



Болезни озимой пшеницы
Центрального Нечерноземья
Winter wheat diseases in
the Central Non-Black Earth Region **27**

Биологические особенности
Solanum viarum
Biological characters
of *Solanum viarum* **73**

Юбилей
Я. Б. Мордковича
Anniversary
of Ya.B. Mordkovich **108**

ФИТОСАНИТАРИЯ. КАРАНТИН РАСТЕНИЙ

PLANT HEALTH AND QUARANTINE

Свидетельство
о регистрации СМИ ПИ
№ ФС 77-76606
ISSN: 2782-327X

Русско-английский научный журнал Russian-English scientific journal

Август № 3 (24) 2025

СТАТЬЯ НОМЕРА:

Клопы-щитники на службе
биологического контроля

ARTICLE OF THE ISSUE:

Predatory bugs in the service
of biological control **2**

Мониторинг зерна яровой
пшеницы в Томской области

Monitoring of spring wheat grain
in Tomsk Oblast **42**

Идентификация клещей
рода *Tyrophagus*

Identification of mites
of the genus *Tyrophagus* **57**



Редакционная коллегия

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

СОЛОВЬЕВ А.А. – доктор биологических наук, профессор, профессор РАН, заместитель директора ФГБУ «ВНИИР»,
e-mail: solovievaa@vniir.ru

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА:

ДОЛЖЕНКО В.И. – академик РАН, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, руководитель центра биологической регламентации пестицидов, старший научный сотрудник ФГБНУ ВИЗР, Санкт-Петербург, Россия

ЛАЧУГА Ю.Ф. – академик РАН, профессор, доктор технических наук, член Президиума РАН, Москва, Россия

СОЛОВЬЕВА Н.Н. – кандидат биологических наук, начальник Управления фитосанитарного надзора при экспортно-импортных операциях и международного сотрудничества Россельхознадзора, Москва, Россия

МУСОЛИН Д.Л. – доктор биологических наук, научный сотрудник, Европейская и Средиземноморская организация по защите растений, Париж, Франция

ШАМИЛОВ А.С. – кандидат биологических наук, эксперт ФАО по сельскому хозяйству, заместитель начальника группы по разработке стандартов Секретариата МКЗР, Рим, Италия

УПАДЫШЕВ М.Т. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, заведующий отделом биотехнологии и защиты растений ФГБНУ «ВСТИСП», Москва, Россия

ПРИДАННИКОВ М.В. – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией фитопаразитологии, Центр паразитологии ИПЭЭ РАН Центра паразитологии при ИПЭЭ РАН им. А.Н. Северцова, Москва, Россия

БАЛАШОВА И.Т. – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории новых технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», поселок ВНИИССОК, Одинцовский городской округ, Московская обл., Россия

ДЖАЛИЛОВ Ф.С.-У. – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой защиты растений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

УСКОВ А.И. – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом биотехнологии и иммунодиагностики ФГБНУ ВНИИКС им. А.Г. Лорха, д. п. Красково, г. Люберцы, Московская обл., Россия

КОРНЕВ К.П. – кандидат биологических наук, заместитель директора ФГБУ «ВНИИР», р. п. Быково, г. о. Раменский, Московская обл., Россия

ШНЕЙДЕР Ю.А. – кандидат биологических наук, начальник научно-методического отдела вирусологии ФГБУ «ВНИИР», р. п. Быково, г. о. Раменский, Московская обл., Россия

РЕДАКЦИЯ:

ЗИНОВЬЕВА С.Г. – шеф-редактор, специалист по связям с общественностью редакционно-издательского отдела ФГБУ «ВНИИР»

ТУЛАЕВА К.С. – редактор-корректор

БОНДАРЕНКО Г.Н. – начальник ИЛЦ ФГБУ «ВНИИР», кандидат биологических наук

КАРИМОВА Е.В. – старший научный сотрудник отдела лесного карантина ФГБУ «ВНИИР», кандидат биологических наук

ДРЕНОВА Н.В. – старший научный сотрудник научно-методического отдела бактериологии ФГБУ «ВНИИР»

КАСАТКИН Д.Г. – ведущий научный сотрудник Ростовского филиала ФГБУ «ВНИИР», кандидат биологических наук

КУЛАКОВА Ю.Ю. – ведущий научный сотрудник – начальник научно-методического отдела инвазивных видов растений ФГБУ «ВНИИР», кандидат биологических наук

КУРБАТОВ С.А. – начальник научно-методического отдела энтомологии ФГБУ «ВНИИР», кандидат биологических наук

КУЧЕРЯВЫХ В.С. – переводчик, кандидат филологических наук

СПЕЦИАЛЬНОСТИ:

4.1.3 – Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

4.1.1 – Общее земледелие и растениеводство

4.1.2 – Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Editorial board

CHIEF EDITOR:

A. A. SOLOVIEV – Doctor of Advanced Studies in Biology, Professor, Professor of the RAS, Deputy Director of FGBU “VNIIR”,
e-mail: solovievaa@vniir.ru

EDITORIAL BOARD:

V.I. DOLZHENKO – Member of the RAS, Professor, Doctor of Advanced Studies in Agriculture, Head of the Center for Pesticides Biological Regulation, Senior Researcher of FSBSI VIZR, Saint Petersburg, Russia

YU.F. LACHUGA – RAS Member of the, Professor, Doctor of Advanced Studies in Engineering, RAS Presidium member, Moscow, Russia

N.N. SOLOVYOVA – PhD in Biology, Head of the Department of Phytosanitary Surveillance for Export-Import Operations and International Cooperation of Rosselkhoz nadzor, Moscow, Russia

D.L. MUSOLIN – Doctor of Advanced Studies in Biology, Researcher, EPPO, Paris, France

A.S. SHAMILOV – PhD in Biology, FAO Expert in Agriculture, Deputy Head of IPPC Secretariat Standards Development Group, Rome, Italy

M.T. UPADYSHEV – Doctor of Advanced Studies in Agriculture, Professor of the RAS, Corresponding Member of the RAS, Head of the Biotechnology and Plant Protection Department of FGBNU “All-Russian Horticultural Institute for Breeding, Agrotechnology and Nursery”, Moscow, Russia

M.V. PRIDANNIKOV – PhD in Biology, Deputy Director of the Center of Parasitology of A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS, Moscow, Russia

I.T. BALASHOVA – Doctor of Advanced Studies in Biology, Chief Researcher of the Laboratory of New Technologies of FGBNU “Federal Scientific Center of Vegetable Growing”, VNIISOK, Odintsovo city district, Moscow Oblast, Russia

F.S. DZHALILOV – Doctor of Advanced Studies in Biology, Professor, Head of the Plant Protection Laboratory at Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

A.I. USKOV – Doctor of Advanced Studies in Agriculture, Head of the Biotechnology and Immunodiagnostics Department of FGBNU “Lorch Potato Research Institute”, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow Oblast, Russia

K.P. KORNEV – PhD in Biology, Deputy Director of FGBU “VNIIR”, Bykovo, Urban district Ramensky, Moscow Oblast, Russia

YU.A. SHNEYDER – PhD in Biology, Head of Scientific Department of Virology, FGBU “VNIIR”, Bykovo, Urban district Ramensky, Moscow Oblast, Russia

EDITORSHIP:

S.G. ZINOVYEVA – Editor-in-Chief, PR specialist of Editorial and Publishing Department, FGBU “VNIIR”

K.S. TULAEVA – Copy Editor

G.N. BONDARENKO – Head of the Testing Laboratory Center of FGBU “VNIIR”, PhD in Biology

E.V. KARIMOVA – Senior Researcher, Forest Quarantine Department of FGBU “VNIIR”, PhD in Biology

N.V. DRENOVA – Senior Researcher, Research and Methodology Department of Virology and Bacteriology, FGBU “VNIIR”

D.G. KASATKIN – Leading Researcher of the Rostov Branch of FGBU “VNIIR”, PhD in Biology

YU.YU. KULAKOVA – Leading Researcher, Head of Research and Methodology Department of Invasive Plant Species, FGBU “VNIIR”, PhD in Biology

S.A. KURBATOV – Head of the Entomological Research and Methodology Department of FGBU “VNIIR”, PhD in Biology

V.S. KUCHERYAVYKH – Translator, PhD in Philology

SPECIALTIES:

4.1.3 – Agrochemistry, agricultural soil science, plant protection and quarantine

4.1.1 – General farming and crop production

4.1.2 – Breeding, seed production and plant biotechnology

Содержание | Content

БИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Возможность использования энтомофауны средней полосы России в биологическом контроле на примере хищных клопов-щитников
ВОЛКОВ О.Г.

BIOLOGICAL CONTROL

Possibility of using the entomofauna of the Central zone of Russia in biological control using predatory bugs as an example
VOLKOV O.G. **2**

МОНИТОРИНГ

Мониторинг развития болезней на сортах озимой пшеницы Центрального Нечерноземья. Научные и практические аспекты
САНИН С.С., САНДУХАДЗЕ Б.И., МАМЕДОВ Р.З., КАРЛОВА Л.В., КОРНЕВА Л.Г., РУЛЕВА О.М.

MONITORING

Monitoring the development of diseases on winter wheat varieties of the Central Non-Black Earth Region. Scientific and practical aspects
SANIN S.S., SANDUKHADZE B.I., MAMEDOV R.Z., KARLOVA L.V., KORNEVA L.G., RULEVA O.M. **27**

Результаты мониторинга зерна яровой пшеницы в Томской области в 2024 г.
ПЛИСКО А.О., МИХАЙЛОВА С.И., ЭБЕЛЬ Т.В.

Results of monitoring spring wheat grain in Tomsk Oblast in 2024
PLISKO A.O., MIKHAILOVA S.I., EBEL T.V. **42**

ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Идентификация клещей рода *Tyrophagus* Oudemans, 1924 фауны России, имеющих фитосанитарное значение (Astigmata, Acaridae)
КАМАЕВ И.О.

IDENTIFICATION

Identification of phytosanitary important mites of the genus *Tyrophagus* Oudemans, 1924 in the fauna of Russia (Astigmata, Acaridae)
KAMAYEV I.O. **57**

ИНВАЗИИ

Изучение особенностей сезонного развития чужеродного растения *Solanum viarum* Dunal в условиях эксперимента
КУЛАКОВА Ю.Ю., ДЕМУШКИНА Л.Е., КУЛАКОВ В.Г.

INVASIONS

Study of seasonal development of the alien plant *Solanum viarum* Dunal under experimental conditions
KULAKOVA YU.YU., DEMUSHKINA L.E., KULAKOV V.G. **73**

ДИАГНОСТИКА

Молекулярно-генетические методы, применяемые для детекции карантинных объектов. Инновации, вызовы и перспективы
НИКИТИНСКИЙ Д.А., НИКИТИНСКАЯ Е.В.

DIAGNOSTICS

Molecular genetic methods used for detection of quarantine pests. Innovations, challenges and prospects
NIKITINSKY D.A., NIKITINSKAYA E.V. **85**

ЮБИЛЕЙ

Якову Борисовичу Мордковичу – 90 лет!

108

Журнал «Фитосанитария. Карантин растений» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-76606 от 15 августа 2019 года
Фото на обложке: Клоп-щитник подизус (*Podisus maculiventris*) поедает гусеницу совки. (Фото: О. Г. Волков).
Дизайн и верстка: Мария Бондарь
Учредитель: ФГБУ «ВНИИР», 140150, Московская область, г. о. Раменский, п. п. Быково, ул. Пограничная, д. 32

Издатель: ООО «Вейнард»
Телефон редакции: 8 (495) 925-06-34
Электронная почта: veinardltd@gmail.com
Подписной индекс: АО «Почта России» – ПМ 126
Отпечатано в типографии: ООО «ГРАН ПРИ», 152900, Ярославская область, г. Рыбинск, ул. Луговая, 7
Тираж: 3000 экз.
Подписано в печать: 15.08.2025
Дата выхода в свет: 29.08.2025

The Journal "Plant Health and Quarantine" is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor), Registration Certificate No. FS 77-76606, August 15, 2019
Photo on the cover: *Podisus maculiventris* eating *Ponometia (Tarachidia) candefacta* larva (Photo by O.G. Volkov)
Design & Composition: Mariya Bondar
Establisher: FGBU VNIIR, 140150, Moskovskaya oblast, Urban district Ramensky, r. p. Bykovo, Pogranichnaya ulitsa, 32

Publisher: ООО "Veynard"
Editorial Board Office:
Tel: +7 (495) 925-06-34
E-mail: veinardltd@gmail.com
Subscription index
JSC Russian Post – PM 126
Printing house: GRAND PRI, 7 Lugovaya St., Rybinsk, Yaroslavl Oblast, 152900
Circulation: 3000 copies
Approved for print: 15/08/2025
Issue date: 29/08/2025

DOI 10.69536/FKR.2025.98.18.001
УДК 595.7

DOI 10.69536/FKR.2025.98.18.001
UDC 595.7

Возможность использования энтомофауны средней полосы России в биологическом контроле на примере хищных клопов-щитников

* ВОЛКОВ О.Г.

ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»),
р. п. Быково, м. о. Раменский,
Московская обл., Россия, 140150
ORCID ID: 0000-0002-1539-0342;
e-mail: volkovog@mail.ru

Possibility of using the entomofauna of the Central zone of Russia in biological control using predatory bugs as an example

OLEG G. VOLKOV

All-Russian Plant Quarantine Center
(FGBU "VNIICR"), Bykovo, Ramenskoye,
Moscow Oblast, Russia, 140150
ORCID 0000-0002-1539-0342,
e-mail: volkovog@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты исследований хищных клопов-щитников (Hemiptera, Heteroptera, Pentatomidae, Asopinae) в Московской области Российской Федерации. Были исследованы особенности биологии и спектр питания 5 видов из 7, выявленных на территории средней России. В качестве замены интродуцированных из Северной Америки энтомофагов колорадского картофельного жука хищных клопов-щитников периллюса *Perillus bioculatus* и подизуса *Podisus maculiventris* предложены аналогичные представители местной фауны – троилус *Troilus luridus* и пикромерус двузубчатый *Picromerus bidens*. Троилус по особенностям биологии очень похож на подизуса и вполне может заменить этого энтомофага американского происхождения в лабораторной культуре и при использовании в контроле листогрызущих вредителей в защищенном грунте. Троилус, как и подизус, зимует на стадии имаго, облигатная диапауза у этих клопов отсутствует, поэтому их можно непрерывно культивировать, но сложно накапливать в количествах, достаточных для использования на больших площадях в открытом грунте, в частности на картофеле. Пикромерус двузубчатый имеет облигатную эмбриональную диапаузу, для выхода из которой яйцам энтомофага необходима обработка низкими температурами. На стадии яйца пикромеруса можно накапливать в любых количествах, транспортировать и применять для контроля вредителей растений в защищенном и открытом грунте, в том числе с использованием средств механизации. В ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР») создана лабораторная культура пикромеруса двузубчатого с измененными, по сравнению с природной популяцией, свойствами. Пикромерус может быть использован как универсальный энтомофаг, а также является альтернативным хозяином для содержания и наработки энтомофагов-яйцеедов клопа вредной черепашки *Eurygaster integriceps* и растительноядных клопов-щитников.

ABSTRACT

The article presents the results of studying the predatory bugs (Hemiptera, Heteroptera, Pentatomidae, Asopinae) in Moscow Oblast of the Russian Federation. The biological characters and nutritional spectrum of 5 of the 7 species detected in Central Russia were studied. Similar representatives of the local fauna *Troilus luridus* and *Picromerus bidens* have been suggested as a substitute for the introduced from North America entomophages of the Colorado potato beetle predatory bugs *Perillus bioculatus* and *Podisus maculiventris*. In terms of biological characters, *Troilus luridus* is very similar to *Podisus maculiventris* and can easily replace this entomophage of American origin in laboratory culture and when used to control leaf-eating pests in protected ground. Both *Troilus luridus* and *Podisus maculiventris* overwinter at the imago stage, these bugs do not have an obligate diapause, so they can be continuously cultivated, but it is difficult to accumulate in quantities sufficient for use on large areas in open ground, in particular, on potatoes. *Picromerus bidens* has an obligate embryonic diapause, from which the entomophage eggs require treatment with low temperatures. At the egg stage, *Picromerus bidens* can be accumulated in any quantities, transported and used to control plant pests in protected and open ground, including with the mechanization facilities. FGBU "VNIICR" created a laboratory culture of *Picromerus bidens* with characters modified in comparison with the natural population. *Picromerus bidens* can be used as a universal entomophage, and is also an alternative host for the maintenance and production of entomophagous egg-eating bugs *Eurygaster integriceps* and herbivorous bugs.

Ключевые слова. Биологический контроль, интродукция, местная фауна, биоразнообразие, колорадский картофельный жук, хищные клопы-щитники.

ВВЕДЕНИЕ

Биологическая защита растений осуществляется различными способами (методами). Традиционно выделяют интродукцию и акклиматизацию инородных агентов биологического контроля в зонах, где они отсутствовали, сезонную колонизацию энтомофагов внутри ареала с целью синхронизации их развития с развитием вида-мишени и массовое применение (расселение) наработанных энтомофагов и патогенов по очагам вредителей, так называемый метод живого инсектицида (Штерншиш и др., 2018). Сюда же добавляют учет естественного контроля нежелательных организмов другими организмами без вмешательства человека, что в ряде случаев позволяет сделать выводы об отсутствии необходимости применения дополнительных регуляторных приемов, а также искусственное создание условий, благоприятствующих этому контролю, например посев нектароносов (van Lenteren, 2012).

Метод интродукции и акклиматизации состоит в сборе естественных врагов вида-мишени (обычно в районе происхождения вредителя), а затем их расселения в новых районах, куда вредитель был случайно занесен. Цель акклиматизации состоит в том, чтобы потомство естественных врагов создало популяции, которые были бы достаточны для подавления популяций вредителей в течение многих последующих лет. Этот тип биологической борьбы чаще всего используется против интродуцированных вредителей, которые, как предполагается, появились в новой местности без своих естественных врагов. Поскольку это был первый тип биологической борьбы с вредителями, получивший широкое распространение, его также называют «классическим» биологическим методом защиты растений (Ижевский, 1990).

Интродукция в 1888 г. из Австралии в Калифорнию Альбертом Кебеле кокцинеллиды родолия *Rodolia cardinalis* (Mulsant) для борьбы с австралийским желобчатом червецом ицерией *Icerya purchasi* Mask., завершившаяся поразительным успехом, положила начало применению этого метода во многих странах. В 1931 г. родолия, а также паразит кровяной тли *Eriosoma lanigerum* Hausm. афелинус *Aphelinus mali* Hald. были интродуцированы в Абхазию (Рубцов, 1948). В бывшем СССР было осуществлено множество программ интродукции агентов биологического контроля, ведущей организацией в этом направлении являлся Всесоюзный (позднее – Всероссийский) НИИ карантина растений (далее – ВНИИКР). Были интродуцированы энтомофаги цитрусовой белокрылки *Dialeurodes citri* Ashmead, американской белой бабочки *Hyphantria cunea*

Key words. Biological control, introduction, native fauna, biodiversity, Colorado potato beetle, predatory bugs.

INTRODUCTION

Biological plant protection is carried out in various ways (methods). Traditionally, it is the introduction and adaptation of foreign biological control agents in areas where they were absent, seasonal colonization of entomophages within the range in order to synchronize their development with the development of the target species and the mass use (dispersal) of produced entomophages and pathogens in pest outbreaks, the so-called “live insecticide” method (Shternshis et al., 2018). Also, pest natural control by other organisms without human intervention is considered, which in some cases allows to draw conclusions about the absence of the need to use additional regulatory techniques, as well as the artificial creation of conditions favorable to this control, for example, planting nectar-bearing plants (van Lenteren, 2012).

The introduction and adaptation method involves collecting natural enemies of the target species (usually from the pest’s area of origin) and then introducing them into new areas where the pest has been accidentally introduced. The goal of adaptation is to ensure that the progeny of the natural enemies will establish populations that are sufficient to suppress pest populations for many years to come. This type of biological control is most often used against introduced pests that are assumed to have occurred in a new area without their natural enemies. As it was the first type of biological pest control to be widely used, it is also called the “classical” biological method of plant protection (Izhevsky, 1990).

