of the composition and abundance of xylophages in the catches is provided, which can serve as a basis for further monitoring and optimization of forest protection measures in the region.

Keywords: wood-boring beetles, longhorn beetles, bark beetles, weevils, jewel beetles, pheromone traps, economic significance, Southern Siberia

Submitted: 16.06.2026

Accepted: 05.08.2026

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РОССИЙСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ *Rhopalosiphum padi* (HEMIPTERA, ARHIDIDAE) ПО ВИРУЛЕНТНОСТИ К СОРТАМ ПШЕНИЦЫ

Е.Е. Радченко*, Р.А. Абдуллаев

Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова, Санкт-Петербург

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

Анализировали специфичность отношений черемухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi* с генотипами пшеницы. Оценивали показатели антибиоза (продолжительность преимагинального развития тлей и плодовитость самок за 5 дней репродукции) устойчивого (Дельфи 400) и восприимчивого (Ленинградская 97) сортов. В экспериментах использовали клоны, выделенные из северо-западной, нижегородской, краснодарской и дагестанской популяций насекомого. В 2020 г. Дельфи 400 обладал отчетливым антибиозом к клонам из северо-западной популяции, в 2022 г. – ко всем клонам, выделенным из четырех популяций тли. В 2021 г. устойчивость была выявлена против двух краснодарских клонов и одного клона из северо-западной популяции, 10 клонов равно успешно размножались на двух сортах, а один из дагестанских клонов развивался быстрее и был более плодовит на Дельфи 400, то есть наблюдали дифференциальное взаимодействие насекомого с растением-хозяином. После длительного размножения *Rh. padi* в лаборатории на Дельфи 400 выявили изменение экспрессии антибиоза, предполагающее мутацию или длительную модификацию у тли, подавляющую действие генов устойчивости пшеницы.

Ключевые слова: черемухово-злаковая тля, клон, *Triticum aestivum*, устойчивость растений

Поступила в редакцию: 27.04.2026

Принята к печати: 06.07.2026

Введение

Адаптация к кормовым растениям – важнейший фактор, определяющий микроэволюционные процессы в популяциях тлей. Генетическое разнообразие популяций насекомых обеспечивается за счет генных и хромосомных мутаций, рекомбинации и интрогрессии генов иммигрантов, а гетерогенность популяций предоставляет материал для естественного отбора. Дифференциально взаимодействующие с генотипами растения-хозяина внутривидовые формы тлей (биотипы) различаются по вирулентности, то есть по способности преодолевать устойчивость хозяина.

Литературные данные о специфическом взаимодействии насекомых с растениями-хозяевами довольно многочисленны, прежде всего, для тлей, обуславливающих некротизацию растительных тканей – обыкновенной злаковой *Schizaphis graminum* Rond. и ячменной (русской пшеничной) *Diuraphis noxia* (Kurdjumov) (Weiland et al., 2008; Armstrong et al., 2016; Radchenko et al., 2023). Специфичность отношений *Rhopalosiphum padi* L. с растениями-хозяевами практически не изучена. Черемухово-злаковая тля не вызывает токсическую реакцию у хозяина и, следовательно, устойчивость можно тестировать лишь по проявлению типов устойчивости растений: антиксеноза

(отвергание растения при возможности выбора) и антибиоза (неблагоприятное воздействие на жизнеспособность насекомого при питании).

Ранее мы выявили сорт пшеницы мягкой яровой Дельфи 400 (к-54046, Казахстан), который устойчив к клонам насекомого, выделенным из различных популяций. Антиксеноз и антибиоз этого сорта к *Rh. padi* контролируют 2 доминантных комплементарных гена (Radchenko et al., 2007). Было показано дифференциальное взаимодействие пшеницы и *Rh. padi*: Дельфи 400 обладал высокой антибиотической устойчивостью к клонам, выделенным из узбекской (г. Галляарал) и северо-западной (Санкт-Петербург) популяций тли, однако характеризовался неустойчивостью к большинству клонов *Rh. padi* из дагестанской (г. Дербент) популяции вредителя (Радченко, 1993).

Цель настоящей работы – изучить устойчивость сорта Дельфи 400 к клонам черемухово-злаковой тли, выделенным из российских популяций насекомого, а также оценить возможность отбора *Rh. padi* по вирулентности под влиянием генотипов растений при длительном размножении на них насекомых.