Rodolia cardinalis (Mulsant) introduced in 1888 from Australia to California by Albert Koebele to control *Icerya purchasi* Mask., which was a huge success, marked the beginning of the application of this method in many countries. In 1931, *Rodolia cardinalis* and *Eriosoma lanigerum* Hausm., *Aphelinus mali* Hald. were introduced into Abkhazia (Rubtsov, 1948). In the former USSR, many programs for the introduction of biological control agents were carried out, the leading organization in this area being the All-Union (later All-Russian) Research Institute of Plant Quarantine (hereinafter referred to as VNIICR). There were introduced the entomophages of *Dialeurodes citri* Ashmead, *Hyphantria cunea* Drury, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) and other insects considered to be quarantine for the USSR. There were also programs for the introduction of phytophages of quarantine weeds into the USSR, for example, *Ambrosia artemisiifolia* L. Many programs were carried out jointly with international and foreign

Drury, колорадского картофельного жука *Leptinotarsa decemlineata* (Say) и других карантинных для СССР насекомых. Также проводились программы интродукции в СССР фитофагов карантинных сорных растений, например амброзии полыннолистной *Ambrosia artemisiifolia* L. Многие программы выполнялись совместно с международными и иностранными организациями, прежде всего с CABI (Centre for Agriculture and Bioscience International) и организациями по биологическому контролю из США, Канады и других стран. Осуществлялся обмен биологическим материалом – в частности, в эти организации были переданы фитофаги дербенника иволистного *Lythrum salicaria* L., горчака ползучего *Acroptilon repens* (Linnaeus) de Candolle, льнянки *Linaria vulgaris* Mill. Одним из последних проектов интродукции, осуществленных ВНИИКР, был сбор в Северной Корее яйцееда оэнциртуса *Ooencyrtus kuvanae* How., который затем был размножен в лаборатории института и расселен, – он акклиматизировался в ряде регионов России и других республик бывшего СССР (1987–1994). В местах акклиматизации оэнциртус стал одним из важнейших энтомофагов непарного шелкопряда *Lymantria dispar* (L.) (Сергеева, Долмонево, 2023). Эта программа стала единственной успешной интродукцией энтомофага лесного вредителя на территорию СССР.

Успехи программ интродукции привели к тому, что этот метод стали считать основным в биологическом контроле, остальным методам уделяли значительно меньше внимания (Clausen, 1940; Huffaker, 1971). Однако со временем стали выявляться и недостатки интродукции. Кроме многочисленных неудач, когда вид не акклиматизировался и потраченные ресурсы не оправдались, в ряде случаев интродуцированные агенты становились хищниками или сверхпаразитами местных энтомофагов, таким образом суммарное воздействие на вид-мишень уменьшалось, а не увеличивалось. Иногда предполагаемый энтомофаг сам начинал вредить культурам, которые должен был защищать, как жук-коровка гармония *Harmonia axyridis* (Pallas) (Koch et al., 2006). В настоящее время к программам интродукции агентов биологической борьбы относятся с большой осторожностью и из-за осознания необходимости сохранения биоразнообразия в нативных биоценозах (Лебедева и др., 2004).

Как известно, колорадский картофельный жук *Leptinotarsa decemlineata* – инвазионный в Европе вид североамериканского происхождения. Популяцию вида впервые обнаружили в Европе в 1877 г. (г. Мюльхайм, Германия), но окончательно натурализовался на континенте жук после завоза в район г. Бордо (Франция) в 1918 г. После этого вид начал расселяться по Европейскому континенту, а в 1949 г. первые очаги *L. decemlineata* были обнаружены в бывшем СССР (Львовская область, Украина). На территории РСФСР жук начал распространяться со второй половины 1960-х гг. С 1930-х гг. в странах Европы, а затем и в СССР стали активно изучать естественных врагов колорадского жука на его родине с целью их интродукции. В США известно более 290 видов членистоногих – энтомофагов колорадского жука, подавляющее большинство которых являются хищниками, но в страны

организаций, primarily with CABI (Centre for Agriculture and Bioscience International) and biological control organizations from the United States, Canada and other countries. Biological material was exchanged, in particular, these organizations received the phytophages of *Lythrum salicaria* L., *Acroptilon repens* (Linnaeus) de Candolle, *Linaria vulgaris* Mill. One of the last introduction projects carried out by VNIICR was collection of *Ooencyrtus kuvanae* How. in North Korea, which was then propagated in the institute's laboratory, resettled and adapted in some regions of Russia and other republics of the former USSR (1987–1994). In places of adaptation, *Ooencyrtus kuvanae* became one of the most important entomophages for *Lymantria dispar* (L.) (Sergeeva, Dolmonego, 2023). This program became the only successful introduction of an entomophagous forest pest into the territory of the USSR.

The success of introduction programs led to this method being considered as the main biological control method, while other methods were given much less attention (Clausen, 1940; Huffaker, 1971). However, over time, the disadvantages of introduction also began to be revealed. In addition to numerous failures, when the species did not adapt and the resources spent were not justified, in some cases the introduced agents became predators or superparasites of local entomophages, thus the overall impact on the target species was reduced rather than increased. Sometimes the supposed entomophage itself began to harm the crops it was supposed to protect, like *Harmonia axyridis* (Pallas) (Koch et al., 2006). At present, programs for the introduction of biological control agents are treated with great caution and due to the awareness of the need to preserve biodiversity in native biocenoses (Lebedeva et al., 2004).

It is generally accepted that *Leptinotarsa decemlineata* is an invasive species of North American origin in Eurasia. The population of the species was first detected in Europe in 1877 (Mülheim, Germany), but the beetle finally naturalized on the continent after being brought to the Bordeaux region (France) in 1918. After that, the species began to spread across the European continent, and in 1949, the first outbreaks of *L. decemlineata* were reported in the former USSR (Lviv Oblast, Ukraine). The beetle began to spread on the territory of the RSFSR in the second half of the 1960s. Since the 1930s, in European countries, and then in the USSR, they began to actively study the natural enemies of the Colorado potato beetle in its homeland with the aim of introducing them. In the USA, there are more than 290 species of arthropods known to be entomophages of the Colorado potato beetle, the vast majority of which are predators, but only a few species of predators and parasites have been attempted to be introduced into European countries and the USSR. The most extensive work has been done with predatory bugs (Pentatomidae, Asopinae) – *Perillus bioculatus* Fabr. and *Podisus maculiventris* Say.

The adaptation studies of the North American predatory bug *Perillus bioculatus* began in France in the 1930s. In the USSR, work on introducing this predatory

Европы и в СССР пытались интродуцировать только несколько видов хищников и паразитов. Наиболее обширные работы были проведены с хищными клопами-щитниками (Pentatomidae, Asopinae) периллюсом *Perillus bioculatus* Fabr. и подизусом *Podisus maculiventris* Say.

Исследования по акклиматизации североамериканского хищного клопа *Perillus bioculatus* начались во Франции в 1930-е гг. В СССР работы по интродукции этого хищного клопа как перспективного энтомофага колорадского жука проводились в 1960–1970 гг., но добиться его акклиматизации и/или использовать сезонную колонизацию тогда не удалось. В 2000-е гг. выяснилось, что периллюс акклиматизировался в южных странах: Молдавии, Украине, Болгарии, Греции, Турции, Сербии, Индии и некоторых регионах России – Краснодарском крае, Ростовской области (Агасьева и др., 2016). В Краснодарском крае периллюс, кроме колорадского жука, питается интродуцированными туда из Северной Америки для борьбы с амброзией полыннолистной личинками и жуками амброзиевого листоеда *Calligrapha (Zygogramma) suturalis* (Fabricius) и гусеницами амброзиевой совки *Ponometia (Tarachidia) canefacta* (Hübner).

Podisus maculiventris (см. рис. 1) в Советский Союз впервые был интродуцирован из США в 1974 г. сотрудниками ВНИИКР. Повторный завоз подизуса был осуществлен сотрудниками того же института в 1979 г., после чего в течение ряда лет проводилось изучение этого энтомофага (Зискинд и др., 1989). Многолетние попытки добиться акклиматизации подизуса пока не удались ни в нашей стране, ни за рубежом. Была разработана методика сезонной колонизации подизуса против колорадского жука при защите баклажан и раннего картофеля (Ижевский и др., 1984). Прием основан на массовых выпусках личинок подизуса (см. рис. 2), которые являются эффективными хищниками яиц

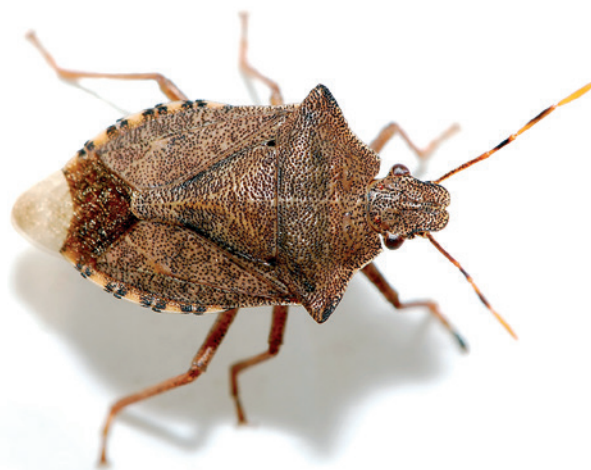


Рис. 1. Взрослый клоп-щитник подизус *Podisus maculiventris* (фото: О. Г. Волков)

Fig. 1. Adult *Podisus maculiventris* (photo by O.G. Volkov)

bug as a promising entomophage of the Colorado potato beetle was carried out in the 1960s and 1970s, but it was not possible to achieve its adaptation and/or use seasonal colonization. In the 2000s, it became clear that *Perillus bioculatus* adapted in southern countries: Moldova, Ukraine, Bulgaria, Greece, Turkey, Serbia, India and some regions of Russia – Krasnodar Krai, Rostov Oblast (Agasyeva et al., 2016). In Krasnodar Krai, *Perillus bioculatus*, in addition to the Colorado potato beetle, feeds on larvae and beetles of *Calligrapha (Zygogramma) suturalis* (Fabricius) introduced there from North America to control ragweed, and larvae of *Ponometia (Tarachidia) canefacta* (Hübner).

Podisus maculiventris (see Fig. 1) was first introduced into the Soviet Union from the USA in 1974 by specialists of the All-Russian Research Institute of Crops and Plant Protection. *Podisus maculiventris* was reintroduced by the same institute in 1979, after which this entomophage was studied for several years (Ziskind et al., 1989). Many years of attempts to achieve

its adaptation have not yet been successful either in our country or abroad. A method for seasonal colonization of *Podisus maculiventris* against the Colorado potato beetle when protecting eggplants and early potatoes was developed (Izhevsky et al., 1984). The method is based on mass releases of *Podisus maculiventris* larvae (see Fig. 2), which are effective predators of the eggs and larvae of the Colorado potato beetle. *Podisus* is bred in a laboratory or insectarium on various insects. In protected ground, *Podisus maculiventris* can be used to control *Ponometia (Tarachidia) canefacta* larvae (see Fig. 3) and other Lepidoptera (Gumennaya, 2002), especially if you have your own



Рис. 2. Личинка подизуса *Podisus maculiventris* (фото: О. Г. Волков)

Fig. 2. *Podisus maculiventris* larva (photo by O.G. Volkov)



Рис. 3. Подизус поедает гусеницу совки (фото: О. Г. Волков)

Fig. 3. *Podisus maculiventris* eats *Ponometia* (*Tarachidia*) *candefacta* larva. (Photo by O.G. Volkov)

и личинок колорадского жука. Разведение подизуса проводится в условиях лаборатории или инсектария на различных насекомых. В закрытом грунте подизуса *Podisus maculiventris* можно применять для контроля гусениц совков (см. рис. 3) и других чешуекрылых (Гуменная, 2002), особенно при наличии собственной биолaborатории. В теплицах самки подизуса откладывают на листья растений яйца, из которых выходят личинки (см. рис. 4).

Можно отметить, что сама постановка задачи – обнаружить иноземный агент биологического контроля, который при его интродукции и акклиматизации будет способен оказывать многолетнее подавляющее воздействие на вредителя пропашной культуры (в данном случае картофеля), – представляется сомнительной. Все успехи интродукции достигнуты при контроле вредителей многолетних культур, как сказано выше, или сорных растений, например зверобоя *Hypericum perforatum* L. в Северной Америке и опунции *Opuntia* spp. в Австралии. Что касается метода сезонной колонизации, то в данном случае ограничением является биология периллюса и подизуса. Эти клопы-щитники, как и большинство представителей семейства, зимуют в стадии имаго, диапауза у них не отмечена (Гусев и др., 1982). Поэтому накопление материала и его транспортировка проводится в стадии личинки или имаго, что сложно осуществить для больших площадей произрастания картофеля. Кроме того, после окрыления значительная часть имаго улетает с поля, что особенно характерно для подизуса.

Исходя из вышеизложенного и учитывая и экологические проблемы, связанные с интродукцией чужеродных видов, было принято решение о поиске энтомофагов *L. decemlineata* в средней полосе России для замены подизуса и периллюса как агентов биологического контроля вредителя при использовании методом сезонной колонизации.

biolaboratory. In greenhouses, *Podisus maculiventris* females lay eggs on the leaves of plants, from which larvae emerge (see Fig. 4).

It can be noted that the very formulation of the problem – to detect a foreign biological control agent that, upon its introduction and adaptation, will be capable of exerting a long-term suppressive effect on a pest of a row crop (in this case, potatoes) – seems questionable. All the successes of introduction have been achieved by controlling pests of perennial crops, as mentioned above, or weeds, for example, *Hypericum perforatum* L. in North America and *Opuntia* spp.

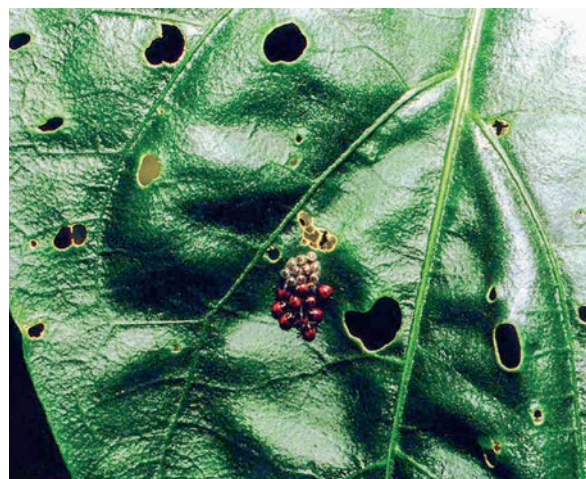


Рис. 4. На листе тепличного перца с погрызами гусениц из яиц подизуса вышли личинки (фото: О. Г. Волков)

Fig. 4. Larvae hatched from the *Podisus maculiventris* eggs on a leaf of a greenhouse pepper gnawed by larvae (photo by O.G. Volkov)

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Было решено ограничиться поиском аналогичного периллюсу и подизусу многоядного энтомофага-хищника из той же систематической группы (Pentatomidae, Asopinae). Для предварительной оценки агента биологического контроля были использованы следующие критерии:

1. Достаточно крупные размеры.
2. Агрессивность и прожорливость.
3. Легкость разведения в разных условиях.
4. Возможность накопления в больших количествах и достаточно длительного хранения энтомофага без потери качества.

5. Возможность транспортировки энтомофага на большие расстояния.

6. Оптимальное соотношение между поисковыми способностями и миграционной активностью.

Территориально поиски были ограничены восточным и юго-восточным Подмосковьем, входящим в зону средней полосы России. В этом регионе отмечено (Кержнер, 1964) 7 видов таких энтомофагов:

1. *Arma custos* (F.).
2. *Jalla dumosa* (L.).
3. *Picromerus bidens* (L.).
4. *Pinthaeus sanguinipes* (F.).
5. *Rhacognathus punctatus* (L.).
6. *Troilus luridus* (F.).
7. *Zicrona caerulea* (L.).

Удалось обнаружить и пронаблюдать в полевых условиях 5 видов из этой группы. Биология обнаруженных видов предварительно изучалась по литературным источникам, выявлялись кормовые насекомые, наиболее перспективные энтомофаги проверялись по вышеупомянутым параметрам в лаборатории отдела биометода ВНИИКР.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Хищные клопы-щитники *Jalla dumosa* (L.) и *Pinthaeus sanguinipes* (F.) во время обследований нами обнаружены не были. В данном регионе эти виды имеют статус очень редких (Николаева, 2006).

Arma custos (F.) – арма ольховая. Этот довольно крупный (10–14 мм), внешне похожий на подизуса клоп (см. рис. 5) нам встречался редко, в конце лета и осенью на ивах (*Salix* sp.) и липе *Tilia cordata* Mill., в литературе чаще отмечался на ольхе (*Alnus* spp.) (Иосифов, 1981). Зимует имаго и личинки, взрослые питаются разнообразными насекомыми, в основном личинками листоедов, но отмечено питание гусеницами, а мелкие личинки клопа – тлями и листоблошками. В середине мая самки начинают откладывать яйца на листья и откладывают их до середины июля, когда уже отмечается начало окрыления молодых имаго. Одна самка откладывает в среднем 200–300 яиц (Пучков, 1961). Личинки армы с II стадии постепенно расползаются и держатся поодиночке, при искусственном содержании в садках группами отмечен очень высокий уровень каннибализма на всех подвижных стадиях. Выращивать личинок до имаго удавалось только при индивидуальном содержании. Несмотря на разнообразие кормовых связей, арма почти везде отмечена как хищник ольхового листоеда (*Agelastica alni* (L.)).

in Australia. As for the seasonal colonization method, in this case the limitation is the biology of *Perillus bioculatus* and *Podisus maculiventris*. These bugs, like most representatives of the family, overwinter in the imago stage; diapause has not been observed in them (Gusev et al., 1982). Therefore, the accumulation of material and its transportation is carried out in the larval or imago stage, which is difficult to implement for large potato growing areas. In addition, after winging, a significant part of the imago flies away from the field, which is especially characteristic of *Podisus maculiventris*.

Based on the above, and taking into account the environmental problems associated with the introduction of alien species, a decision was made to search for entomophages of *L. decemlineata* in the Central zone of Russia to replace *Podisus maculiventris* and *Perillus bioculatus* as biological control agents when using the seasonal colonization method.

MATERIALS AND METHODS

It was decided to limit the search to a polyphagous entomophagous predator from the same systematic group (Pentatomidae, Asopinae) similar to *Perillus bioculatus* and *Podisus maculiventris*. The following criteria were used for the preliminary assessment of the biological control agent:

1. Quite large size.
2. Aggressiveness and active feeding.
3. Ease of breeding in different conditions.
4. Possibility of accumulation in large quantities and sufficiently long storage of the entomophage without loss of quality.
5. Possibility of transporting the entomophage over long distances.
6. Optimal balance between search capabilities and migration activity.

The search was limited to the eastern and south-eastern Moscow Oblast, which is part of the Central Belt of Russia. In this region, 7 species of such entomophages were noted (Kerzhner, 1964):

1. *Arma custos* (F.)
2. *Jalla dumosa* (L.)
3. *Picromerus bidens* (L.)
4. *Pinthaeus sanguinipes* (F.)
5. *Rhacognathus punctatus* (L.)
6. *Troilus luridus* (F.)
7. *Zicrona caerulea* (L.)

It was possible to detect and observe 5 species from this group in the field. The biology of the detected species was preliminarily studied using literary sources, food insects were identified, the most promising entomophages were tested according to the above-mentioned parameters in the Laboratory of the Biometod Department of VNIICR.

RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

During the surveys the predator bugs *Jalla dumosa* (L.) and *Pinthaeus sanguinipes* (F.) were not detected. In this region these species have the status of very rare (Nikolaeva, 2006).



Рис. 5. Имаго армы ольховой *Arma custos* (фото: О. Г. Волков) Fig. 5. *Arma custos* imago (photo by O.G. Volkov)

Сложность группового воспитания личинок *Arma custos*, связанная с очень высоким каннибализмом, делает бесперспективным рассмотрение этого вида в качестве замены периллюса и подизуса.

Rhacognathus (Eysarcoris) punctatus (L.) ракогнатус (эйзаркорис) ивовый (Пучков, 1961) встречается на сырых лугах и лесных полянах. Ракогнатус типичный, хотя и сравнительно редко встречающийся вид для лесолуговой зоны. Приуроченность вида к биотопам с высокой влажностью отмечена и другими авторами (Ramsay, 2013). Этот черный в желтую крапинку клоп достигает длины 10 мм. Чаще всего отмечался на ивах (*Salix* sp.), где питался личинками ивовых листоедов (*Galerucella lineola* (F.), *Plagioderma versicolora* (Laicharting), *Lochmaea caprea* (L.)) Мы обнаруживали этого клопа на сырых лугах на листьях щавеля *Rumex* sp., где ракогнатус питался яйцами и личинками щавелевого листоеда *Gastroidea viridula* De Geer. Клоп зимует во взрослой стадии, весной самка откладывает яйца, обычно на верхушечные листья низкорослых растений. Как и предыдущий вид, скоплений в природе не образует – и имаго, и личинки встречаются поодиночке. Для накопления в больших количествах, хранения и транспортировки не пригоден.

Zicrona caerulea (L.) – зикрона. Это еще более мелкий клоп, редко достигающий длины 8 мм. Цвет синий или зеленый, с металлическим блеском (см. рис. 6). В регионе обычный вид, обитает в разных биотопах, на деревьях и кустарниках и на травянистой растительности лугов и лесных полей, особенно вблизи водоемов. На сухих лугах с невысокой растительностью охотится на поверхности почвы; в высокотравье и в зарослях кустарников поднимается до вершин растений. Часто мы встречали его в зарослях иван-чая *Chamerion angustifolium* (L.) Holub. Клопы питаются личинками различных листоедов, особенно рода *Haltica* (*Altica*) и мелкими гусеницами. По нашим наблюдениям, нападают и на взрослых листоедов рода *Haltica*. В Японии использовался для истребления блошки (*Haltica fragariae* Nak.) на землянике; в Западной Европе его пытались использовать в борьбе против колорадского жука (Mayne, Breny, 1940). Как

Arma custos (F.). This rather large (10–14 mm), externally similar to *Podisus maculiventris* bug (see Fig. 5) was rarely detected by us, at the end of summer and in autumn on willows (*Salix* sp.) and linden *Tilia cordata* Mill., in literature it was more often noted on alder (*Alnus* spp.) (Iosifov, 1981). Adults overwinter as imagoes and larvae, adults feed on various insects, mainly leaf beetle larvae, but have been noted to feed on larvae, and small bug larvae feed on aphids and leafhoppers. In mid-May, females begin oviposition on leaves until mid-July, when the young imagoes begin to emerge. One female lays an average of 200–300 eggs (Puchkov, 1961). From the second stage, *Arma custos* larvae gradually disperse individually, and when artificially kept in groups, a very high level of cannibalism was noted at

all mobile stages. It was possible to raise larvae to imago only when kept individually. Despite the diversity of food sources, *Arma custos* is almost everywhere noted as a predator of *Agelastica alni* (L.).

The complexity of group breeding of *Arma custos* larvae, associated with very high cannibalism, makes it unpromising to consider this species as a replacement for *Podisus maculiventris* and *Perillus bioculatus*.

Rhacognathus (Eysarcoris) punctatus (L.) (Puchkov, 1961) occurs in damp meadows and forest clearings. *Rhacognathus (Eysarcoris) punctatus* is a typical, although relatively rare, species for the forest-meadow zone. The confinement of the species to biotopes with high humidity has been noted by other authors (Ramsay, 2013). This black, yellow-speckled bug reaches a length of 10 mm. Most often it was noted on willows (*Salix* sp.), where it fed on the larvae of willow leaf beetles (*Galerucella lineola* (F.), *Plagioderma versicolora* (Laicharting), *Lochmaea caprea* (L.)) We detected this bug in damp meadows on the leaves of sorrel *Rumex* sp. where it fed on the eggs and larvae of *Gastroidea*



Рис. 6. Имаго зикроны *Zicrona caerulea* (фото: О. Г. Волков) Fig. 6. *Zicrona caerulea* imago (photo by O.G. Volkov)

и другие хищные клопы, зикрона подсасывает растения. По литературным данным (Пучков, 1961), удавалось выкормить все стадии *Zicrona caerulea* при питании только на листьях иван-чая, без животной пищи. В нашей лаборатории клопы спаривались и откладывали яйца на листья растений. Но выкормить личинок ни на листьях иван-чая, ни на семядолях гороха *Pisum sativum* L. (*Lathyrus oleraceus* Lam.) без животной пищи нам не удалось. Также в лабораторных опытах нам не удалось выкармливать личинок зикроны личинками колорадского жука. На личинок жука 3–4-го возраста клоп не нападал вовсе, более мелкими личинками питался неохотно, при этом был развит каннибализм. То, что зикрона не нападает на крупных насекомых, отмечено и в литературе (Пучков, 1961). *Zicrona caerulea* нами была признана непригодной для использования методом сезонной колонизации в контроле колорадского картофельного жука.

Лесной транспалеаркт троилус *Troilus luridus* (F.) (см. рис. 7) по внешнему облику и образу жизни похож на клопов рода *Podisus*. Раньше его и включали в этот род (Oshanin, 1906). В Западной Европе троилуса, так же как и подизуса, пытались использовать для борьбы с колорадским жуком (Мауне, Breny, 1940).

Зимуют взрослые клопы. Весной по мере распускания листьев деревьев и кустарников и появления на них листогрызущих насекомых появляются и эти крупные (до 14 мм) клопы серо-бронзовой окраски. Клопы хорошо летают на большие расстояния и быстро обнаруживают места скопления личинок насекомых. Мы их часто обнаруживали на кустарниках калины обыкновенной *Viburnum opulus* L., пораженной калиновым листоедом *Galerucella viburni* Payk. Нередко троилус прилетает на такие кусты калины в сады, даже если до ближайшего леса несколько километров (см. рис. 8). Охотно посещают троилусы и крупные травы, например заросли крапивы двудомной *Urtica dioica* L. со скоплениями гусениц крапивницы *Vanessa urticae* L., дневного павлиньего глаза *Vanessa io* L. или пестрокрыльницы изменчивой *Araschnia levana* L. С конца весны на крупных травах начинают появляться личинки троилуса, с беловатым брюшком и бронзовыми пятнами на зачатках крыльев. После выхода из яиц личинки держатся вместе, затем после линьки на второй возраст разбредаются и в дальнейшем встречаются обычно поодиночке, как и взрослые клопы, если их не привлекло скопление пищи (см. рис. 9). Лабораторные опыты показали, что троилус многояден, питается личинками листоедов, в том числе колорадского жука, различными гусеницами, личинками пилильщиков.



Рис. 7. Имаго троилуса *Troilus luridus* на листе крапивы (фото: О. Г. Волков)

Fig. 7. *Troilus luridus* imago on a nettle leaf (photo by O.G. Volkov)



Рис. 8. Троилус *Troilus luridus* на листе калины высасывает личинку калинового листоеда *Galerucella viburni* (фото: О. Г. Волков)

Fig. 8. *Troilus luridus* sucks out a *Galerucella viburni* larva on a viburnum leaf (photo by O.G. Volkov)

viridula De Geer. The bug overwinters in the adult stage, in the spring the female lays eggs, usually on the apical leaves of low-growing plants. Like the previous species, it does not form clusters in nature, and both imago and larvae are found singly. It is not suitable for accumulation in large quantities, storage and transportation.

Zicrona caerulea (L.). This is an even smaller bug, rarely reaching a length of 8 mm. The color is blue or green, with a metallic sheen (see Fig. 6). In the region, it is a common species, living in various biotopes, on trees and bushes and on the grassy vegetation of meadows and forest clearings, especially near water bodies. In dry meadows with low vegetation, it hunts on the surface of the soil; in tall grass and in thickets of bushes, it rises to the tops of plants. We often detected it in thickets of *Chamerion angustifolium* (L.) Holub. The bugs feed on the larvae of various leaf beetles, especially of the genus *Haltica* (Altica), and small caterpillars. According to our observations, they also attack adult leaf beetles of the genus *Haltica*. In Japan, it was used to exterminate *Haltica fragariae* Nak. on wild strawberry; in Western Europe, an attempt was made to use it to control the Colorado potato beetle (Mayne, Breny, 1940). Like other predatory bugs, *Zicrona caerulea* sucks on

Плодовитость одной самки в лабораторных условиях достигала 500 яиц. По таким характеристикам, как прожорливость, многоядность, скорость развития и плодовитость троилус весьма близок к подизусу, но обладает и всеми его недостатками. Это лесное, как и подизус, насекомое обитает в кронах деревьев и кустарников. После окрыления клоп стремится покинуть несвойственные для него станции. Так как покоящаяся стадия клопа – имаго, достаточно сложно накапливать его в больших количествах и транспортировать на значительные расстояния. Вероятно, троилус может стать полноценной альтернативой подизусу в биолaborаториях тепличных комбинатов, производящих этих клопов в ограниченных количествах для собственных нужд – борьбы с гусеницами совков на овощных культурах.

Наиболее подходящим потенциальным агентом биологического контроля колорадского картофельного жука и других листогрызущих насекомых по всем вышеприведенным параметрам оказался пикромерус двузубчатый *Picromerus bidens* (L.).

Picromerus bidens является типовым видом рода *Picromerus* Amyot et Serville, который насчитывает 10 видов (Thomas, 1994). Этот хищный клоп широко распространен в Палеарктике и проник в Северную Америку (Larivière & Larochelle, 1989). *P. bidens* – типичный обитатель лесолуговой растительности (Кириченко, 1953). Северная граница его распространения проходит по Финляндии, Карелии, Вологодской, Кировской и Свердловской области – до Приморского края, Сахалина и южных Курил, южная граница – от Северной Африки до Китая (Кириченко, 1951). В южных регионах пикромерус обычно обитает в горах, так как ему для нормального развития необходимо зимнее понижение температуры.

Основу лабораторной культуры ВНИИКР составили около 500 экземпляров пикромеруса двузубчатого, собранные О. Г. Волковым в сентябре – октябре 1992 г. в Орехово-Зуевском районе Московской области (Волков и др., 1995; Волков, Ткачева, 1997). В дальнейшем энтомофага неоднократно собирали и в других регионах.

P. bidens – крупный клоп-щитник с выраженным половым диморфизмом (см. рис. 10). Самки достигают длины 15 мм и весят от 80 до 160 мг; самцы мельче и весят 30–80 мг. Соотношение полов в природе и в лабораторных условиях обычно равное (1/1). Основной цвет тела – бурый; вершина головы и вершины боковых углов переднеспинки бронзовые или зеленые. Усики рыжеватые, с темной вершиной и более светлыми основаниями члеников. В центре переднеспинки расположены два маленьких светлых пятна, такие же пятна (светлые мозолистые бугорки) расположены на передних углах щитка. Вершина щитка светлая. Низ брюшка и бедра с рассеянной, не сливающейся в пятна и ряды темной и светлой пунктировкой. Ноги темные, с широкими светлыми кольцами на середине



Рис. 9. Личинка троилуса *Troilus luridus* на листе крапивы высасывает гусеницу пестрокрыльницы изменчивой *Araschnia levana* (фото: О. Г. Волков)

Рис. 9. *Troilus luridus* larva sucks out a *Araschnia levana* larva on a nettle leaf (photo by O.G. Volkov)

plants. According to literary data (Puchkov, 1961), it was possible to feed all stages of *Zicrona caerulea* by feeding only on fireweed leaves, without animal food. In our laboratory, the bugs mated and laid eggs on the leaves of plants. But we were unable to feed the larvae either on the leaves of fireweed or on the cotyledons of peas *Pisum sativum* L. (*Lathyrus oleraceus* Lam.), without animal food. Also, in laboratory experiments, we were unable to feed the *Zicrona caerulea* larvae with the larvae of the Colorado potato beetle. The bug did not attack the larvae of the 3–4th instar beetle at all, and was reluctant to feed on smaller larvae, although cannibalism was developed. The fact that *Zicrona caerulea* does not attack large insects is also noted in the literature (Puchkov, 1961). We recognized *Zicrona caerulea* as unsuitable for use by the seasonal colonization method in controlling the Colorado potato beetle.

Troilus luridus (F.) (see Fig. 7) in appearance and biology it is similar to bugs of the genus *Podisus*. Previously, it was included in this genus (Oshanin, 1906). In Western Europe, *Troilus luridus*, like *Podisus maculiventris*, was used to control the Colorado potato beetle (Mayne, Breny, 1940).

It is known that adult bugs overwinter. In spring, as the leaves of trees and shrubs blossom and leaf-eating insects appear on them, these large (up to 14 mm) gray-bronze bugs also appear. Bugs fly well over long distances and quickly detect places where insect larvae accumulate. We often detected them on shrubs of *Viburnum opulus* L., affected by

Galerucella viburni Payk. *Troilus luridus* often flies to such viburnum bushes in gardens, even if the nearest forest is several kilometers away (see Fig. 8). *Troilus luridus* also willingly visit large grasses, for example, thickets of *Urtica dioica* L. with larvae of *Vanessa urticae* L., *Vanessa io* L. or *Araschnia levana* L. From late spring, *Troilus luridus* larvae begin to appear on large grasses, with a whitish abdomen and bronze spots on the rudiments of the wings. After hatching from the eggs, the larvae stay together, then, after molting into the second instar, they disperse and are subsequently

голеней, рыжими вершинами голеней и основаниями лапок. Брюшко самок округлое, широко выступает за края крыльев. Брюшко самцов вытянутое, слегка выступает за края крыльев.

Природная популяция этого клопа имеет два вида диапаузы: летнюю имагинальную (репродуктивную) – эстивацию; зимнюю – в стадии яйца (овариальную). Летняя репродуктивная диапауза не позволяет самкам в природе преждевременно откладывать диапаузирующие яйца. В средней полосе России имаго пикромеруса появляются в июле – августе, но откладывание яиц самками происходит не ранее конца августа – начала сентября. В 1994 г. в СПбГУ нами было передано 600 диапаузирующих яиц *P. bidens* лабораторной популяции, после чего было проведено изучение воздействия фотопериода на развитие этого клопа (Мусолин, 1996, 1997; Musolin, Saulich, 2000). Было установлено, что при выращивании личинок *P. bidens* в разных фотопериодических режимах при 24,5° наблюдались незначительные задержки длительности личиночного развития при увеличении продолжительности дня. В короткодневных режимах (12:12 и 14:10) все самки синхронно приступили к яйцекладке на 11–19-й день после окрыления, тогда как при длиннодневном режиме (18:6 и 20:4), несмотря на активное питание и подвижность клопов, яйцекладка задерживалась. Самки приступали к яйцекладке в длиннодневных лабораторных режимах в среднем на 30–53-й день с момента окрыления. Также было обнаружено, что из части отложенных самками пикромеруса яиц личинки выходят без реактивации холодом, причем процент таких яиц был значительно выше у «короткодневных» самок (17,7 и 20,9%), чем у «длиннодневных» (5,7 и 6,0%).

usually found singly, like adult bugs, if they are not attracted by a food accumulation (see Fig. 9). Laboratory experiments have shown that *Troilus luridus* is polyphagous, feeding on leaf beetle larvae, including the Colorado potato beetle, various caterpillars, and sawfly larvae. The fertility of one female in laboratory conditions reached 500 eggs. *Troilus luridus* is very close to *Podisus maculiventris* in such characteristics as active feeding, polyphagous nature, development speed and fertility, but it also has all its disadvantages. This forest insect, like *Podisus maculiventris*, lives in the crowns of trees and bushes. After winging, the bug seeks to leave stations that are not natural for it. Since the dormant stage of the bug is an imago, it is quite difficult to accumulate it in large quantities and transport it over significant distances. *Troilus luridus* can probably become a full-fledged alternative to *Podisus maculiventris* in the biolaboratories of greenhouse complexes that produce these bugs in limited quantities for their own needs – to control *Ponometia (Tarachidia) candefacta* on vegetable crops.

The most suitable potential biological control agent for the Colorado potato beetle and other leaf-eating insects based on all the above parameters was *Picromerus bidens* (L.).

Picromerus bidens is the type species of the genus *Picromerus* Amyot et Serville, which includes 10 species (Thomas, 1994). This predatory bug is widespread in the Palearctic and has been introduced into North America (Lariviere & Laroche, 1989). *P. bidens* is a typical inhabitant of forest-meadow vegetation (Kirichenko, 1953). The northern border of its distribution runs through Finland, Karelia, Vologda Oblast, Kirov Oblast and Sverdlovsk Oblast – to Primorsky Krai, Sakhalin and the southern Kuril Islands, the southern border – from North Africa to China (Kirichenko, 1951).



Рис. 10. Два самца и самка пикромеруса двузубчатого *Picromerus bidens* на листе сливы. Спаривание и поедание гусеницы (фото: О. Г. Волков)

Fig. 10. Two males and a female of *Picromerus bidens* on a plum leaf. Mating and eating of the caterpillar. (photo by O.G. Volkov)

Эстивация у пикромеруса не стойкая и достаточно легко преодолевается в лабораторных условиях. При содержании во ВНИИКР в круглосуточном освещении и температуре +26 °С образовалась лабораторная популяция *P. bidens*, в которой спаривание имаго происходит через 3–4 суток после окрыления, а через 1–2 суток после спаривания самки начинают откладывать яйца. Такая лабораторная популяция гораздо удобнее для содержания в качестве агентов биологического контроля.

В природных популяциях в конце лета – начале осени клопы спариваются, процесс спаривания длительный и может занимать до 4 ч и более. Самки откладывают яйца на опавшие листья, сучья и другие сухие растительные остатки (см. рис. 11). Для откладки яиц самка зарывается вглубь растительного опада, откладывая яйца ближе к почве. Таким образом яйца клопа оказываются защищенными от высыхания и от воздействия слишком низких температур зимой. Случаи откладки яиц самками открыто на вегетирующие растения (Коломиец, 1962) нами ни разу зафиксированы не были. В лабораторных условиях при подсчете числа яиц, отложенных самками в разных местах садка, выяснилось, что наибольшее число яиц самки одного поколения откладывают в самом темном месте самой светлой части садка. Интерпретируя эти данные на природные условия, можно предположить, что клопы предпочитают откладывать яйца в глубине опада на возвышенных, хорошо освещенных участках, избегая ям, оврагов, густой растительности и прочих затенений. Вероятно, в затененных местах весной слишком долго тает снег и прогревается почва, а в понижениях, кроме того, существует опасность затопления яиц. С наступлением холодов взрослые клопы погибают, зимуют только диапаузирующие яйца. Во всем ареале *P. bidens* развивается только в одном поколении (моновольтинный).

В садках имаго живут до 4 месяцев, но наибольшее число яиц самки откладывают в первые два месяца жизни. Спаривание происходит многократно. Одна кладка состоит в среднем из 35–40 яиц (от 1–2 до 60 яиц), по Пучкову (1961) – до 150 яиц, плодовитость самки достигает 300 яиц, средняя плодовитость – 107,5 яйца на самку. Промежутки времени между откладкой двух очередных яиц составляют 3–5 мин. На завершение одной средней кладки самке требуется около 2 ч. Репродуктивный потенциал полностью не реализуется. Обычно у погибших самок имеются сформировавшиеся яйца, которые они не отложили. Так, при вскрытии нами в лаборатории погибшей самки в ее яичниках были обнаружены 42 сформировавшихся яйца.

Для того чтобы в яйцах начали развиваться личинки, им необходимо пройти период охлаждения. В природных условиях яйца остаются в неактивном состоянии до 8 месяцев и более, причем в зимнее время подвергаются промерзанию. В лаборатории достаточно двухмесячного содержания кладок при температуре +2...+4 °С для того, чтобы могли развиваться более 50% яиц. После одного месяца содержания в подобных условиях развиваются около 30% яиц. При внесении яиц в течение 1–2 недель после откладки в морозильную камеру с температурой –10...–15 °С все они погибают. При

в южных регионах, *Picromerus bidens* обычно обитает в горах, поскольку ему нужен пониженный зимний температурный режим для нормального развития.

Основой лабораторной культуры во ВНИИКР было около 500 экземпляров *Picromerus bidens*, собранных О.Г. Волковым в сентябре–октябре 1992 г. в Орехово-Зуевском районе Московской области (Волков и др., 1995; Волков, Ткачева, 1997). Последующим образом клоп неоднократно собирался в других регионах.

P. bidens – крупный клоп с выраженным половым диморфизмом (см. рис. 10). Самки достигают длины 15 мм и весят от 80 до 160 мг; самцы – меньше и весят 30–80 мг. Соотношение полов в природе и в лабораторных условиях обычно равно (1/1). Основной окрас тела – коричневый; вершины головы и вершины боковых углов пронотума – бронзовые или зеленые. Антенны красноватые, с темной вершиной и более светлыми основаниями сегментов. На вершине пронотума и в его углах по две небольшие светлые точки. Такие же точки (светлые бугорки) расположены на передних углах щитика. Вершина щитика светлая. Низ брюшка и бедра с разбросанными, не сливающимися в точки и ряды, темными и светлыми пятнами. Ноги темные, с широкими светлыми кольцами в середине голени, красноватые вершины голени и основания лап. Брюшко самок округлое, сильно выступающее за края крыльев. Брюшко самцов удлиненное, слабо выступающее за края крыльев.

Естественная популяция этого клопа имеет два типа диапаузы: летняя имагинальная (репродуктивная) – aestivation и зимняя – на стадии яйца (овариальная). Летняя репродуктивная диапауза не позволяет самкам в природе prematurely откладывать яйца. В Центральной России, *P. bidens* взрослые появляются в июле–августе, но самки не откладывают яйца до конца августа – начала сентября. В 1994 г. мы перенесли 600 яиц диапаузы *P. bidens* из лабораторной популяции в СПбГУ, после чего мы изучали влияние фотопериода на развитие этого клопа (Мусолин, 1996, 1997; Мусолин, Саулич, 2000). Было обнаружено, что при выращивании *P. bidens* личинок в разных фотопериодических режимах при 24,5 °С, небольшие задержки в длительности развития личинок были замечены при



Рис. 11. Яйцекладка пикромеруса двузубчатого *Picromerus bidens* на фрагменте сухого листа (фото: О. Г. Волков)

Fig. 11. Eggs of *Picromerus bidens* on a dry leaf fragment (Photo by O.G. Volkov)



Рис. 12. Свежеотложенные (слева) и потемневшие (справа) яйца пикромеруса двузубчатого (фото: О. Г. Волков)

Fig. 12. Freshly laid (left) and darkened (right) eggs of *P. bidens* (photo by O.G. Volkov)

перемещении материала из лаборатории (+25 °C) сразу в рефрижератор (+2 °C) качество материала начинает быстро ухудшаться после двухмесячного хранения. Через 5 месяцев такого хранения выход личинок составляет только 27–31%.