Материалы и методы

В августе 2020 г. черемухово-злаковую тлю для лабораторных опытов собирали на посевах пшеницы научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР, С.-Петербург, Пушкин). В июне

2021 и 2022 гг. *Rh. padi* была собрана в ППЛ ВИР, окрестностях Нижнего Новгорода и в Гулькевичском районе Краснодарского края (Кубанская опытная станция – КОС

ВИР) на пшенице, а в пригороде г. Дербент (Дагестанская опытная станция ВИР – ДОС ВИР) – на ячмене.

Для получения клонов насекомого в световом зале отдела генетики ВИР семена сорта пшеницы мягкой яровой Ленинградская 97 раскладывали на влажную вату, помещенную в половинки чашек Петри, затем на появившиеся всходы в каждой чашке подсаживали одну партеногенетическую самку и накрывали стеклянными изоляторами, верхнюю часть которых затягивали мельничным газом. После начала отрождения личинок садки с полученными клонами помещали на светоустановки, оборудованные люминесцентными лампами.

В 2020 г. оценили плодовитость шести клонов насекомого за 5 дней репродукции на сорте Дельфи 400 в сравнении с рекомендуемым к выращиванию на северо-западе РФ сортом Ленинградская 97. В двух вариантах опыта на смоченную водой вату, помещенную в половинки чашек Петри, раскладывали по одному проросшему здоровому зерну оцениваемого образца. Примерно через 3–5 дней всходы заселяли двумя бескрылыми самками тли и изолировали стеклами от фонарей «летучая мышь», верхняя часть которых была затянута нетканым материалом. На следующий день имаго удаляли и оставляли одну личинку на растении. Для установления начала репродуктивного периода садки просматривали два раза в день, а затем

определяли плодовитость индивидуально изолированной тли за период, равный минимальной продолжительности преимагинального развития личинок (5 дней). Садки размещали в световом зале, где поддерживалась температура воздуха 20–25 °С. В каждом варианте было 13–20 повторностей (Дельфи 400) и 17–20 – для сорта Ленинградская 97. Различие числа повторностей обусловлено смертностью изолированных на растениях самок.

В 2021 г. оценивали 2 показателя антибиоза (продолжительность преимагинального развития тлей и плодовитость самок за 5 дней репродукции) упомянутых выше сортов к 14 клонам, выделенным из четырех природных популяций. В 2022 г. определяли плодовитость самок десяти клонов из четырех популяций насекомого. В каждом варианте опыта было 20 повторностей.

С целью выявления возможного изменения степени устойчивости растений при длительном размножении на них насекомых проводили пассирование двух клонов тли, выделенных из северо-западной популяции в 2020 г., на устойчивом и восприимчивом сортах пшеницы. После длительного размножения фитофага (7 и 14 месяцев) на сортах Дельфи 400 и Ленинградская 97 оценивали диапазон совместимости полученных выборок *Rh. padi* с экспериментальными генотипами растений.

Результаты и обсуждение

В 2020 г. на зерновых культурах вредитель появился необычно поздно – в начале августа (обычное время миграции – после цветения черемухи, то есть в мае – начале июня), численность его была очень низка. Сорт Дельфи 400 обладал существенным антибиозом ко всем шести клонам тли, выделенным из северо-западной популяции: плодовитость самок на этом образце была на 40–50% меньше, чем на сорте Ленинградская 97. Испытанные клоны различались и по жизнеспособности: плодовитость насекомых на устойчивом сорте варьировала от 6.54 до 13.68 личинок, на восприимчивом – от 9.24 до 23.35, однако дифференциальное взаимодействие генотипов растений и насекомого не выявлено.

В 2021 г. сорт Дельфи 400 обладал существенным антибиозом к двум клонам, выделенным из краснодарской популяции тли, плодовитость самок на этом образце была на 40–60% меньше, чем на сорте Ленинградская 97 (табл. 1). В то же время отчетливо выраженная антибиотическая устойчивость Дельфи 400 проявлялась лишь против одного клона из северо-западной популяции (ППЛ ВИР-1); не выявлены различия двух сортов и по показателям антибиоза к четырем нижегородским клонам, а также к трем клонам, выделенным из дагестанской популяции тли. Сорт Ленинградская 97 обладал отчетливым антибиозом к клону ДОС ВИР-4: тля развивалась быстрее и была более плодовита на Дельфи 400.