Руководствуясь тем, что в природе понижение температуры обычно происходит постепенно, мы разработали оптимальный режим хранения диапаузирующих яиц пикромеруса, а кроме того, определили верхнюю температурную границу режима диапаузы (Волков, 2011). В результате экспериментов выяснилось, что верхней температурной границей для нашей культуры пикромеруса является +8 °C. Через 2 месяца хранения в таком режиме при повышении температуры из яиц выходит от 50% личинок. Постепенный выход на режим рефрижерации улучшает качество материала. Из яиц клопа, хранившихся 2 месяца при +8 °C, а затем 3 месяца при +2 °C, выходит более 60% личинок, то есть в 2 раза больше, чем при обычном режиме рефрижерации. Кроме того, в этом случае возможно замораживание яиц. При хранении материала 2 месяца при температуре +8 °C, 2 месяца при +2 °C и 2 недели при –15 °C из яиц вышло 50% личинок.

Яйца *P. bidens* обычной для клопов-щитников боченковидной формы, крышечка окружена венцом длинных тонких зубцов. Средний вес одного яйца – 0,7 мг, размеры – около 1,2 мм в длину и 0,9 мм в диаметре. Сразу после откладки яйца белые, но затем быстро темнеют, становясь почти черными. Однако в отличие от яиц многих других щитников это не признак развития личинки, в зимнюю диапаузу яйца уходят в эмбриональном состоянии, развитие личинки начинается после охлаждения яиц. Темнеют выделения самки, которые покрывают яйца, склеивают их между собой и приклеивают к субстрату. Потемнение особенно быстро происходит под воздействием света и при высокой влажности и, вероятно, маскирует яйца клопа на субстрате (см. рис. 12).

Весной из перезимовавших яиц выходят личинки пикромеруса. Личинки проходят пять возрастов. В окраске личинок преобладают

increase in day length. In short-day regimes (12:12 and 14:10 h), all females synchronously began to lay eggs on the 11th–19th day after fledging, whereas in the long-day regime (18:6 and 20:4), despite the active feeding and mobility of the bugs, egg laying was delayed. Females began to lay eggs in long-day laboratory regimes on average on the 30th–53rd day after fledging. It was also found that some of the eggs laid by *P. bidens* females hatched without being reactivated by cold, and the percentage of such eggs was significantly higher in “short-day” females (17.7 and 20.9%) than in “long-day” females (5.7 and 6.0%).

Aestivation in *P. bidens* is not stable and is quite easily overcome in laboratory conditions. When kept in VNIKR in 24-hour lighting and a temperature of +26 °C, a laboratory population of *P. bidens* was formed in which imago mating occurs 3–4 days after fledging, and 1–2 days after mating, females begin to lay eggs. Such a laboratory population is much more convenient for keeping as biological control agents.

In natural populations, bugs mate in late summer and early autumn. The mating process is long and can take up to 4 hours or more. Females lay eggs on fallen leaves, branches and other dry plant debris (see Fig. 11). To lay eggs, the female burrows deep into the plant litter, laying eggs closer to the soil. In this way, the bug eggs are protected from drying out and from the effects of too low temperatures in winter. We have never recorded cases of females laying eggs openly on vegetative plants (Kolomiets, 1962). In laboratory conditions, when counting the number of eggs laid by females in different places of the cage, it turned out that females of one generation lay the greatest number of eggs in the darkest place of the lightest part of the cage. Interpreting these data on natural conditions, it can be assumed that the bugs prefer to lay eggs deep in the litter in elevated, well-lit areas, avoiding pits, ravines, dense vegetation and other shading. Probably, in shaded areas in the spring the snow melts too slowly and the soil warms up, and in depressions, in addition, there is a risk of flooding the eggs. With the onset of cold weather, adult bugs die, only diapausing eggs overwinter. Throughout its range, *P. bidens* develops in only one generation (monovoltine).

In cages, adults live up to 4 months, but females lay the largest number of eggs in the first two months of life. Mating occurs repeatedly. One clutch consists of an average of 35–40 eggs (from 1–2 to 60 eggs), according to Puchkov (1961) – up to 150 eggs, the female's fertility reaches 300 eggs, the average fertility is 107.5 eggs per female. The time intervals between the laying of two successive eggs are 3–5 minutes. It takes

красно-коричневые тона. Голова, грудь с зачатками крыльев, щитки на сегментах брюшка и лапки темные. С III возраста видны светлые перевязи на голених лапок и на усиках, туловище личинок V возраста окружено светлой каймой. Так как самки предпочитают осенью откладывать яйца в подстилке на открытых местах, эти участки прогреваются солнечными лучами и микроклимат, в котором находятся яйцекладки, может значительно отличаться от общей температуры окружающего воздуха. В лаборатории при +20° выход личинок из яиц происходит через 14 суток, при +25° – через 9 суток, при +30° – через 7 суток. В средней России выход личинок пикромеруса из яиц завершается в течение мая. Личинки первого возраста не питаются животной пищей, а пьют воду и соки растений. Обычно они находятся вблизи яйцекладки, иногда разбредаясь на небольшие расстояния, а затем вновь образуя скопление. Если соседние яйцекладки находятся недалеко друг от друга, в таком скоплении может находиться несколько сот личинок пикромеруса. При 20° личинки переходят в II возраст, в среднем через трое суток при понижении температуры развитие замедляется. Личинки II возраста переходят к питанию животной пищей, хотя могут подсасывать растения для восполнения дефицита влаги. Для этих личинок также характерен групповой образ жизни и групповое питание (см. рис. 13).

Следует отметить, что подобный образ жизни, в отличие от других клопов-азопин, характерен для вида в целом. Группами держатся личинки всех возрастов. Даже имаго, хотя и не образуют скоплений, присутствуют в небольших природных стациях, типа лесной поляны, в количестве нескольких сот особей. Возможно, это связано с тем, что взрослые пикромерусы обладают весьма слабыми летными способностями (имея укороченные крылья, являются практически не летающими), и, если бы личинки разбрелись поодиночке, взрослым клопам в дальнейшем было бы трудно найти партнера для спаривания. Работая в нашей лаборатории с нашей культурой *P. bidens* профессор Национального института биологии (National Institute of Biology) (Любляна, Словения) А. Чокл выявил, что коммуникация между полами этого вида происходит акустическим методом, путем так называемых вибрационных сигналов, причем диапазон этих сигналов шире, чем у других исследованных *Asopinae* (Čokl et al., 2011).

В лаборатории при +23–25° личинки проходят все 5 возрастов примерно за месяц, но развитие неравномерное даже у одновозрастных личинок, содержащихся в одинаковых условиях. В природе первые имаго появляются обычно в июле. Вопреки утверждению некоторых авторов (Пучков, 1961),



Рис. 13. Личинки 2-го возраста пикромеруса двузубчатого атакуют личинку картофельной коровки *Henosepilachna vigintioctomaculata* (фото: О. Г. Волков)

Fig. 13. 2nd instar larvae of *P. bidens* attack the larva of *Henosepilachna vigintioctomaculata*. (photo by O.G. Volkov)

the female about two hours to complete one average clutch. Reproductive potential is not fully realized. Usually, dead females have formed eggs that they did not lay. Thus, when we dissected a dead female in the laboratory, 42 formed eggs were found in her ovaries.

In order for the larvae to start developing in the eggs, they need to go through a cooling period. In natural conditions, the eggs remain inactive for up to 8 months or more, and in winter they are subject to freezing. In the laboratory, 2 months of keeping the clutches at a temperature of +2+4 °C is enough for more than 50% of the eggs to develop. After one month of keeping in such conditions, about 30% of the eggs develop. If the eggs are placed in a freezer with a temperature of -10–15 °C within one or two weeks after laying, they all die. When moving the material from the laboratory (+25 °C) directly to the refrigerator (+2 °C), the quality of the material begins to deteriorate rapidly after two months of storage. After 5 months of such storage, the yield of larvae is only 27–31%.

Guided by the fact that in nature the temperature decrease usually occurs gradually, we developed an optimal storage mode for diapausing *P. bidens* eggs, and, in addition, determined the upper temperature limit of the diapause mode (Volkov, 2011). As a result of experiments, it turned out that the upper temperature limit for our *P. bidens* culture is +8°C. After two months of storage in this mode, with an increase in temperature, 50% of larvae emerge from the eggs. Gradually switching to the refrigeration mode improves the quality of the material. More than 60% of larvae emerge from bug eggs stored for 2 months at +8°C and then 3 months at +2°C, i.e. twice as many as with the usual refrigeration mode. In addition, in this case, freezing of eggs is possible. When storing the material for two months at a temperature of +8°C, two months at +2°C and two weeks at -15°C, 50% of larvae emerged from the eggs.

каннибализм у личинок и имаго пикромеруса выражен, во всяком случае, в садках, хотя и не в такой степени, как, например, у подизуса. Особенно уязвимы клопы во время линьки на следующий возраст, которая является довольно длительным процессом. Например, линька личинки V возраста на имаго, до полного потемнения, занимает 4–5 ч. Минимален каннибализм при развитии одновозрастных личинок из одной группы яиц в одном объеме, при смешивании таких микропопуляций каннибализм резко возрастает.

Обычные места обитания пикромеруса – приречные заросли трав и кустарников, вырубки, лесные поляны. Личинки младших возрастов чаще обитают в травянистом ярусе, личинки IV–V возрастов и имаго поднимаются выше, в такие крупные травы, как иван-чай, в заросли малины и ежевики, на стволы и в кроны деревьев. Начиная с конца лета и осенью взрослые клопы в течение дня совершают определенные миграции по растительности. После восхода солнца, когда травы, в которых ночуют пикромерусы, обильно усеяны росой, клопы поднимаются на верхушечные листья, обсыхающие раньше других. Затем до полудня клопы находятся в среднем и верхнем ярусе травянистой и кустарниковой растительности, где происходит поиск добычи и спаривание клопов. Ближе к вечеру, когда верхний слой подстилки хорошо просыхает, клопы спускаются на нее и откладывают яйца на растительные остатки. На подстилке в это время можно собирать не только самок, но и самцов пикромеруса.

Спектр насекомых, употребляемых пикромерусом двузубчатым в качестве пищи, весьма широк и насчитывает, по данным разных авторов, свыше 250 видов (Пучков, 1961; Lariviere & Larochelle, 1989) (см. табл. 1). Уже со второго возраста личинки пикромеруса начинают нападать на личинок других насекомых, часто значительно превосходящих их по размерам. Групповой способ нападения и питания позволяет личинкам справляться с такой крупной добычей, как, например, гусеницы малого ночного павлиньего глаза *Saturnia pavonia* L. Предпочитаемый корм – личинки пилильщиков, жесткокрылых и гусеницы самых разнообразных чешуекрылых. Еще в XVIII веке рекомендовали использовать *Picromerus bidens* для борьбы с постельными клопами в помещениях. Для этой цели предлагали выпускать по 6–8 особей взрослых клопов в помещение на несколько недель (Clausen, 1940). За этот срок, как утверждалось, хищники полностью очищают помещение от постельных клопов, даже при их высокой численности. Это утверждение представляется достаточно правдоподобным, так как пикромерус охотно и сам проникает в бревенчатые избы и имеет обыкновение обшаривать щели в бревнах своим хоботком в поисках добычи (постельные клопы обычно в этих щелях и скрывались). Нападение этого хищника на клопов с мягкими покровами, таких как красноклоп-солдатик *Pyrrhocoris apterus* L., мы фиксировали сами (см. рис. 14).

В наших опытах пикромерус не питался тлями и при отсутствии другого корма погибал. Ошибочным является мнение (Schumacher, 1910), что пикромерус не питается волосатыми гусеницами.

The *P. bidens* eggs are typically barrel-shaped for shield bugs, with the operculum surrounded by a crown of long, thin teeth. The average weight of one egg is 0.7 mg, and the size is about 1.2 mm in length and 0.9 mm in diameter. Immediately after laying, the eggs are white, but then quickly darken, becoming almost black. However, unlike the eggs of many other shield bugs, this is not a sign of larval development; the eggs go into winter diapause in an embryonic state, and larval development begins after the eggs have cooled. The female's secretions darken, covering the eggs, gluing them together and sticking them to the substrate. Darkening occurs especially quickly under the influence of light and at high humidity and probably masks the bug eggs on the substrate (see Fig. 12).

In spring, *P. bidens* larvae emerge from overwintered eggs. The larvae go through five instars. The larval coloration is dominated by red-brown tones. The head, chest with wing rudiments, shields on the abdominal segments and legs are dark. From the 3rd instar, light bands are visible on the shins of the legs and on the antennae, the body of the 5th instar larvae is surrounded by a light border. Since females prefer to lay eggs in the litter in open places in autumn, these areas are warmed by the sun's rays and the microclimate in which the egg-laying areas are located can differ significantly from the general ambient air temperature. In the laboratory, at +20°, the larvae emerge from the eggs after 14 days, at +25° – after 9 days, at +30° – after 7 days. In Central Russia, the emergence of *P. bidens* larvae from eggs is completed during May. The first-stage larvae do not feed on animal food, but drink water and plant juices. They are usually detected near the egg-laying site, sometimes wandering off over short distances and then forming a cluster again. If neighboring egg-laying sites are close to each other, such a cluster may contain several hundred *P. bidens* larvae. At 20°, the larvae enter the second stage, on average, after three days; when the temperature drops, development slows down. The second-stage larvae switch to feeding on animal food, although they can suck up plants to replenish the moisture deficit. These larvae are also characterized by a group lifestyle and group feeding (see Fig. 13).

It should be noted that this lifestyle, unlike other azopine bugs, is typical for the species as a whole. Larvae of all ages stay in groups. Even imago, although they do not form clusters, are present in small natural habitats, such as forest clearings, in quantities of several hundred individuals. Perhaps this is due to the fact that adult *P. bidens* have very weak flight abilities (having shortened wings, they are practically flightless) and if the larvae wandered off alone, it would be difficult for adult bugs to find a partner for mating. Working in our laboratory with our *P. bidens* culture, Professor of the National Institute of Biology (Ljubljana, Slovenia) A. Čokl found that communication between the sexes of this species occurs acoustically, by so-called vibration signals, and the range of these signals is wider than that of other Asopinae studied (Čokl et al., 2011).



Рис. 14. Самка пикромеруса двузубчатого нападает на личинку красноклопа-солдатика *Pyrrhocoris apterus* (фото: О. Г. Волков)

Fig. 14. *P. bidens* female attacks the larvae of *Pyrrhocoris apterus* (photo by O.G. Volkov)

В лаборатории и личинки, и имаго охотно нападают на гусениц медведиц и непарного шелкопряда (см. рис. 15), о питании пикромеруса в Тувинской тайге гусеницами сибирского коконопряда сообщает Коломиец (1962).

Питание яйцами различных насекомых имеет место в первую очередь для личинок клопа. Пикромерус охотно питается куколками и другой неподвижной, в том числе мертвой, добычей. В лабораторных условиях пикромерусу также были предложены личинки двукрылых: мухи-дрозофилы *Drosophila* sp., комнатной мухи *Musca domestica* L. и мух-каллифорид протоформии *Protophormia terraenovae* R.-D. и каллифоры красноголовой *Calliphora vicina* R.-D. Личинками дроздофилы пикромерус не питался даже в условиях голодания, личинки комнатной мухи и особенно более крупные личинки каллифорид вполне подошли в качестве дешевой кормовой базы.

Когда голодным клопам были предложены дождевые черви *Eisenia fetida* (Savigny) (из лабораторной культуры), они делали попытку проколоть червя, но тут же отступали, причем за его хоботком тянулась слизь. Но в природе мы наблюдали питание имаго пикромеруса покрытыми слизью ложногусеницами вишневого слизистого пилильщика *Caliroa cerasi* (L.) (см. рис. 16).

Ложногусениц рыжего соснового пилильщика имаго пикромеруса охотно поедали в садках. Но в полевых опытах при расселении на ветки сосны с личинками пилильщика личинок 3–4-го возраста пикромеруса выяснилось, что при попытке напасть на ложногусеницу она выпускает на личинку клопа смолистую жидкость из ротового отверстия, после чего личинка прекращает атаку, начинает чиститься и старается перебраться на другие растения.

Личинки лучше передвигаются по гладким поверхностям, чем тяжелые взрослые клопы. При помещении на кочаны капусты, заселенные

In the laboratory at +23...+25° the larvae pass through all 5 instars in about a month, but the development is uneven even in the same-aged larvae kept in the same conditions. In nature the first imagoes usually appear in July. Contrary to the assertion of some authors (Puchkov, 1961), cannibalism in larvae and imagoes of *P. bidens* is expressed, at least in cages, although not to the same extent as, for example, in *P. maculiventris*. Bugs are especially vulnerable during molting to the next instar, which is a rather long process. For example, the molt of a 5th instar larva to imago, until complete darkening, takes 4–5 hours. Cannibalism is minimal during the development of same-aged larvae from one group of eggs in one volume, when such micro-populations are mixed cannibalism increases sharply.

The usual habitats of *P. bidens* are riverine thickets of grass and shrubs, clearings, forest clearings. Younger larvae often live in the grass layer,

while larvae of the fourth and fifth instars and adults rise higher, into large grasses such as fireweed, into raspberry and blackberry thickets, onto tree trunks and crowns. Beginning in late summer and autumn, adult bugs make certain migrations through the vegetation during the day. After sunrise, when the grasses in which *P. bidens* spend the night are abundantly covered with dew, the bugs rise to the apical leaves, which dry out earlier than others. Then, until midday, the bugs are in the middle and upper tiers of grassy and shrubby vegetation, where they search for prey and mate. Closer to evening, when the upper layer of the litter dries well, the bugs descend onto it and lay eggs on plant remains. At this time, you can collect not only females, but also *P. bidens* males on the litter.

The range of insects consumed by *P. bidens* as food is very wide and, according to various authors, includes over 250 species (Puchkov, 1961; Lariviere & Laroche, 1989) (Table 1). Already from the second instar, *P. bidens* larvae begin to attack the larvae of other insects, often significantly larger than them. The group method of attack and feeding allows the larvae to cope with such large prey as, for example, larvae of *Saturnia pavonia* L. The preferred food is the larvae of sawflies, beetles and caterpillars of a wide variety of Lepidoptera. As early as the 18th century, it was recommended to use *P. bidens* to control bedbugs indoors. For this purpose, it was suggested to release 6–8 adult bugs into the room for several weeks (Clausen, 1940). During this period, it was claimed, the predators completely clear the room of bedbugs, even if their numbers are high. This claim seems quite plausible, since *P. bidens* willingly penetrates log huts and has a habit of searching through cracks in the logs with its proboscis in search of prey (bedbugs usually hid in these cracks).

гусеницами репной белянки, имаго постепенно соскальзывают с гладких листьев и эффективность оказывается невысокой. Личинки II–IV возраста, помещенные на эти же кочаны, свободно перемещаются по ним и быстро очищают кочаны от гусениц.

Согласно Miller (1942) (из Пучкова, 1961), личинок пикромеруса можно выкармливать вплоть до имаго только на растительной пище – на дробке красильном *Genista tinctoria* L. Самому Пучкову не удалось выкормить личинок пикромеруса, начиная с III возраста, на растениях. Однако Пучков не указывает, на каких именно растениях он пытался выкармливать личинок, – Miller выкармливал на бобовых. Нами была предпринята попытка выкормить личинок пикромеруса, начиная с I возраста, на растениях гороха посевного *Pisum sativum* L. В емкости было помещено по 100 личинок – на растения гороха и на горох с зебринией

The attack on soft-shelled bugs such as *Pyrrhocoris apterus* L. was witnessed by us (see fig. 14).

In our experiments, *P. bidens* did not feed on aphids and, in the absence of other food, died. The opinion (Schumacher, 1910) that the *P. bidens* does not feed on hairy caterpillars is erroneous. In the laboratory, both larvae and imago readily attack caterpillars of the bear and gypsy moth (see Fig. 15); Kolomiets (1962) reports that *P. bidens* feeds on *Dendrolimus sibiricus* larvae in the Tuva taiga).

Feeding on eggs of various insects occurs primarily for bug larvae. *P. bidens* readily feeds on pupae and other motionless, including dead, prey. In laboratory conditions, *P. bidens* was also offered dipteran larvae: *Drosophila* sp., *Musca domestica* L. and *Protophormia terraenovae* R.-D. and *Calliphora vicina* R.-D. *P. bidens* did not feed on *Drosophila* larvae even under starvation conditions; housefly larvae and, especially, larger calliphorid larvae were quite suitable as a cheap food source.