В 2022 г. плодовитость самок всех десяти испытанных клонов тли на сорте Дельфи 400 была на 30–60% меньше, чем на сорте Ленинградская 97. Клоны *Rh. padi* различались по жизнеспособности: плодовитость самок за 5

дней репродукции на восприимчивом сорте варьировала от 9.95 до 14.30, на устойчивом – от 5.75 до 8.85; специфическое взаимодействие кормового растения и насекомого не обнаружили.

Исследование антибиоза сортов пшеницы свидетельствует о возможном дифференциальном взаимодействии генотипов насекомого и растений, прежде всего, в пределах дагестанской популяции тли 2021 г. Для проверки этого предположения полученные данные обработали с помощью дисперсионного анализа. Анализировали двухфакторный комплекс: варьирование по генотипам фитофага (4 клона) и по генотипам растений (2 образца). Наиболее интересный результат дисперсионного анализа (табл. 2) – специфическое взаимодействие генотипов растений и насекомых. Дисперсия для взаимодействия значительно превышает случайную, $F_{\text{факт.}} > F_{0.5}$. Результаты экспериментов показывают, что сорт Ленинградская 97 обладает геном (генами) устойчивости, экспрессия которого зависит от генотипа вредителя и была слабой в наших опытах с северо-западной и нижегородской популяциями тли.

Для выявления возможного изменения степени устойчивости растений при длительном размножении на них насекомых проводили пассирование двух клонов тли из северо-западной популяции на сорте Дельфи 400. После питания клон ППЛ ВИР-1-20 в течение семи месяцев на Дельфи 400 различия по плодовитости на двух образцах пшеницы нивелировались, однако через 14 месяцев плодовитость тли на Ленинградской 97 и Дельфи 400 вновь вернулась к исходному уровню (табл. 3). В то же время антибиоз у сорта Дельфи 400 после длительного питания на

Таблица 1. Показатели антибиоза сортов пшеницы к *Rhopalosiphum padi***Table 1.** Antibiosis indices of wheat varieties to *Rhopalosiphum padi*

Клон тли Aphid clone	Продолжительность преимагинального развития тли (дней) на сортах: Duration of aphid preimaginal development (days) on varieties:		Плодовитость тли (шт.) за 5 дней репродукции на сортах: Aphid fecundity (pcs.) for 5 days of reproduction on varieties:	
	Ленинградская 97 Leningradskaya 97	Дельфи 400 Delfi 400	Ленинградская 97 Leningradskaya 97	Дельфи 400 Delfi 400
ППЛ ВИР-1-21	6.0 а А*	6.25 а А	8.75 вг А	4.70 а Б
ППЛ ВИР-2-21	6.30 абв А	6.20 а А	6.60 бв А	5.70 абв А
ППЛ ВИР-3-21	7.0 де А	6.85 вг А	5.95 аб А	5.25 аб А
ППЛ ВИР-4-21	6.90 д А	6.75 бв А	4.20 а А	5.0 аб А
ДОС ВИР-1-21	6.70 гд А	6.85 вг А	7.65 бвг А	7.53 вгд А
ДОС ВИР-2-21	11.05 з А	8.15 е Б	8.35 вг А	7.90 гд А
ДОС ВИР-3-21	6.75 гд А	6.85 вг А	8.50 вг А	7.15 бвгд А
ДОС ВИР-4-21	12.05 и А	7.95 е Б	9.60 г А	12.74 ж Б
Нижний Новгород-1-21	6.55 вг А	6.55 абв А	13.60 д А	13.85 ж А
Нижний Новгород-2-21	6.55 вг А	6.45 аб А	12.0 д А	10.50 е А
Нижний Новгород-3-21	6.45 бвг А	6.40 а А	6.15 аб А	6.55 абвг А
Нижний Новгород-4-21	6.15 аб А	6.20 а А	6.60 бв А	6.65 абвг А
КОС ВИР-1-21	7.40 ж А	7.25 д А	13.45 д А	5.55 абв Б
КОС ВИР-2-21	7.30 еж А	7.15 гд А	13.95 д А	8.85 де Б

*Здесь и далее различия, обозначенные одинаковыми строчными буквами по вертикали и прописными – по горизонтали, несущественны по многогранговому критерию Дункана ($p \leq 0.05$).