When hungry bugs were offered earthworms *Eisenia fetida* (Savigny) (from a laboratory culture), they attempted to pierce the worm, but immediately retreated, with mucus trailing behind its proboscis. But in nature, we observed the feeding of *P. bidens* imagoes on slime-covered false caterpillars of *Caliroa cerasi* (L.) (see Fig. 16).

P. bidens imagoes actively fed on false caterpillars of the red pine sawfly in cages. But in field experiments, when settling *P. bidens* larvae of 3rd–4th instars on pine branches with sawfly larvae, it turned out that, when trying to attack the false caterpillar, it releases a resinous liquid from the mouth opening onto the bug larva, after which the larva stops attacking, begins to clean itself and tries to move to other plants.

But the larvae move better on smooth surfaces than heavy adult bugs. When placed on cabbage heads inhabited by turnip white caterpillars, the adults gradually slide off the smooth leaves and the effectiveness is low. Larvae of the 2nd to 4th instars, placed on the same heads of cabbage, move freely on them and quickly clear the heads of cabbage of caterpillars.

According to Miller (1942) (from Puchkov, 1961), *P. bidens* larvae can be reared up to imago only on plant food – on *Genista tinctoria* L. Puchkov himself failed to rear *P. bidens* larvae, starting from the third instar, on plants. However, Puchkov does not indicate on which plants he tried to rear the larvae – Miller reared them on legumes. We attempted to rear *P. bidens*



Рис. 15. Имаго пикромеруса двузубчатого нападают на гусеницу непарного шелкопряда *Lymantria dispar* на ветке липы (фото: О. Г. Волков)

Fig. 15. *P. bidens* imagoes attack the caterpillar of *Lymantria dispar* on a linden branch (photo by O.G. Volkov)



Рис. 16. *Picromerus bidens* питается личинкой вишневого слизистого пилильщика *Caliroa cerasi* на листе боярышника (фото: О. Г. Волков)

Fig. 16. *Picromerus bidens* feeds on the *Caliroa cerasi* larva on a hawthorn leaf (photo by O.G. Volkov)

Табл. 1. Некоторые виды – хозяева *Picromerus bidens* в лабораторных и полевых условиях

Table 1. Some host species of *Picromerus bidens* in laboratory and field conditions

Вид насекомого Insect species	Личинка Larva	Куколка Pupa	Имаго Imago	Источник Source	Вид насекомого Insect species	Личинка Larva	Куколка Pupa	Имаго Imago	Источник Source
HEMIPTERA					Сибирский коконопряд <i>Dendrolimus sibiricus</i> Tschetv.	+	?	?	Коломиец, 1962 Kolomiets, 1962
Красноклоп- солдатик <i>Pyrrhocoris apterus</i> L.	+	–	?	С. д. o.d.	Непарный шелкопряд <i>Lymantria dispar</i> L.	(+)	?	?	С. д.; Пучков, 1961 o.d.; Puch- kov, 1961
Клоп постельный <i>Cimex lectularius</i> L.	+	–	+	Clausen 1940.	Зимняя пяденица <i>Operophtera brumata</i> L.	?	?	+	Пучков, 1961 Puchkov, 1961
COLEOPTERA					<i>Agrotis</i> sp.	(+)	?	?	С. д. o.d.
Колорадский картофельный жук + <i>Leptinotarsa decemlineata</i> Say	+	?	+	С. д. o.d.	Совка-гамма <i>Autographa gamma</i> L.	+	?	?	Поспелов, 1989 Pospelov, 1989
Калиновый листоед <i>Galerucella viburni</i> Payk.	+	?	?	С. д. o.d.	Огородная совка <i>Lacanobia oleracea</i> (L.)	+	?	?	С. д. o.d.
Тополевый листоед <i>Melasoma populi</i> L.	(+)	?	?	С. д. o.d.	Капустная совка <i>Mamestra brassicae</i> (L.)	(+)	?	?	С. д. o.d.
Картофельная коровка <i>Henosepilachna vigintioctomaculata</i> (Motschulsky)	+	?	+	С. д. o.d.	Hymenoptera				
Большой мучной хрущак <i>Tenebrio molitor</i> L.	(+)	(+)	(+)	С. д. o.d.	Крыжовниковый пилильщик <i>Nematus ribesii</i> Scop.	+	?	?	С. д. o.d.
Lepidoptera					Ивовый пилильщик <i>Nematus salicis</i> L.	+	?	?	С. д. o.d.
Большая вошинная огневка <i>Galleria mellonella</i> L.	(+)	(+)	(+)	С. д. o.d.	Рыжий сосновый пилильщик <i>Neodiprion sertifer</i> Geoffr.	+	?	?	Коломиец и др., 1972 Kolomiets et al., 1972
Огневка самшитовая <i>Cydalis perspectalis</i> (Walker)	(+)	?	?	С. д. o.d.	Вишневый слизистый пилильщик <i>Caliotha cerasi</i> (L.).	+	?	?	С. д. o.d.
Горностаевая моль яблонная <i>Yponomeuta malinellus</i> Z.	(+)	?	?	С. д. o.d.	DIPTERA				
Крапивница <i>Vanessa urticae</i> L.	+	?	?	С. д. o.d.	Муха комнатная <i>Musca domestica</i> L.	(+)	(+)	(+)	С. д. o.d.
Павлиний глаз <i>Vanessa io</i> L.	+	?	?	С. д. o.d.	Муха ранневесенняя <i>Protophormia terraenovae</i> R.-D.	(+)	(+)	(+)	С. д. o.d.
Многоцветница <i>Vanessa polychloros</i> L.	(+)	?	?	С. д. o.d.	Синяя мясная муха красноголовая <i>Calliphora vicina</i> R.-D.	(+)	(+)	(+)	С. д. o.d.
Репная белянка <i>Pieris rapae</i> L.	(+)	?	?	С. д. o.d.	Примечание: + обозначает питание в естественных условиях; (+) обозначает питание в лабораторных условиях; – обозначает «стадия отсутствует»; ? обозначает «сведений нет»; С. д. – собственные данные. + : natural feeding; (+): laboratory feeding; -: stage absent; ? : no information; o. d.: original data.				
Боярышница <i>Aporia crataegi</i> L.	+	?	?	Пучков, 1961 Puchkov, 1961					
Малый ночной павлиний глаз <i>Saturnia pavonia</i> L.	(+)	?	?	С. д. o.d.					
Лунка серебристая <i>Phalera bucephala</i> L.	(+)	?	?	С. д. o.d.					

Zebrinia pendula Schnizl. Ни в одном случае не удалось довести личинок до V возраста. Во всех вариантах большая часть личинок погибала уже в II возрасте, немногие за счет каннибализма переходили в III возраст и единицы – в IV. Не было выявлено никаких преимуществ гороха по сравнению с зебринией и при использовании их в качестве дополнительной подкормки при питании личинок животной пищей. По-видимому, клопы используют растения только как источник влаги.

Поисковое поведение пикромеруса очень характерно: клоп передвигается по растениям с вытянутым вперед усиками и опущенным хоботком. Как уже было сказано, клопы практически не летают и поэтому, если не заметили добычу, передвигаются медленно, тщательно исследуя поверхность, на которой находятся. Узкие полости в растениях и щели в стволах деревьев (и в стенах зданий) клопы исследуют при помощи хоботка. Если клопы обнаруживают неподвижную добычу, например куколок, они исследуют ее при помощи усиков, а затем приступают к прокалыванию. Мы наблюдали прокалывание пикромерусом куколок галлерии даже через стенки их кокона. Любопытно поведение пикромеруса при обнаружении добычи, находящейся в паутинных гнездах, что характерно для ряда видов чешуекрылых и перепончатокрылых. На ветку яблони с гнездом яблонной горностаевой моли были посажены *P. bidens*. Клопы передвигались по гнезду снаружи, не проникая внутрь. Однако, поскольку гусеницы горностаевой моли питаются на периферии гнезда, клопы таскали их сквозь паутину одну за другой и за 10 суток истребили колонию почти полностью – из нескольких десятков гусениц окуклились только три (см. рис. 17). В других опытах, когда мы предлагали пикромерусу гнезда яблонной моли с гусеницами,

larvae, starting from the first instar, on pea plants *Pisum sativum* L. We placed 100 larvae in a container – on pea plants and on peas with *Zebrinia pendula* Schnizl. In neither case did we manage to bring the larvae to the fifth instar. In all variants, most of the larvae died already in the second instar, a few, due to cannibalism, passed to the third instar, and a few – to the fourth. No advantages of peas were found in comparison with *Zebrinia pendula* and when using them as additional feeding when feeding larvae with animal food. Apparently, the bugs use plants only as a source of moisture.

The searching behavior of *P. bidens* is very characteristic: the bug moves along the plants with its antennae extended forward and its proboscis lowered. As has already been said, bugs practically do not fly and therefore, if they have not noticed prey, they move slowly, carefully examining the surface on which they are. Bugs examine narrow cavities in plants and cracks in tree trunks (and in the walls of buildings) with the help of their proboscis. If the bugs find motionless prey, for example, pupae, they examine it with the help of antennae, and then begin to pierce it. We observed *P. bidens* piercing *Galleria* pupae even through the walls of their cocoon. The behavior of *P. bidens* when detecting prey located in web nests is curious, which is typical for a number of species of Lepidoptera and Hymenoptera. *P. bidens* were planted on an apple tree branch with a nest of the apple ermine moth. The bugs moved around the nest from the outside, without penetrating inside. However, since *Yponomeuta* spp. larvae feed on the periphery of the nest, the bugs dragged them through the web one by one and in 10 days almost completely exterminated the colony – out of several dozen larvae, only three pupated (see Fig. 17). In other experiments, when we offered *P. bidens* nests of *Hyponomeuta malinella* with larvae that had almost finished feeding, the effectiveness was low – most of the larvae managed



Рис. 17. Личинки и имаго *Picromerus bidens* уничтожают гусениц яблонной горностаевой моли *Yponomeuta malinellus* в паутинном гнезде на ветке яблони (фото: О. Г. Волков)

Fig. 17. Larvae and imagoes of *Picromerus bidens* feeding on *Yponomeuta malinellus* in a spider's nest on an apple tree branch (photo by O.G. Volkov)

почти завершившими питание, эффективность была невысокой – большая часть гусениц успевала окуклиться. Плотные пачки коконов моли, прикрытые паутиной, по-видимому, малодоступны для пикромеруса.

Взрослые пикромерусы способны обнаружить крупную добычу, например гусениц совок, на расстоянии 2–3 м. Для поиска добычи используется обоняние. После обнаружения клопы быстро приближаются к добыче до расстояния в 2–4 см, после чего начинают двигаться чрезвычайно медленно и осторожно. При этом их хоботок вытянут по направлению к добыче, а усики отведены в стороны и назад. Осторожно дотронувшись хоботком до добычи, клоп прокалывает ее покровы своими зазубренными мандибулами. Если покровы в данной точке не поддаются прокалыванию, как, например, у жуков, пикромерус начинает передвигать хоботок по поверхности тела добычи в поисках уязвимого места. Если добыча обнаружилась нападение и пытается скрыться, клоп упорно ее преследует. После прокалывания покровов мандибулами клоп через максиллы впрыскивает в жертву слюну, содержащую протеолитические ферменты. Процесс впрыскивания чрезвычайно болезнен для жертвы, и она активно обороняется. Гусеницы обычно пытаются схватить челюстями место укола, а затем уползают. Клоп, быстро передвигаясь, подставляет челюстям добычи только свой хоботок, который, по-видимому, очень тверд, так как ни одной гусенице не удалось его перекусить. При попытке жертвы скрыться, клоп препятствует этому, цепляясь лапами за поверхность, а при слишком сильном сопротивлении добычи, следует за ней. Мандибулы пикромеруса закрепляются в покровах тела добычи очень прочно, так как не приходилось наблюдать, чтобы какому-либо насекомому удалось освободиться от укола личинки старшего возраста или молодого взрослого клопа. Клоп стремится лишить добычу опоры, поэтому обычная поза питания клопа на растениях – вниз головой, когда добыча, даже очень крупная, висит на хоботке. Крупное насекомое может вырваться после укола личинки младшего возраста или очень старого взрослого клопа, у которого мандибулы, по-видимому, уже изношены. Однако, поскольку слюна уже впрыснута, гибель добычи неизбежна. Если взрослого колорадского жука отобрать у клопа сразу же после укола, гибель жука происходит в течение от 0,5 до 2 ч. Такой механизм повышает эффективность пикромеруса в качестве агента биологического контроля.

Обычно, если один пикромерус атаковал добычу, к нему присоединяются другие клопы. Особенно это характерно для личинок, которые ведут групповой образ жизни. Возрастной состав группы неодинаков, однако совершенно не обязательно, что первыми нападение на добычу осуществляют личинки старшего возраста или взрослые клопы. Нередко первыми атакуют крупную добычу младшие личинки. Другие клопы присоединяются к общей трапезе в любое время, вплоть до полного высасывания добычи. Групповое питание особенно характерно для лабораторных условий содержания пикромеруса, однако и в природных условиях мы наблюдали групповое питание, как личинок,

to pupate. Dense packs of moth cocoons, covered with web, are apparently not very accessible to *P. bidens*.

Adult *P. bidens* are able to detect large prey, such as *Ponometia (Tarachidia) candefacta* larvae, at a distance of 2–3 meters. They also use their sense of smell to find prey. After detecting it, the bugs quickly approach the prey to a distance of 2–4 cm, after which they begin to move extremely slowly and carefully. Their proboscis is extended towards the prey, and the antennae are pulled back and to the sides. Carefully touching the prey with its proboscis, the bug pierces its integument with its serrated mandibles. If the integument at this point is not amenable to piercing, as, for example, in beetles, *P. bidens* begins to move its proboscis along the surface of the prey's body in search of a vulnerable spot. If the prey has detected the attack and is trying to escape, the bug persistently pursues it. After piercing the integument with its mandibles, the bug injects saliva containing proteolytic enzymes into the victim through its maxillae. The injection process is extremely painful for the victim, and it actively defends itself. The larvae usually try to grab the injection site with their jaws and then crawl away. The bug, moving quickly, exposes only its proboscis to the jaws of the prey, which is apparently very hard, since no larva has managed to bite it off. When the prey tries to escape, the bug prevents this by clinging to the surface with its paws, and if the prey resists too much, it follows it. The mandibles of *P. bidens* are fixed in the integument of the prey very firmly, since no insect has ever been able to free itself from the injection of an older larva or a young adult bug. The bug strives to deprive the prey of support, so the usual feeding position of the bug on plants is upside down, when the prey, even a very large one, hangs on the proboscis. A large insect may escape after being pricked by a young larva or a very old adult bug whose mandibles are apparently worn out. However, since the saliva has already been injected, the death of the prey is inevitable. If an adult Colorado potato beetle is removed from the bug immediately after the prick, the beetle dies within 0.5 to 2 hours. This mechanism increases the effectiveness of *P. bidens* as a biological control agent.

Usually, if one *P. bidens* attacks the prey, other bugs join it. This is especially true for larvae, which lead a group lifestyle. The age composition of the group is not the same, but it is not at all necessary that the first to attack the prey are older larvae or adult bugs. Often, younger larvae are the first to attack large prey. Other bugs join the common meal at any time, up to the complete sucking out of the prey. Group feeding is especially characteristic of laboratory conditions of keeping *P. bidens*, but in natural conditions we have also observed group feeding of both larvae and imagoes. This property can be considered both a positive and a negative feature of the entomophage. Group feeding allows *P. bidens* to successfully attack prey that is significantly larger than it, but also increases the time it takes to eliminate the phytophage colony: the bugs prefer to join the feeding of an already fixed victim, ignoring other individuals until the prey is completely sucked out.



Рис. 18. Личинка II возраста *Picromerus bidens* атакует личинку IV возраста колорадского картофельного жука *Leptinotarsa decemlineata* на картофеле (фото: О. Г. Волков)

Fig. 18. 2nd instar larva of *Picromerus bidens* attacking the 4th instar larva of *Leptinotarsa decemlineata* on potato (photo by O.G. Volkov)

так и взрослых особей клопа. Такое свойство можно рассматривать как положительную, так и отрицательную особенность энтомофага. Групповое питание не только позволяет пикромерусу успешно атаковать добычу, значительно превосходящую его по размерам, но и увеличивает время ликвидации колонии фитофага: клопы предпочитают присоединяться к питанию уже зафиксированной жертвой, игнорируя другие особи до полного высасывания добычи.

Основными врагами пикромеруса в природных условиях являются, по-видимому, пауки и, возможно, хищные насекомые. Попав в паутину, пикромерус не делает попыток защиты от паука своим мощным хоботком. Также в отличие от, например, клопов-хищнецов Reduviidae пикромерус не пытается уколоть хоботком взявшего его в руки человека. Пучков (1961) приводит в качестве природного врага пикромеруса осу-сфециду *Astatus boops* Schr., которая выкармливает своих личинок личинками клопов-пентатомид. По природной паразитофауне пикромеруса сведений практически нет. Сроки откладки яиц делают их неуязвимыми для многочисленных яйцеедов. Для других азопин, например для *Troilus luridus*, известно заражение яиц сцелионидами *Trosscilus grandis* Thorns. Открытым остается вопрос о поражении взрослых клопов мухами тахинами. Пучков (1961) высказывает мнение о возможной перезимовке имаго пикромеруса, зараженных фазиями и кастрированных, но не уточняет источник этой информации.

В связи с вышеизложенным необходимо более подробно рассмотреть вопрос о диапаузе и перезимовке у *P. bidens*, имеющий важное теоретическое и практическое значение. Общепринято, что пикромерус, как и, например, непарный шелкопряд, имеет одно поколение в год, независимо от географической широты обитания. Зимуют диапаузирующие яйца; затем, в весенне-летний период, развивается одно поколение пикромеруса, взрослые

In natural conditions, the main enemies of *P. bidens* are apparently spiders and, possibly, predatory insects. Once caught in a web, *P. bidens* does not attempt to defend itself from the spider with its powerful proboscis. Also, unlike, for example, the Reduviidae bugs, *P. bidens* does not try to prick a person who picks it up with its proboscis. Puchkov (1961) lists *Astatus boops* Schr. as a natural enemy of *P. bidens*, which feeds its larvae with the larvae of pentatomid bugs. There is practically no information on the natural parasitofauna of *P. bidens*. The oviposition timing makes them invulnerable to numerous egg-eaters. Other azopines, for example, *Troilus luridus*, are known to be infected with *Trosscilus grandis* Thorns. The question of adult bugs being infected by tachinid flies remains open. Puchkov (1961) expresses an opinion about the possible overwintering of *P. bidens* imagoes infected with phasia and castrated, but does not specify the source of this information.

Taking into account the above, it is necessary to consider in more detail the issue of diapause and overwintering in *P. bidens*, which has important theoretical and practical significance. It is generally accepted that *P. bidens*, like, for example, the gypsy moth, has one generation per year regardless of the geographical latitude of its habitat. Diapausing eggs overwinter, then, in the spring-summer period, one *P. bidens* generation develops, and adult individuals die off after with cold weather. However, some researchers report detecting adult *P. bidens* individuals in the spring-early summer period (Musolin, 1996, 1997; Musolin, Saulich, 2000). Thus, Musolin (1997) reports that early collections of *P. bidens* imagoes were detected in the collections of the Zoological Institute – 9 specimens caught in various regions of Russia in April-June. The interpretation of such finds may be different:

1. Denial of the obligatory monovoltinity of the species;
2. Assertion that only phasia-infected and castrated *P. bidens* individuals survive the winter (Puchkov, 1961);
3. Supposing that the labels on these bedbug specimens are filled out incorrectly.

In our opinion, the second and third conclusions are most likely to be true. This is supported by the extreme rare detections (in collections) of such anomalous specimens. During our observations of this species, we have collected hundreds of live specimens of *P. bidens* at different development stages, but we have never encountered *P. bidens* imagoes in Moscow Oblast before July. At the same time, in Southern Kazakhstan, we collected *P. bidens* imagoes at the beginning of June, which is nothing special, given the timing of *P. bidens* development depending on temperature. Also, in this

особи после наступления холодов отмирают. Однако некоторые исследователи сообщают о нахождении взрослых особей пикромеруса в весенне-раннелетний период (Мусолин, 1996, 1997; Musolin, Saulich, 2000). Так, Мусолин (1997) сообщает о том, что в коллекциях Зоологического института были обнаружены ранние сборы имаго пикромеруса – 9 экземпляров, пойманные в различных регионах России в апреле – июне. Интерпретация таких находок может быть различной:

1. Отрицание обязательной моновольтинности вида.

2. Утверждение, что перезимовывают только зараженные фазиями и кастрированные особи пикромеруса (Пучков, 1961).

3. Предположение, что этикетки на этих экземплярах клопов заполнены неверно.

По нашему мнению, наиболее вероятны второй и третий выводы. В пользу этого выступает крайняя редкость обнаружения (в коллекциях) подобных аномальных экземпляров. Нами за время наблюдений над этим видом собраны сотни живых экземпляров пикромеруса двузубчатого на разной стадии развития, но никогда нам в Московской области не встречались имаго пикромеруса раньше июля. В то же время в Южном Казахстане мы собирали имаго пикромеруса в начале июня, что не представляет ничего особенного, учитывая сроки развития пикромеруса в зависимости от температуры. Также в этом регионе значительно раньше, чем в средней России, происходит лет непарного шелкопряда, однако никем не оспаривается моновольтинность этого вида.

И. М. Кержнером, ранее куратором коллекции полужесткокрылых Зоологического института РАН, было предложено Д. М. Мусолину (личное сообщение) вскрыть «весенние» экземпляры *P. bidens*, имеющиеся в коллекции, на предмет обнаружения личинок фазий. Однако это предложение не было реализовано.

Вероятно, можно создать бездиапаузную популяцию пикромеруса двузубчатого, отбирая немногочисленных личинок, выходящих из яиц клопа, не прошедших охлаждения. Но именно диапауза на стадии яйца делает, на наш взгляд, *P. bidens* наиболее перспективным агентом биологического контроля среди всех Asopinae. В стадии яйца, учитывая многомесячную диапаузу, пикромеруса можно накапливать практически в неограниченных количествах, пересылать на любое расстояние и применять на больших площадях. На пикромеруса, как эффективного хищника колорадского жука, уже давно обратили внимание в Европе (Mayne, Breny, 1948), но первоначальный успех синтетических пестицидов заставила свернуть эти, как и многие другие, исследования. Наши опыты показали высокую эффективность пикромеруса двузубчатого в контроле колорадского картофельного жука на картофеле в лабораторных и полевых условиях (Volkov et al., 2013) и в контроле гусениц на овощных культурах в защищенном грунте (Волков, 1998; Гуменная, 2002; Volkov, 2006). Кроме того, диапаузирующие яйца пикромеруса удалось использовать для выращивания яйцееда клопа вредной черепашки *Eurygaster integriceps* Pat. теленомуса зеленоватого

регион, the flight of the gypsy moth occurs much earlier than in Central Russia, but no one disputes the monovoltinity of this species.

I.M. Kerzhner, previously the curator of the Hemiptera collection at the Zoological Institute of the Academy of Sciences, suggested to D.M. Musolin (personal communication) dissecting the “spring” specimens of *P. bidens* in the collection to detect phasia larvae. However, this suggestion was not implemented.

It is probably possible to create a non-diapause *P. bidens* population by selecting a few larvae emerging from uncooled bug eggs. However, in our opinion, it is precisely the diapause at the egg stage that makes *P. bidens* the most promising biological control agent among all Asopinae. At the egg stage, given the many-month diapause, *P. bidens* can be accumulated in virtually unlimited quantities, sent over any distance, and applied to large areas. *P. bidens* has long been noticed in Europe as an effective predator of the Colorado potato beetle (Mayne, Breny, 1948), but the initial success of synthetic pesticides forced these, like many other, studies to be paused. Our experiments have shown the high efficiency of *P. bidens* in controlling the Colorado potato beetle on potatoes in laboratory and field conditions (Volkov et al., 2013) and in controlling caterpillars on vegetable crops in protected ground (Volkov, 1998; Gumnennaya, 2002; Volkov, 2006). In addition, diapausing *P. bidens* eggs were successfully used to grow *Eurygaster integriceps* Pat., *Telenomus chloropus* Thoms. (Hymenoptera, Scelionidae) (Volkov, Smirnov, 2014). The success was facilitated by the fact that the *P. bidens* eggs undergo diapause in the embryonic state, and therefore are suitable for infection for a long time by many species of parasitoids of bug eggs, unlike such species as, for example, the gypsy moth, in which the first-instar larva quickly forms in the eggs, which overwinters under the cover of the egg shell.

CONCLUSIONS

Studying the bugs (Hemiptera, Heteroptera, Pentatomidae, Asopinae) in Moscow Oblast allowed to reveal two entomophages species resembling by their morphological and biological characteristics the introduced from the North America bugs *Perillus bioculatus* and *Podisus maculiventris*. These are *Arma custos* and especially *Troilus luridus*. The latter in terms of breeding in laboratory conditions, is as easy as *Podisus maculiventris*, and even surpasses it in fertility. *Troilus luridus* is quite capable of replacing *Podisus maculiventris* in biological control of larvae on vegetable crops in protected ground, especially in those greenhouse complexes that have their own production biolaboratory. At the same time, like *Podisus maculiventris*, it is of little use for use by the seasonal colonization method to control the Colorado potato beetle on fairly large areas: it can only be used in the form of larvae, given the application rate of 50–100 thousand per hectare, the use of *Troilus luridus* on potatoes, like *Podisus maculiventris*, becomes not only very labor-intensive, but also economically unfeasible.

Only *Picromerus bidens* fully complies with the above parameters. Larvae, starting from the second

Telenomus chloropus Thoms. (Hymenoptera, Scelionidae) (Волков, Смирнов, 2014). Успеху способствовало то, что яйца пикромеруса диапаузируют в эмбриональном состоянии, поэтому долго пригодны для заражения многими видами паразитоидов яиц клопов-щитников в отличие от таких видов, как, например, непарный шелкопряд, у которого в яйцах быстро формируется гусеница первого возраста, которая и зимует под покровом яйцевой оболочки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Изучение хищных клопов-щитников (Hemiptera, Heteroptera, Pentatomidae, Asopinae) в Московской области позволило выявить два вида энтомофагов, которые по своим морфологическим и биологическим особенностям очень похожи на интродуцированных из Северной Америки клопов периллюса *Perillus bioculatus* и подизуса *Podisus maculiventris*. Это арма ольховая *Arma custos* и особенно троилус *Troilus luridus*. Последний по легкости разведения в лабораторных условиях не уступает подизусу, а по плодовитости даже превосходит его. Троилус вполне способен заменить подизуса в биологическом контроле гусениц на овощных культурах в защищенном грунте, особенно в тех тепличных комплексах, у которых имеются собственная производственная биолaborатория. В то же время он, как и подизус, мало пригоден для использования методом сезонной колонизации для контроля колорадского жука на достаточно больших площадях: его можно применять только в виде личинок, учитывая норму применения – 50–100 тыс. на гектар, применение на картофеле троилуса, как и подизуса, становится не только весьма трудоемким, но и экономически нецелесообразным.

Полностью соответствует вышеуказанным параметрам только пикромерус двузубчатый *Picromerus bidens*. Личинки, начиная с II возраста, и имаго этого крупного клопа питаются яйцами, личинками всех возрастов и имаго колорадского жука. Возможность накапливать, перемещать и применять этого энтомофага на стадии яйца позволяет механизировать ряд процессов по аналогии с использованием трихограммы *Trichogramma* spp. в яйцах зерновой моли *Sitotroga cerealella* (Oliv.). Чрезвычайная многоядность, толерантность к размерам добычи, нападение на покоящиеся стадии видов-хозяев делают пикромеруса своеобразным универсальным энтомофагом-хищником, пригодным для биологического контроля в первую очередь листогрызущих насекомых в самых разных условиях. Безэстивационная культура *Picromerus bidens*, созданная в отделе биометода ВНИИКР, позволяет непрерывно в течение года осуществлять наработку этого энтомофага, моновольтинного в природной популяции.

«Классический биометод», метод интродукции иноземных агентов биологического контроля для борьбы с инвазионными нежелательными организмами в современном мире уже не рассматривается как наиболее предпочтительный способ решения проблемы. К интродукции оправдано прибегать только после тщательного изучения предполагаемого интродуцента в условиях карантинной лаборатории и твердой уверенности,

instar, and adults of this large bug feed on eggs, larvae of all instars and adults of the Colorado potato beetle. The ability to accumulate, move and use this entomophage at the egg stage allows for the mechanization of some processes by analogy with the use of *Trichogramma* spp. in the eggs of *Sitotroga cerealella* (Oliv.). Extreme polyphagous feeding, tolerance to the size of prey, and attacks on dormant stages of host species make *Picromerus bidens* a kind of universal entomophagous predator, suitable for biological control, primarily of leaf-eating insects in a variety of conditions. An aestivation-free culture of *Picromerus bidens*, created in the Department of Biomethods of the All-Russian Research Institute of Insect Reproduction, allows for the continuous production of this entomophage, monovoltine in the natural population, throughout the year.

“Classical biomethod”, the method of introducing foreign biological control agents to control invasive unwanted organisms is no longer considered the most preferable way to solve the problem in the modern world. It is justified to resort to introduction only after a thorough study of the suspected introducer in a quarantine laboratory and a firm belief that the agent will only affect the target organism. The level of study of the local fauna in many cases allows us to find the necessary agents among it according to the specified parameters, without making additional changes to the existing biodiversity. In the future, the natural population can be purposefully changed to optimize the technological processes of development and use of the entomophage.

Acknowledgements

The author expresses his sincere gratitude to all those who provided support in conducting these studies: all specialists of the Biological Method Department of VNIICR, current and former; chief agronomist for plant protection of the agroholding “Moskovsky” O.V. Volkova, head of the biolaboratory of ZAO “Belaya Dacha” G.N. Gumennaya, head of OOO APK “Agroecoscience” M.A. Shiltsova, head of the laboratory of the Russian Republican Station for Plant Protection L.B. Tkacheva, head of the laboratory of acarology and entomology of VNIIF I.N. Yakovleva and senior researcher of the laboratory Yu.I. Meshkov.

Special gratitude is given to the former head of the Biological Method Department of VNIICR, Sergei Sergeevich Izhevsky, who provided comprehensive assistance in this and other endeavors.

REFERENCES

1. Agasyeva I.S., Ismailov V.Ya., Nefedova M.V., Fedorenko E.V. The species composition and bioregulatory activity of entomophages in potato pest control system (*Solanum tuberosum* L.) [Vidovoy sostav i bioregulyatornaya aktivnost entomofagov v sisteme upravleniya chislennostyu vreditel'ey kartofelya] // Agricultural Biology. 2016; 51-3: 401–403. (In Russ.)
2. Volkov O.G. *Picromerus bidens* L. as a new means of controlling leaf-eating insects in protected ground [Picromerus bidens L. kak novoye sredstvo kontrolya

что агент будет оказывать воздействие только на целевой организм. Уровень изученности местной фауны во многих случаях позволяет находить среди нее необходимых агентов по заданным параметрам, не внося дополнительных изменений в существующее биоразнообразие. В дальнейшем природную популяцию можно направленно изменить для оптимизации технологических процессов наработки и применения энтомофага.

Благодарность

Автор выражает искреннюю благодарность всем, кто оказывал поддержку в проведении данных исследований: всем сотрудникам отдела биометода ВНИИКР, настоящим и бывшим; главному агроному по защите растений агрохолдинга «Московский» О. В. Волковой, начальнику биологической лаборатории ЗАО «Белая Дача» Г. Н. Гуменной, руководителю ООО АПК «Агроэкосайенс» М. А. Шильцовой, начальнику лаборатории Российской республиканской станции защиты растений Л. Б. Ткачевой, заведующей лабораторией акарологии и энтомологии ВНИИФ И. Н. Яковлевой и старшему научному сотруднику лаборатории Ю. И. Мешкову.

Особую благодарность автор выражает бывшему начальнику отдела биологического метода ВНИИКР Сергею Сергеевичу Ижевскому, оказавшему всестороннюю помощь в этом и в других начинаниях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агасьева И.С., Исмаилов В.Я., Нефедова М.В., Федоренко Е.В. Видовой состав и биорегуляторная активность энтомофагов в системе управления численностью вредителей картофеля (*Solanum tuberosum* L.) // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 3. С. 401–403.
2. Волков О.Г. *Picromerus bidens* L. как новое средство контроля листогрызущих насекомых в защищенном грунте. // «Гавриш». 1998. № 3. С. 15–17.
3. Волков О.Г. Некоторые проблемы сохранения культур насекомых на примере пикромеруса двузубчатого *Picromerus bidens* L. (Hemiptera, Pentatomidae, Asopinae) // В кн.: Беспозвоночные животные в коллекциях зоопарков и инсектариумов. Материалы Четвертого Международного семинара, г. Москва, 18–23 октября 2010 г. М. 2011. С. 79–81.
4. Волков О.Г., Смирнов Ю.В. 2014. Культура паразитоида *Telenomus chloropus* Thoms. – яйцеда клопа вредной черепашки *Eurygaster integriceps* Pat. на яйцах хищного клопа *Picromerus bidens* L. // В сб.: Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Выпуск 8. Материалы международной научно-практической конференции: «Инновационные технологии применения биологических средств защиты растений в производстве органической сельскохозяйственной продукции». Краснодар. С. 216–219.
5. Волков О.Г., Ткачева Л.Б. Энтомофаг колорадского жука – пикромерус двузубчатый // Защита растений. 1997. № 3. С. 30.
6. Волков О.Г., Ткачева Л.Б., Борисова И.П. Пикромерус двузубчатый – перспективный энтомофаг листогрызущих вредителей. // В кн. Экологизация сельскохозяйственного производства Северо-Кавказского региона. Анапа. 1995. С. 79–81.

listogryzushchikh nasekomykh v zashchishchennom grunte] // «Gavrish». 1998; 3: 15–17. (In Russ.)

3. Volkov O.G. Some problems of preserving insect cultures on the example of *Picromerus bidens* L. (Hemiptera, Pentatomidae, Asopinae) [Nekotoryye problemy sokhraneniya kul'tur nasekomykh na primere pikromerusa dvuzubchatogo *Picromerus bidens* L. (Hemiptera, Pentatomidae, Asopinae)] // In the book: Invertebrates in the collections of zoos and insectariums. Proceedings of the Fourth International Seminar, Moscow, October 18–23, 2010. Moscow, 2011: 79–81. (In Russ.)

4. Volkov O.G., Smirnov Yu.V. Culture of the parasitoid *Telenomus chloropus* Thoms. – egg-eater of *Eurygaster integriceps* Pat. on the eggs of the predatory bug *Picromerus bidens* L. [Kul'tura parazitoida *Telenomus chloropus* Thoms. – yaysyeda klopa vrednoy cherepashki *Eurygaster integriceps* Pat. na yaysakh khishchnogo klopa *Picromerus bidens* L.] // In the collection: Biological plant protection – the basis for stabilizing agroecosystems. Issue 8. Proceedings of the international scientific and practical conference: “Innovative technologies for the use of biological plant protection products in the production of organic agricultural products”. Krasnodar. 2014: 216–219. (In Russ.)

5. Volkov O.G., Tkacheva L.B. Entomophage of the Colorado potato beetle – *Picromerus bidens* [Entomofag koloradskogo zhuka – pikromerus dvuzubchatyy] // Plant Protection. 1997; 3: 30. (In Russ.)

6. Volkov O.G., Tkacheva L.B., Borisova I.P. *Picromerus bidens* – a promising entomophage of leaf-eating pests [Pikromerus dvuzubchatyy – perspektivnyy entomofag listogryzushchikh vreditel'ey] // In the book Greening of agricultural production in the North Caucasus region. Anapa. 1995: 79–81. (In Russ.)

7. Gumennaya G.N. Complex for the production of biological plant protection products ZAO Belaya Dacha [Kompleks po proizvodstvu biologicheskikh sredstv zashchity rasteniy ZAO “Belaya Dacha”] // Gavrish, 2002; 5: 24–25. (In Russ.)

8. Gusev G.V., Shmetzer N.V., Zayats Yu.V., Perepelitsa L.V. Methodical instructions for breeding and storing *Podisus maculiventris* [Metodicheskiye ukazaniya po razvedeniyu i khraneniyyu khishchnogo klopa podizusa]. L.: VIZR. 1982. 17 p. (In Russ.)

9. Ziskind L.A., Izhevskiy S.S., Rybak V.L. 1989. Use of the predatory bug *Podisus maculiventris* against the Colorado potato beetle on eggplant [Ispol'zovaniye khishchnogo klopa podizusa protiv koloradskogo zhuka na baklazhane]. Moscow: Agropromizdat. 5 p. (In Russ.)

10. Izhevskiy S.S. Introduction and use of entomophages [Introduktsiya i primeneniye entomofagov]. Moscow: Agropromizdat, 1990, 223 p. (In Russ.)

11. Izhevskiy S.S., Ziskind L.A., Filippov N.A. Methodical instructions for breeding and production testing of the predatory bug *Podisus maculiventris* against the Colorado potato beetle on early potatoes and eggplants [Metodicheskiye ukazaniya po razvedeniyu i proizvodstvennomu ispytaniyu khishchnogo klopa podizusa protiv koloradskogo zhuka na rannem

7. Гуменная Г.Н., 2002. Комплекс по производству биологических средств защиты растений ЗАО «Белая Дача» // Гавриш, № 5. С. 24–25.
8. Гусев Г.В., Шметцер Н.В., Заяц Ю.В., Перепелица Л.В. Методические указания по разведению и хранению хищного клопа подизуса. Л.: ВИЗР. 1982. 17 с.
9. Зискинд Л.А., Ижевский С.С., Рыбак В.Л. 1989. Использование хищного клопа подизуса против колорадского жука на баклажанах. М.: «Агропромиздат». 5с.
10. Ижевский С.С. Интродукция и применение энтомофагов. М.: Агропромиздат, 1990, 223 с.
11. Ижевский С.С., Зискинд Л.А., Филиппов Н.А. Методические указания по разведению и производственному испытанию хищного клопа подизуса против колорадского жука на раннем картофеле и баклажанах. М.: Тип. ВАСХНИЛ, 1984, 28 с.
12. Иосифов М.В. Фауна на България. 12. Heteroptera, Pentatomoidea. София: Издательство на Българската Академия на науките. 1981. 206 с.
13. Кержнер И.М. Подсем. Asopinae. // В кн. «Определитель насекомых Европейской части СССР. Т. I. М.-Л., изд. «Наука». 1964. С. 844–845.
14. Кириченко А.Н. Настоящие полужесткокрылые Европейской части СССР. М.-Л.; изд. АН СССР. 1951. 424 с.
15. Коломиец Н.Г. Паразиты и хищники сибирского шелкопряда. Новосибирск. Изд. СО АН СССР. 1962. 176 стр.
16. Лебедева Н.В., Дроздов Н.Н., Криволицкий Д.А. Биологическое разнообразие. 2004. М.: Гуманитарный издательский центр «Владос», 432 с.
17. Мусолин Д.Л. 1996. Фотопериодическая индукция эстивации у щитника двузубчатого (*Picromerus bidens* L.) // Зоологический журнал. Т. 75. Вып. 12. С. 1901–1903.
18. Мусолин Д.Л. 1997. Сезонные циклы полужесткокрылых (Heteroptera): разнообразие и экологическая регуляция: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПбГУ. 19 с.
19. Николаева А.М. Полужесткокрылые Мещерской низины // Труды Окского государственного природного заповедника. Вып. 25. Рязань. 2006. 231 с.
20. Поспелов С.М. Совки – вредители сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат. 1989. 112 с.
21. Пучков В.Г. Фауна Украины. Щитники. Киев: Наукова думка. 1961. 338 с.
22. Рубцов И.А. Биологический метод борьбы с вредными насекомыми. М.-Л.: Огиз Сельхозгиз, 1948, 412 с.
23. Сергеева Ю.А., Долмонево С.О. Применение *Ooencyrtus kuvanae* Howard против непарного шелкопряда // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 3. С. 69–83.
24. Штерншиш М.В., Андреева И.В., Томилова О.Г. Биологическая защита растений. Учебник. СПб: Издательство «Лань», 2018, 332 с.
25. Clausen C.P. Entomophagous insects. New York-London: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1940, 688 p.
26. Čokl A., Žunič A., Virant-Doberlet M. Predatory bug *Picromerus bidens* communicates at different frequency levels // Central European Journal of Biology, 2011. Vol. 6, Issue 3. P. 431–439.
27. kartofele i baklazhanakh]. Moscow: VASKhNIL, 1984, 28 p. (In Russ.)
12. Iosifov M.V. Fauna in Bulgaria. 12. Heteroptera, Pentatomoidea. Sofia: Publishing house on Bulgarskata Academy on Naukite. 1981. 206 p. (In Russ.)
13. Kerzhner I.M. Subfamily Asopinae. // In the book “Key to insects of the European part of the USSR. T. I. M.-L., ed. “Science”. 1964: 844–845. (In Russ.)
14. Kirichenko A.N. True Hemiptera of the European part of the USSR [Nastoyashchiye poluzhestkokrylyye Yevropeyskoy chasti SSSR]. Moscow-Leningrad; ed. USSR Academy of Sciences. 1951. 424 p. (In Russ.)
15. Kolomiets N.G. Parasites and predators of *Dendrolimus superans* [Parazity i khishchniki sibirskogo shelkopryada]. Novosibirsk Ed. Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. 1962. 176 p. (In Russ.)
16. Lebedeva N.V., Drozdov N.N., Krivolutsky D.A. Biological diversity [Biologicheskoye raznoobraziye]. 2004. M.: Humanitarian Publishing Center «Vlados», 432 p. (In Russ.)
17. Musolin D.L. Photoperiodic induction of aestivation in *Picromerus bidens* L. [Fotoperiodicheskaya induktsiya estivatsii u shchitnika dvuzubchatogo (*Picromerus bidens* L.)] // Zoological journal. 1996; 75–12: 1901–1903. (In Russ.)
18. Musolin D.L. 1997. Seasonal cycles of Heteroptera: diversity and ecological regulation [Sezonnyye tsikly poluzhestkokrylykh (Heteroptera): raznoobraziye i ekologicheskaya regulyatsiya]: Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation. St. Petersburg State University. 19 p. (In Russ.)
19. Nikolaeva A.M. Hemiptera of the Meshchera Lowland [Poluzhestkokrylyye Meshcherskoy niziny] // Works of the Oka State Nature Reserve. Ryazan. 2006; 25: 231 p. (In Russ.)
20. Pospelov S.M. Noctuidae – pests of agricultural crops [Sovki – vrediteli sel'skokhozyaystvennykh kul'tur]. Moscow: Agropromizdat. 1989. 112 p. (In Russ.)
21. Puchkov V.G. Fauna of Ukraine. Pentatomoidea [Fauna Ukrainy. Shchitniki]. Kyiv: Naukova Dumka. 1961. 338 p. (In Russ.)
22. Rubtsov I.A. Biological pest control method [Biologicheskyy metod bor'by s vrednymi nasekomymi]. Moscow-Leningrad: Ogiz Selkhozgiz, 1948, 412 p. (In Russ.)
23. Sergeeva Yu.A., Dolmonego S.O. Using *Ooencyrtus kuvanae* Howard against gypsy moth [Primeneniye Ooencyrtus kuvanae Howard protiv neparnogo shelkopryada] // News of universities. Forestry journal. 2023; 3: 69–83. (In Russ.)
24. Shternshis M.V., Andreeva I.V., Tomilova O.G. Biological protection of plants [Biologicheskaya zashchita rasteniy]. Textbook. St. Petersburg: Lan Publishing House, 2018, 332 p. (In Russ.)
25. Clausen C.P. Entomophagous insects. New York-London: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1940, 688 p.
26. Čokl A., Žunič A., Virant-Doberlet M. Predatory bug *Picromerus bidens* communicates at different frequency levels // Central European Journal of Biology, 2011. Vol. 6, Issue 3. P. 431–439.