*Here and further, the differences indicated by the same lowercase letters vertically and uppercase letters horizontally are insignificant according to Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа показателей антибиоза пшеницы к клонам *Rhopalosiphum padi*, выделенным из дагестанской популяции**Table 2.** Results of variance analysis of the antibiosis indices of wheat to *Rhopalosiphum padi* clones isolated from the Dagestan population

Вариация Variation	Суммы квадратов Sums of squares	Степени свободы Degrees of freedom	Дисперсия Dispersion	F _{факт.}	F _{0.5}
Плодовитость тли за 5 дней репродукции / Aphid fecundity for 5 days of reproduction					
По клонам тли	337.22	3	112.41	9.91	2.66
По сортам	3.92	1	3.91	0.34	3.90
По взаимодействию клонов тли с сортами пшеницы	115.62	3	38.56	3.40	2.66
Остаточная	1723.95	152	11.34		
Общая	2180.74	159			
Продолжительность преимагинального развития тли / Duration of aphid preimaginal development					
По клонам тли	366.22	3	122.07	317.45	2.66
По сортам	113.91	1	113.91	296.21	3.90
По взаимодействию клонов тли с сортами пшеницы	138.62	3	46.21	120.16	2.66
Остаточная	58.45	152	0.385		
Общая	677.19	159			

нем второго клона *R. padi* не был выявлен. Следовательно, мы наблюдали изменение экспрессии антибиоза при возникновении мутации или длительной модификации у черемухово-злаковой тли, подавляющей действие генов устойчивости у пшеницы.

Таким образом, мы наблюдали существенную изменчивость *Rh. padi* по вирулентности к растению-хозяину как во времени, так и в пространстве. Изученные

выборки клонов насекомого малы, однако они отражают доминирующие профили вирулентности в пределах данной популяции, причем эти профили могут разительно различаться по годам. Значение средообразующей роли растений в биоценозах показано нами и с помощью молекулярных маркеров. В 2021–2022 гг. в 14 выборках из трёх популяций *Rh. padi* (ППЛ ВИР, КОС ВИР, ДОС ВИР) изучали полиморфизм фрагмента гена *ND4*, кодирующего

Таблица 3. Показатели антибиоза сортов пшеницы к *Rhopalosiphum padi* после длительного размножения двух клонов тли на экспериментальных сортах пшеницы**Table 3.** Antibiosis indices of wheat varieties to *Rhopalosiphum padi* after prolonged reproduction of two aphid clones on experimental wheat varieties

Сорт, сформировавший выборку The variety that formed the sample	Продолжительность преимагинального развития тли (дней) на сортах: Duration of aphid preimaginal development (days) on varieties:		Плодовитость тли (шт.) за 5 дней репродукции на сортах: Aphid fecundity (pcs.) for 5 days of reproduction on varieties:	
	Ленинградская 97 Leningradskaya 97	Дельфи 400 Delfi 400	Ленинградская 97 Leningradskaya 97	Дельфи 400 Delfi 400
Клон тли ППЛ ВИР-1-20 / Aphid clone ППЛ ВИР-1-20				
Ленинградская 97 (09.2020)	-	-	9.24 б А	6.54 а Б
Дельфи 400 (04.2021)	7.40 а А	7.40 а А	12.15 д А	11.50 д А
Ленинградская 97 (11.2021)	8.25 бв А	8.20 б А	9.40 б А	5.35 а Б
Дельфи 400 (11.2021)	8.0 б А	8.30 б А	9.60 бв А	5.75 а Б
Клон тли ППЛ ВИР-3-20 / Aphid clone ППЛ ВИР-3-20				
Ленинградская 97 (09.2020)	-	-	18.35 е А	11.35 гд Б
Дельфи 400 (04.2021)	7.45 а А	7.50 а А	11.35 вгд А	11.10 вгд А
Ленинградская 97 (11.2021)	9.25 г А	9.15 в А	11.65 гд А	10.45 бвгд А
Дельфи 400 (11.2021)	8.55 в А	8.55 б А	7.75 а А	6.75 а А

субъединицу 4 фермента NADH-дегидрогеназы. Соотношение митохондриальных гаплотипов свидетельствовало о важной роли генотипа хозяина при формировании структуры популяций *Rh. padi*. Выявлены существенные различия между географически разобщенными популяциями, а также внутри популяций по годам, как для северокавказских, так и северо-западных выборок (Radchenko et al., 2024).

Специфичность взаимоотношений насекомого и растения-хозяина характерна, прежде всего, для дагестанской популяции *Rh. padi*. Сорт Ленинградская 97 обладает

геном (генами) устойчивости, экспрессия которого зависит от генотипа вредителя и была слабой в опытах с северо-западной и нижегородской популяциями тли. В 2021 г. антибиоз Дельфи 400 к большинству клонов насекомого не был выявлен, что свидетельствует о преодолении вредителем генов устойчивости этого сорта. Кроме того, при длительном размножении тли на Дельфи 400 мы наблюдали изменение экспрессии антибиоза при возникновении мутации или длительной модификации у черемухово-злаковой тли, подавляющей действие генов устойчивости у пшеницы.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Библиографический список (References)

- Радченко ЕЕ (1993) Внутривидовая изменчивость обыкновенной черемуховой тли. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции* 147:49–53
- Armstrong JS, Mornhinweg DW, Payton ME, Puterka GJ (2016) The discovery of resistant sources of spring barley, *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*, and unique greenbug biotypes. *J Econ Entomol* 109(1):434–436. <https://doi.org/10.1093/jee/tov320>
- Radchenko EE, Abdullaev RA, Akimova DE, Anisimova IN (2023) Genetic diversity of barley accessions from East Asia for greenbug resistance. *Plants* 12(22):3797. <https://doi.org/10.3390/plants12223797>
- Radchenko EE, Anisimova IN, Alpatieva NV (2024) Polymorphism of Russian populations of *Rhopalosiphum padi* L. based on DNA markers. *Russ J Genet* 60(8):1056–1062. <https://doi.org/10.1134/S1022795424700522>
- Radchenko EE, Berim MN, Zubov AA (2007) Genetic control of different types of the aphid resistance in cereal crops. *Entomol Rev* 87(3):253–262. <https://doi.org/10.1134/S0013873807030025>
- Weiland AA, Peairs FB, Randolph TL, Rudolph JB et al (2008) Biotypic diversity in Colorado Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) populations. *J Econ Entomol* 101(2):569–574. <https://doi.org/10.1093/jee/101.2.569>

Translation of Russian References

- Radchenko EE (1993) [Intraspecific variability of the bird cherry-oat aphid] *Proc Appl Bot Genet Breed* 147:49–53 (In Russian)

VARIABILITY OF *RHOPALOSIPHUM PADI* (HEMIPTERA, APHIDIDAE)
RUSSIAN POPULATIONS IN VIRULENCE TO WHEAT VARIETIES

E.E. Radchenko*, R.A. Abdullaev

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

*corresponding author; e-mail: eugene_radchenko@rambler.ru

The bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* interactions with wheat genotypes were analyzed. Antibiosis parameters (duration of aphid preimaginal development and female fecundity) were assessed for resistant (Delfi 400) and susceptible (Leningradskaya 97) varieties. Insect clones isolated from the populations of northwestern Russia, Nizhny Novgorod, Krasnodar, and Dagestan, were exploited. In 2020, Delfi 400 exhibited distinct antibiosis against clones from the northwestern population, and in 2022, against all clones from the four aphid populations. In 2021, the resistance was detected against the two Krasnodar clones and one clone from the northwestern population. Ten clones reproduced equally on both varieties, while one of the Dagestan clones developed faster and was more fecund on Delfi 400, indicating a differential insect-plant interaction. After prolonged reproduction of *Rh. padi* on Delfi 400 in laboratory, antibiosis expression was changed suggesting a mutation or long-term modification in the aphid, which suppressed the effect of wheat resistance genes.

Keywords: bird cherry-oat aphid, clone, *Triticum aestivum*, plant resistance

Submitted: 27.04.2026

Accepted: 06.07.2026

© Radchenko E.E., Abdullaev R.A., published by All-Russian Institute of Plant Protection (St. Petersburg). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Научное издание

Подписано к печати 15 сентября 2026 г.

Формат 60x84/8. Объем 12 п.л. Тираж 200 экз.