27. Huffaker C.B. (Edited) Biological control. New York-London: Plenum Press, 1971, 511 p.
28. Koch R.L., Venette R.C., Hutchison W.D. Invasions by *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) in the Western Hemisphere: implications for South America. // Neotropical Entomology. 2006. Vol. 35(4). P. 421–434.
29. Lariviere M.-C., Larochelle A. *Picromerus bidens* (Hemiptera: Pentatomidae) in North America, with a world review of distribution and bionomics // Entomol. News. 1989: V. 100. N. 4 P. 133–146.
30. Mayne R., Breny R. Predateurs et parasites du doryphore. // Bull. Inst. Agron. Lembloux. 1940. Vol. 9, N. 1–4, P. 60–80.
31. Mayne R., Breny R. *Picromerus bidens* L. La vielarvaile au premier age. // Parasitica. 1948. Vol. 4. P. 1–20.
32. Musolin D. L. Photoperiodic Induction of Aestivation in the Stink Bug *Picromerus bidens* (Heteroptera, Pentatomidae). A Preliminary Report. // Entomological Review. 1996. Vol. 76, No. 8. P. 1058–1060.
33. Musolin D.L. & Saulich A.H. Summer dormancy ensures univoltinism in the predatory bug *Picromerus bidens*. // Entomologia Experimentalis et Applicata. 2000. Vol. 95. P. 259–267.
34. Oshanin B. Verzeichnis der palaearktischen Hemipteren mit besonderer Berücksichtigung ihrer Verteilung im Russische Reiche. // Приложение к «Ежегоднику Зоологического музея Императорской академии наук», 1906. Т. XI, Bd. I, Lieferung 1. St.-Petersburg. I–LXXIV + 394 S.
35. Ramsay A. J. Habitat preference and distribution of *Rhacognathus punctatus* (Hemiptera: Pentatomidae) in Wales // British Journal of Entomology & Natural History. 2013. Vol. 26. P. 91–95.
36. Schumacher F. 1910. Beiträge zur Kenntnis der Biologie der Asopiden. // Zeitschr. f. Wiss. Insectenbiologie. T. 6. Bd. 11. 263–266 S.
37. Thomas B. Taxonomic synopsis of the Old World asopine genera (Heteroptera: Pentatomidae) // Insecta mundi, 1994. Vol.8. No 3–4. P. 145–212.
38. van Lenteren J. The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake // BioControl. 2012. Vol. 57(1). P. 1–20.
39. Volkov O. 2006. Application of the predatory bugs for the control of the leaf-gnawing pests in Russian federation // In book: New Achievements in Biological Control of Plant Diseases. Bydgoszcz, Poland. P. 28–29.
40. Volkov O. G., Meshkov Y. I. & Yakovleva I. N. Development and Predation of *Picromerus bidens* (Hemiptera: Pentatomidae) on *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) // Russian Entomological Journal. 2013. Vol. 22 (1). P. 43–50.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Волков Олег Геннадьевич, агроном научно-методического отдела энтомологии ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; ORCID ID: 0000-0002-1539-0342; e-mail: volkovog@mail.ru

27. Huffaker C.B. (Edited) Biological control. New York-London: Plenum Press, 1971, 511 p.
28. Koch R.L., Venette R.C., Hutchison W.D. Invasions by *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) in the Western Hemisphere: implications for South America. // Neotropical Entomology. 2006. Vol. 35(4). P. 421–434.
29. Lariviere M.-C., Larochelle A. *Picromerus bidens* (Hemiptera: Pentatomidae) in North America, with a world review of distribution and bionomics // Entomol. News. 1989: V. 100. N. 4 P. 133–146.
30. Mayne R., Breny R. Predateurs et parasites du doryphore. // Bull. Inst. Agron. Lembloux. 1940. Vol. 9, N. 1–4, P. 60–80.
31. Mayne R., Breny R. *Picromerus bidens* L. La vielarvaile au premier age. // Parasitica. 1948. Vol. 4. P. 1–20.
32. Musolin D. L. Photoperiodic Induction of Aestivation in the Stink Bug *Picromerus bidens* (Heteroptera, Pentatomidae). A Preliminary Report. // Entomological Review. 1996. Vol. 76, No. 8. P. 1058–1060.
33. Musolin D.L. & Saulich A.H. Summer dormancy ensures univoltinism in the predatory bug *Picromerus bidens*. // Entomologia Experimentalis et Applicata. 2000. Vol. 95. P. 259–267.
34. Oshanin B. Verzeichnis der palaearktischen Hemipteren mit besonderer Berücksichtigung ihrer Verteilung im Russische Reiche. // Приложение к «Ежегоднику Зоологического музея Императорской Академии Наук», 1906. Т. XI, Bd. I, Lieferung 1. St.-Petersburg. I – LXXIV + 394 S.
35. Ramsay A. J. Habitat preference and distribution of *Rhacognathus punctatus* (Hemiptera: Pentatomidae) in Wales // British Journal of Entomology & Natural History. 2013. Vol. 26. P. 91–95.
36. Schumacher F. 1910. Beiträge zur Kenntnis der Biologie der Asopiden. // Zeitschr. f. Wiss. Insectenbiologie. T. 6. Bd. 11. 263–266 S.
37. Thomas B. Taxonomic synopsis of the Old World asopine genera (Heteroptera: Pentatomidae) // Insecta mundi, 1994. Vol.8. No 3–4. P. 145–212.
38. van Lenteren J. The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake // BioControl. 2012. Vol. 57(1). P. 1–20.
39. Volkov O. 2006. Application of the predatory bugs for the control of the leaf-gnawing pests in Russian federation // In book: New Achievements in Biological Control of Plant Diseases. Bydgoszcz, Poland. P. 28–29.
40. Volkov O. G., Meshkov Y. I. & Yakovleva I. N. Development and Predation of *Picromerus bidens* (Hemiptera: Pentatomidae) on *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) // Russian Entomological Journal. 2013. Vol. 22 (1). P. 43–50.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Oleg Volkov, Agronomist, Research and Methodology Department of Entomology, FGBU “VNIKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; ORCID 0000-0002-1539-0342, e-mail: volkovog@mail.ru

Мониторинг развития болезней на сортах озимой пшеницы Центрального Нечерноземья. Научные и практические аспекты

* САНИН С.С.¹, САНДУХАДЗЕ Б.И.², МАМЕДОВ Р.З.³, КАРЛОВА Л.В.⁴, КОРНЕВА Л.Г.⁵, РУЛЕВА О.М.⁶

^{1, 4, 5, 6} ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (ФГБНУ ВНИИФ), р. п. Большие Вяземы, Одинцовский р-н, Московская обл., Россия, 143050
^{2, 3} ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (ФИЦ «Немчиновка») г. Москва, Россия, 121205

¹ e-mail: sanin@vniif.ru

² e-mail: sanduchadze@mail.ru

³ e-mail: mam-ramin@yandex.ru

⁴ e-mail: lkarlova@vniif.ru

⁵ e-mail: korneva.lubov@yandex.ru

⁶ e-mail: rulyova@vniif.ru

АННОТАЦИЯ

Разработана и более 20 лет эксплуатируется система мониторинга болезней озимой пшеницы в Центральной Нечерноземной зоне России. Изучен состав патогенных комплексов. Посевы пшеницы в регионе поражают более 20 болезней грибной, вирусной и бактериальной этиологии. Наибольшее распространение имеют корневые и прикорневые гнили фузариозной этиологии (*Fusarium* spp.), септориоз листьев (*Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous), бурая ржавчина (*Puccinia tritici* (Erikss.), мучнистая роса (*Blumeria graminis* (D) Speer.), септориоз колоса (*Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvlieg, Verkley & Crous). Они проявляются практически ежегодно. Несколько меньшее распространение имеют снежная плесень (*Microdochium nivale* (Fries) Samuels & I.C. Hallett), гельминтоспориозные корневые гнили (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.), пиренофороз листьев (*Pyrenophora tritici-repentis* (Drechs) Roberge ex), фузариоз (*Fusarium* spp.) и чернь колоса (*Alternaria* spp., *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link). На мониторинговых тестовых участках (ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка») по специально разработанной методике изучались особенности развития наиболее опасных листостебельных и колосовых инфекций на районированных в регионе сортах озимой пшеницы. Определялись частота проявления разных классов (уровней) развития болезней: эпифитотии, умеренное развитие, депрессии; рассчитывались числовые индексы классов развития – количество проявлений за 10 лет наблюдений. Сорта характеризовались разной «сопротивляемостью»

Monitoring the development of diseases on winter wheat varieties of the Central Non-Black Earth Region. Scientific and practical aspects.

* SERGEY S. SANIN¹, BAGRAT I. SANDUKHADZE², RAMIN Z. MAMEDOV³, LARISA V. KARLOVA⁴, LIUBOV G. KORNEVA⁵, OLGA M. RULEVA⁶

^{1, 4, 5, 6} All-Russian Research Institute of Phytopathology (FGBNU “VNIIF”), Bolshiye Vyazemy, Odintsovsky District, Moscow Oblast, Russia, 143050

^{2, 3} Federal Research Center “Nemchinovka” (FRC “Nemchinovka”) Moscow, Russia, 121205

¹ e-mail: sanin@vniif.ru

² e-mail: sanduchadze@mail.ru

³ e-mail: mam-ramin@yandex.ru

⁴ e-mail: lkarlova@vniif.ru

⁵ e-mail: korneva.lubov@yandex.ru

⁶ e-mail: rulyova@vniif.ru

ABSTRACT

A system for monitoring winter wheat diseases in the Central Non-Black Earth Zone of Russia has been developed and has been in operation for over 20 years. The composition of pathogenic complexes has been studied. Wheat crops in the region are affected by over 20 diseases of fungal, viral and bacterial etiology. The most widespread are root and basal rots of fusarium etiology (*Fusarium* spp.), septoria leaf spot (*Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous), brown rust of wheat (*Puccinia tritici* (Erikss.), powdery mildew of cereals (*Blumeria graminis* (D) Speer.), glume blotch of wheat (*Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvlieg, Verkley & Crous). They occur almost every year. Somewhat less common are snow mould of cereals (*Microdochium nivale* (Fries) Samuels & I.C. Hallett), root rot of cereals (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.), tan spot of wheat (*Pyrenophora tritici-repentis* (Drechs) Roberge ex), *Fusarium* spp. and black mould of cereals (*Alternaria* spp., *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link). On monitoring test plots (All-Russian Research Institute of Phytopathology, Federal Research Center “Nemchinovka”), using a specially developed methodology, the features of the development of the most dangerous leaf-stem and ear infections on winter wheat varieties zoned in the region were studied. The frequency of manifestation of different classes (levels) of disease development was determined: epiphytotic, moderate development,

эпифитотийному развитию болезней. У септориоза листьев эпифитотийный индекс варьировал от 2 (Немчиновская-85) до 10 (Инна), у бурой ржавчины – от 0 (Немчиновская-24 и др.) до 6 (Памяти Федина и др.), у септориоза колоса – от 0 (Московская-27 и др.) до 2 (Инна и др.). В связи с разной подверженностью того или иного сорта эпифитотийному развитию болезней необходима и разная интенсивность его защиты. С использованием разработанных математических моделей рассчитаны потери урожая зерна от болезней. Потери урожая в среднем по сортам составляли от 9,8 (Московская-82) до 17,2% (Памяти Федина); при варьировании в годы испытаний – от 2,0 до 29,0%. Составлены рейтинги сортов, районированных в Центральном Нечерноземье, по урожаю, пораженностью наиболее опасными болезнями и потерями урожая зерна. Наиболее высокую и стабильную урожайность в годы исследований показали сорта Московская-27, Немчиновская-57, Московская-82, Немчиновская-85, Немчиновская-24. Средний урожай этих сортов составлял от 67,3 до 75,3 ц/га; в отдельные годы он достигал 100 ц/га и более. Эти сорта характеризовались более низкой пораженностью болезнями и потерями урожая. Их возделывание в составе многосортных полигенных ценозов (мозаики сортов) позволит снижать риск эпифитотийного развития как эндемичных (местных), так и экзодемичных инфекций, привносимых из других регионов страны или из других стран.

Ключевые слова. Индекс развития болезни, эпифитотия, пораженность, устойчивость, рейтинг, толерантность.

ВВЕДЕНИЕ



Проблемы мониторинга окружающей среды и сам термин «мониторинг» впервые получили широкое мировое обсуждение в 1971 г. на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде. Под мониторингом предлагалось понимать наблюдения за одним или

несколькими элементами окружающей природной среды во времени и в пространстве с определенными целями в соответствии с определенными программами. С этого времени мониторинг как система слежения за состоянием объектов среды получил широкое распространение и применение во многих сферах человеческой деятельности и, в частности, в сельскохозяйственной науке и сельскохозяйственном производстве.

Центральная Нечерноземная зона РФ с начала 70-х годов прошлого столетия стала входить в число ведущих производителей зерна озимой пшеницы в России. Этому способствовали успехи ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (ФИЦ «Немчиновка»), где под руководством академика Б. И. Сандухадзе и заведующего лабораторией селекции озимой пшеницы Р. З. Мамедова создаются высокоурожайные сорта

depression; numerical indices of development classes were calculated – the number of manifestations over 10 years of observations. The varieties were characterized by different “resistance” to epiphytotic development of diseases. The epiphytotic index of leaf septoria varied from 2 (Nemchinovskaya-85) to 10 (Inna), of brown rust – from 0 (Nemchinovskaya-24, etc.) to 6 (Pamyati Fedin, etc.), of ear septoria – from 0 (Moskovskaya-27, etc.) to 2 (Inna, etc.). Different susceptibility of a particular variety to epiphytotic development of diseases requires different intensity of its protection. Using the developed mathematical models, grain yield losses due to diseases were calculated. Average yield losses by variety ranged from 9.8 (Moskovskaya-82) to 17.2% (Pamyati Fedin); with variations in the testing years – from 2.0 to 29.0%. Ratings of varieties zoned in the Central Non-Black Earth Region were compiled based on yield, incidence of the most dangerous diseases, and grain yield losses. The highest and most stable yields during the years of research were shown by the varieties Moskovskaya-27, Nemchinovskaya-57, Moskovskaya-82, Nemchinovskaya-85, Nemchinovskaya-24. The average yield of these varieties was from 67.3 to 75.3 c/ha; in some years it reached 100 c/ha and more. These varieties were characterized by lower disease incidence and yield losses. Their cultivation as part of multi-varietal polygenic cenoses (variety mosaics) will reduce the risk of epiphytotic development of both endemic (local) and exodemic infections brought from other regions of the country or from other countries.

Key words. Disease development index, epiphytoty, prevalence, resistance, rating, tolerance.

INTRODUCTION



The problems of environmental monitoring and the term “monitoring” itself were first widely discussed worldwide in 1971 at the UN Stockholm Environment Conference.

Monitoring was proposed to be understood as observations of one or more elements of the natural environment in time and space with specific goals in accordance with specific programs. Since then, monitoring as a system for tracking the state of environmental objects has become widespread and applied in many areas of human activity, and in particular in agricultural science and agricultural production.

Since the early 1970s, the Central Non-Black Earth Zone of the Russian Federation has become one of the leading producers of winter wheat grain in Russia. This was facilitated by the successes of the Federal Research Center “Nemchinovka”, where, under the leadership of Academician B. I. Sandukhadze and the head of the winter wheat selection laboratory R. Z. Mamedov, high-yielding varieties of an intensive type

интенсивного типа с высоким качеством зерна. Такие сорта, как Московская-39, Московская-40, Московская-56, Московская-82, Немчиновская-85 позволяют стабильно получать урожай 80–100 ц/га; потенциальная урожайность может составлять 140–150 ц/га (Сандухадзе, 2020). Реализовать такую высокую продуктивность зачастую мешает воздействие негативных факторов окружающей среды и в первую очередь развитие болезней, вредителей, сорных растений.

Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ФГБНУ ВНИИФ) многие годы сотрудничает с ФИЦ «Немчиновка» в проведении ряда исследований и, в частности, мониторинга пораженности сортов озимой пшеницы распространенными в регионе опасными заболеваниями. Необходимость многолетних постоянных наблюдений за пораженностью сортов объединяется, во-первых, тем, что в разные годы при разных погодных условиях болезни проявляются неодинаково и для объективной оценки требуются многократные наблюдения; во-вторых, в результате постоянно протекающих в природе формообразовательных процессов внутривидовые структуры популяции патогенов постоянно меняются, что отражается на состоянии биоценоза и пораженности сортов.

Цель исследований – оптимизация защиты озимой пшеницы от болезней в Центральной Нечерноземной зоне РФ на основе мониторинга пораженности возделываемых сортов.

Для ее достижения решались следующие задачи: изучение состава патогенных комплексов озимой пшеницы на разных этапах ее онтогенеза, определение наиболее опасных патогенов, частоты вспышек их массового развития (эпифитотий) и потерь урожая, сравнительное изучение пораженности возделываемых сортов болезнями и теряемого от них урожая, обоснование сортового состава агроценоза озимой пшеницы и технологий их использования, обеспечивающих длительную устойчивость к комплексу опасных патогенов в Центральном Нечерноземье.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Фитосанитарные мониторинговые исследования ФГБНУ ВНИИФ и ФИЦ «Немчиновка» проводили с 2001 г. Объектами исследований служили сорта озимой пшеницы селекции ФИЦ «Немчиновка», которые составляют основу производственных посевов региона. Элементами мониторинга являлись интенсивность развития болезней, потери урожая зерна от болезней, частота вспышек массового развития (эпифитотий). Местом проведения работ являлись опытные поля отдела полевых испытаний ФГБНУ ВНИИФ (Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Летний Отдых) и посевы конкурсного сортоиспытания ФИЦ «Немчиновка» (г. Москва, Новомосковский административный округ, д. Соколово). Почвы полей – дерново-подзолистые, суглинистые. Предшественниками служили чистый пар, озимая или яровая пшеница одного года возделывания. Обработка почвы – зяблевая вспашка на глубину 20–25 см и предпосевная культивация на глубину 5–8 см. Посев – в оптимальные для региона сроки – с 25 августа по 10 сентября. Нормы высева

с высоким качеством зерна. Такие сорта, как Московская-39, Московская-40, Московская-56, Московская-82, Немчиновская-85 позволяют стабильно получать урожай 80–100 ц/га; потенциальная урожайность может составлять 140–150 ц/га (Сандухадзе, 2020). Реализовать такую высокую продуктивность зачастую мешает воздействие негативных факторов окружающей среды, в первую очередь развитие болезней, вредителей и сорняков.

ФГБНУ ВНИИФ фитопатологии сотрудничает с ФГБНУ ВНИИФ фитопатологии с Федеральным исследовательским центром «Немчиновка» на протяжении многих лет в проведении исследований, в частности мониторинга распространения опасных болезней сортов озимой пшеницы в регионе. Необходимость долгосрочных непрерывных наблюдений за распространением болезней сортов озимой пшеницы обусловлена, во-первых, тем, что в разные годы при разных погодных условиях болезни проявляются по-разному и для объективной оценки требуются многократные наблюдения; во-вторых, в результате постоянно протекающих в природе формообразовательных процессов внутривидовые структуры популяции патогенов постоянно меняются, что отражается на состоянии биоценоза и распространении сортов.

Целью исследований является оптимизация защиты озимой пшеницы от болезней в Центральной Нечерноземной зоне РФ на основе мониторинга пораженности возделываемых сортов.

Для ее достижения решались следующие задачи: изучение состава патогенных комплексов озимой пшеницы на разных этапах ее онтогенеза, определение наиболее опасных патогенов, частоты вспышек их массового развития (эпифитотий) и потерь урожая, сравнительное изучение пораженности возделываемых сортов болезнями и теряемого от них урожая, обоснование сортового состава агроценоза озимой пшеницы и технологий их использования, обеспечивающих длительную устойчивость к комплексу опасных патогенов в Центральном Нечерноземье.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Фитосанитарные мониторинговые исследования ФГБНУ ВНИИФ и ФИЦ «Немчиновка» проводили с 2001 г. Объектами исследований служили сорта озимой пшеницы селекции ФИЦ «Немчиновка», которые составляют основу производственных посевов региона. Элементами мониторинга являлись интенсивность развития болезней, потери урожая зерна от болезней, частота вспышек массового развития (эпифитотий). Местом проведения работ являлись опытные поля отдела полевых испытаний ФГБНУ ВНИИФ (Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Летний Отдых) и посевы конкурсного сортоиспытания ФИЦ «Немчиновка» (г. Москва, Новомосковский административный округ, д. Соколово). Почвы полей – дерново-подзолистые, суглинистые. Предшественниками служили чистый пар, озимая или яровая пшеница одного года возделывания. Обработка почвы – зяблевая вспашка на глубину 20–25 см и предпосевная культивация на глубину 5–8 см. Посев – в оптимальные для региона сроки – с 25 августа по 10 сентября. Нормы высева

семян – 5 млн/га; нормы внесения минеральных удобрений – $N_{48}P_{48}K_{48}$ под предпосевную культивацию и подкормка аммиачной селитрой в фазу кущения (ф. 29–31) из расчета 34,4 кг д. в. / га. Протравливание семян и опрыскивание посевов фунгицидами не проводили. Инфекционный фон болезней – естественный.

Сорта выращивали на делянках 10 м², повторность опыта – четырехкратная.

В фазу молочной спелости зерна (ф. 75) учитывали интенсивность поражения сортов листовыми инфекциями, а в фазу молочно-восковой спелости (ф. 80) – колосовыми. В эти фазы развитие болезней достигает, как правило, максимального уровня. Определение фаз развития растений проводили по шкале Цадокса-Еукарпия (Zadoks J.C et al., 1974).

При учете болезней на каждой делянке в 4 точках осматривали по 20 растений (80 растений каждого сорта). Интенсивность развития листовых инфекций оценивали по средней пораженности 3 листьев верхнего яруса – флагового (F-1), подфлагового (F-2) и третьего сверху (F-3). Развитие стеблевых и колосовых инфекций определяли по средней пораженности соответственно стеблей и колоса. Интенсивность развития болезней (интенсивность поражения) оценивали по проценту площади поверхности того или иного органа растения, на котором отмечены признаки заболевания. Для этого применяли используемые в международной практике методы и шкалы (Санин и др., 2010).

В фазу полного созревания (ф. 91–92) проводили уборку урожая отдельно по каждой опытной делянке с помощью малогабаритных комбайнов.

Для определения потерь урожая от болезней применяли разработанные во ВНИИ фитопатологии математические модели, характеризующие зависимость величины теряемого урожая от интенсивности развития того или иного заболевания (Санин и др., 2018).

На основании данных о пораженности растений и потерь урожая проводили классификацию уровней развития болезней при той или иной складывающейся фитосанитарной ситуации.

Развитие болезней на той или иной агротерритории в практике защиты растений чаще всего классифицируется на три уровня: эпифитотия (эпидемия), умеренное развитие, депрессия. Каждый из этих классов, в зависимости от поражаемой культуры, болезни, назначения исследований, имеет свои определенные характеристические показатели. В табл. 1 представлена разработанная нами классификация уровней развития болезней озимой и яровой пшеницы.

Классификация разработана на основе многолетних экспериментов по оценке экономической эффективности средств и методов защиты пшеницы от болезней. Основу этой оценки составляет такой показатель, как зерновой эквивалент защиты, представляющий собой количество урожая (кг, ц, т/га), который следует сохранить, чтобы окупить затраты на его защиту (Буга, 2013; Санин и др., 2022).

Зерновые эквиваленты (как и определенные на их основе классы уровней развития болезней)

cultivation to a depth of 5–8 cm. Sowing – at the optimal time for the region – from August 25 to September 10. Seed seeding rate – 5 million/ha; mineral fertilizer application rates – $N_{48}P_{48}K_{48}$ for pre-sowing cultivation and ammonium nitrate fertilization in the tillering phase (form. 29–31) at the rate of 34.4 kg active ingredient/ha. Seed treatment and crop spraying with fungicides were not carried out. Infectious disease background – natural.

The varieties were grown on plots of 10 m², the experiment was repeated four times.

In the milky ripeness phase of grain (f. 75), the intensity of damage to varieties by leaf-stem infections was taken into account, and in the milky-wax ripeness phase (f. 80), by ear infections. In these phases, the development of diseases usually reaches its maximum level. The phases of plant development were determined according to the Zadoks growth scale (Zadoks J.C et al., 1974).

When recording diseases, 20 plants (80 plants of each variety) were examined in each plot at 4 points. The intensity of leaf infection development was assessed by the average damage of 3 leaves of the upper tier – flag (F-1), subflag (F-2) and the third from the top (F-3). The development of stem and ear infections was determined by the average damage of stems and ears, respectively. The intensity of disease development (damage intensity) was assessed by the percentage of the surface area of a particular plant organ on which signs of the disease were noted. For this purpose, methods and scales used in international practice were used (Sanin et al., 2010).

In the full ripening phase (f. 91–92), harvesting was carried out separately for each experimental plot using small-sized combines.

To determine crop losses due to diseases, mathematical models developed at the All-Russian Research Institute of Phytopathology were used, characterizing the dependence of the amount of lost crop on the intensity of development of a particular disease (Sanin et al., 2018).

Based on data on plant damage and crop losses, a classification of disease development levels was carried out for a given phytosanitary situation.

The development of diseases in a particular agricultural territory in plant protection practice is most often classified into three levels: epiphytoty (epidemic), moderate development, depression. Each of these classes, depending on the affected crop, disease, and purpose of the research, has its own specific characteristic indicators. Table 1 presents our classification of the levels of development of diseases of winter and spring wheat.

The classification was developed on the basis of many years of experiments to assess the economic efficiency of means and methods of protecting wheat from diseases. The basis of this assessment is such an indicator as the grain equivalent of protection, which is the amount of crop (kg, c, t/ha) that should be preserved in order to recoup the costs of its protection (Buga, 2013; Sanin et al., 2022).

Табл. 1. Классификация уровней развития болезней озимой и яровой пшеницы по степени поражения растений (%) и потерям урожая зерна (%)

Table 1. Classification of the levels of development of diseases of winter and spring wheat by the degree of damage to plants (%) and grain yield losses (%)

Класс уровня развития болезни Disease development level class	Урожайность, ц/га Productivity, c/ha					
	21–40		41–60		61–80	
	Степень поражения растений, % Plants damage degree, %	Потери урожая, % Crop losses, %	Степень поражения растений, % Plants damage degree, %	Потери урожая, % Crop losses, %	Степень поражения растений, % Plants damage degree, %	Потери урожая, % Crop losses, %
Эпифитотия (эпидемия)* Epiphytoty (epidemic)*	> 40	> 20	> 30	> 10	> 20	> 5
Умеренное развитие Moderate development	20–40	10–20	10–30	5–10	5–20	3–5
Депрессия Depression	< 20	< 10	< 10	< 5	< 5	< 3

* Принят за рубежом * Accepted abroad

зависят от урожая, его качества, ценовых показателей урожая, затрат на защиту и др.

С позиции фитосанитарии под эпифитотией (эпидемией) следует понимать массовое развитие болезней растений на той или иной территории, приводящее к снижению урожая или/и его качества, когда требуется проведение защитных мероприятий и они являются экономически оправданными.

На основе данных многолетнего мониторинга пораженности рассчитывали числовые индексы уровней (классов) развития болезней. Индексы представляют собой количество лет из каждых 10 с тем или иным классом пораженности (эпифитотия, умеренное развитие, депрессия).

Индекс развития определяется по формуле:

$$I_R = \frac{R \cdot 10}{n},$$

где I_R – индекс развития;

R – количество лет того или иного класса пораженности за годы наблюдений;

n – количество лет наблюдений.

Индекс развития болезни является важным показателем, характеризующим фитосанитарную ситуацию, складывающуюся в том или ином регионе, и фитосанитарные особенности возделываемых сортов.

Результаты учетов пораженности, оценки урожая и потерь урожая подвергали статистической обработке. Определяли средние значения показателей, варьирования или ошибки средних для заданного уровня вероятности, рассчитывали коэффициенты корреляции и другие статистические показатели (Доспехов, 2015).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе маршрутных обследований производственных посевов, ежегодно проводимых сотрудниками ФГБНУ ВНИИФ, установлено, что озимую пшеницу в Центральном Нечерноземье поражают более 20 болезней грибной, вирусной и бактериальной этиологии (см. табл. 2).

Наибольшее распространение в регионе имеют корневые и прикорневые гнили фузариозной

Grain equivalents (as well as classes of disease development levels determined on their basis) depend on the harvest, its quality, price indicators of the harvest, costs of protection, etc.

From the standpoint of phytosanitary, epiphytoty (epidemic) should be understood as the mass development of plant diseases in a particular territory, leading to a decrease in the yield and/or its quality, when protective measures are required and they are economically justified.

Based on the data of long-term monitoring of infestation, numerical indices of the levels (classes) of disease development were calculated. The indices represent the number of years out of every 10 with a particular class of infestation (epiphytoty, moderate development, depression).

The development index is determined by the formula:

$$I_R = \frac{R \cdot 10}{n},$$

where I_R – development index;

R – the number of years of a particular class of infestation over the years of observation;

n – observation years number.

The disease development index is an important indicator characterizing the phytosanitary situation in a particular region and the phytosanitary characteristics of cultivated varieties.

The results of the infestation counts, yield assessments and yield losses were subjected to statistical processing. The average values of the indicators, variations or errors of the averages for a given level of probability were determined, correlation coefficients and other statistical indicators were calculated (Dospikhov, 2015).

RESULTS AND DISCUSSION

During route surveys of production crops, annually conducted by specialists of the FGBNU "VNIIF", it was

Табл. 2. Болезни озимой пшеницы Центрального района Нечерноземной зоны России (2001–2024)

Table 2. Winter wheat diseases of in the Central region of the Non-Black Earth zone of Russia (2001–2024)

Название Name	Возбудители Agent		Распро- странение* Distribution*
БОЛЕЗНИ ВСХОДОВ НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА DISEASES OF SEEDLINGS AT EARLY STAGES OF ONTOGENESIS			
Фузариозная корневая гниль	Fusarium root rot	<i>Fusarium</i> spp.	***
Гельминтоспориозная корневая гниль	Root rot of cereals	<i>Bipolaris sorokiniana</i> (Sacc.)	*
Офиоболезная корневая гниль	Crown sheath rot of rice	<i>Ophiobolus graminis</i> (Sacc.)	*
Церкоспоррелезная прикорневая гниль	Eyespot of cereals	<i>Oculimacula yallundae</i> (Walker & Spooner) Crous & Bams	*
Ризоктониозная прикорневая гниль	Sharp eye-spot of cereals	Rhizoctonia cerealis van der Hoeven	*
Фузариозная прикорневая гниль	Fusarium root rot	<i>Fusarium</i> spp.	***
БОЛЕЗНИ ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНОВ (ЛИСТЬЯ, СТЕБЛИ) DISEASES OF VEGETATIVE ORGANS (LEAVES, STEMS)			
Снежная плесень	Snow mould of cereals	<i>Microdochium nivale</i> (Fries) Samuels & I.C. Hallett	**
Септориоз листьев	Septoria leaf spot	<i>Zymoseptoria tritici</i> (Desm.) Quaedylieg & Crous	***
Пиренофороз листьев	Tan spot of wheat	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i> (Drechs) Roberge ex	*
Бурая ржавчина	Brown rust of wheat	<i>Puccinia triticina</i> (Erikss.)	***
Желтая ржавчина	Yellow rust of wheat	<i>Puccinia striiformis</i> (West).	*
Стеблевая ржавчина	Black stem rust of cereals	<i>Puccinia graminis</i> (Pers.)	*
Мучнистая роса	Powdery mildew of cereals	<i>Blumeria graminis</i> (D) Speer.	***
БОЛЕЗНИ КОЛОСА EAR DISEASES			
Септориоз колоса	Glume blotch of wheat	<i>Parastagonospora nodorum</i> (Berk.) Quaedvlieg, Verkley & Crous	***
Фузариоз колоса	Fusarium head blight	<i>Fusarium</i> spp.	**
Чернь колоса	Black mould of cereals	<i>Alternaria</i> spp., <i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	**
Головня (твердая, пыльная)	Common bunt of wheat	<i>Tilletia tritici</i> , <i>Ustilago tritici</i> (Pers.) C.N. Jensen, Kellerm & Swingle	*
Желтая карликовость ячменя – ВЖКЯ	Barley yellow dwarf virus	<i>Barley yellow dwarf virus</i> (BYDV)	*
Штриховатая мозаика ячменя	Barley stripe mosaic virus	<i>Barley stripe mosaic virus</i> – BSMV	*
Базальный бактериоз	Basal glume rot of wheat	<i>Pseudomonas syringae</i> p v. <i>atro faciens</i> (Mc Culluch) Young, Dye & Wilkie	*
Черный бактериоз	Bacterial leaf streak of barley	<i>Xanthomonas campestris</i> p v. <i>translucens</i> (Jones, Jonson and Reddy) Dye	*

* На отдельных полях редко

** Повсеместно в отдельные годы

*** Повсеместно ежегодно

* Rarely in sepearte fields

** Everywhere in some years

*** Everywhere annually

этиологии (*Fusarium* spp.), септориоз листьев (*Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous), бурая ржавчина (*Puccinia triticina* (Erikss.), мучнистая роса (*Blumeria graminis* (D) Speer.), септориоз колоса (*Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvlieg, Verkley & Crous). Они отмечаются повсеместно практически ежегодно, принимая зачастую характер эпифитотий.

Несколько меньшее распространение и более слабое развитие имеют снежная плесень (*Microdochium nivale* (Fries) Samuels & I.C. Hallett), гельминтоспориозные корневые гнили (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.), пиренофороз листьев (*Pyrenophora tritici-repentis* (Drechs) Roberge ex), фузариоз (*Fusarium* spp.) и чернь колоса (*Alternaria* spp., *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link).

Другие заболевания, отмеченные в таблице, встречаются эпизодически в отдельные годы на отдельных полях и не причиняют хозяйственно значимый урон урожаю.

Годы наблюдений существенно различались по погодным факторам, влияющим на развитие болезней. Неодинаковыми были условия как в осенне-зимний период, когда формируются потенциалы (запасы) инфекций, так и в весенне-летний, когда эти потенциалы реализовываются.

Годы различались температурой воздуха зимой, высотой снежного покрова, температурой и относительной влажностью воздуха в весенне-летние месяцы, количеством осадков, частотой выпадения осадков и другими факторами. Это, естественно, сказывалось на представленности болезней по годам и интенсивности их развития на возделываемых в регионе сортах.

В качестве подтверждения сказанному, на рис. 1 показаны данные мониторинга развития листостебельных и колосовых болезней озимой пшеницы на сорте Московская-39 за период с 2015 по 2024 г.

Сорт Московская-39 широко распространен в Нечерноземной зоне России, характеризуется

established that winter wheat in the Central Non-Black Earth Region is affected by more than 20 diseases of fungal, viral and bacterial etiology (see Table 2).

The most widespread diseases in the region are root and basal rots of fusarium etiology (*Fusarium* spp.), septoria leaf spot (*Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous), brown rust of wheat (*Puccinia triticina* (Erikss.), powdery mildew of cereals (*Blumeria graminis* (D) Speer.), glume blotch of wheat (*Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvlieg, Verkley & Crous). They are observed everywhere almost every year, often taking the form of epiphytotic.

Less widespread and less developed are snow mould of cereals (*Microdochium nivale* (Fries) Samuels & I.C. Hallett), root rot of cereals (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.), tan spot of wheat (*Pyrenophora tritici-repentis* (Drechs) Roberge ex), *Fusarium* spp. and black mould of cereals (*Alternaria* spp., *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link).

Other diseases noted in the table occur sporadically in individual years in individual fields and do not cause economically significant damage to the crop.

The years of observation differed significantly in weather factors influencing the development of diseases. The conditions were different both in the autumn-winter period, when the potential (reserves) of infections are formed, and in the spring-summer, when these potentials are realized.

The years differed in winter air temperature, snow depth, temperature and relative humidity in the spring and summer months, amount of precipitation, frequency of precipitation and other factors. This naturally affected the prevalence of diseases by year and the intensity of their development on the varieties cultivated in the region.

As confirmation of the above, Fig. 1 shows data on monitoring the development of leaf and ear diseases of winter wheat on the Moskovskaya-39 variety for the period from 2015 to 2024.

The Moskovskaya-39 variety is widely distributed in the Non-Black Earth Zone of Russia, characterized by high yield and high grain quality (protein 14–15%, gluten 30–35%). For many years it was the standard variety in competitive variety trials.

During the years of research on this variety, leaf septoria had the greatest development. It was observed annually, the incidence varied from 3.2 to 59.0%. Then, in order of decreasing intensity of development, followed: brown rust – from 0.5 to 41.0%, glume blotch – from 0.01 to 40.0%.

In some years, powdery mildew and fusarium head blight were observed, but the intensity of their development was insignificant.

The objective of this work did not include determining the

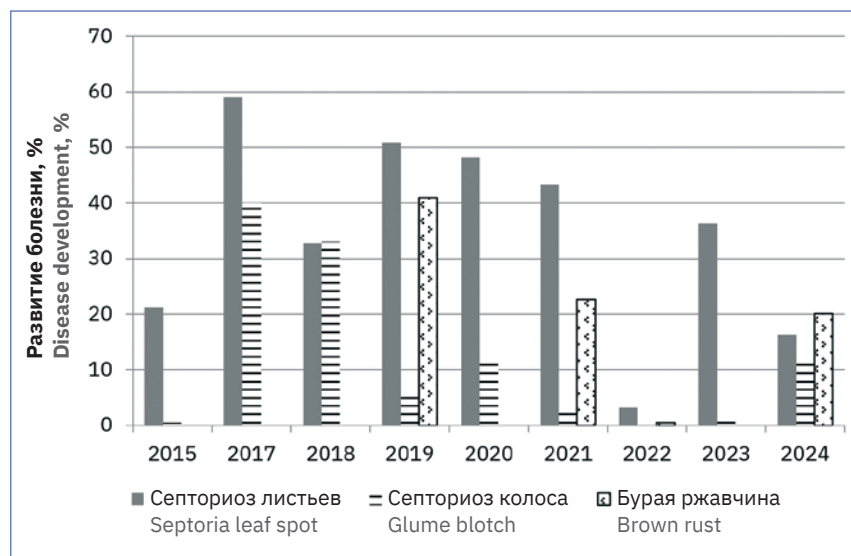


Рис. 1. Развитие листостебельных инфекций на озимой пшенице сорта Московская-39 (Московская область, ФИЦ «Немчиновка», 2015–2024 гг.)

Fig. 1. Development of leaf-stem infections on winter wheat variety Moskovskaya-39 (Moscow Oblast, Federal Research Center "Nemchinovka", 2015–2024)

высокой урожайностью и высоким качеством зерна (белок 14–15%, клейковина 30–35%). Многие годы он являлся сортом – стандартом при проведении конкурсных сортоиспытаний.

Наибольшее развитие в годы исследований на этом сорте имел септориоз листьев. Он наблюдался ежегодно, пораженность варьировала от 3,2 до 59,0%. Далее в порядке убывания интенсивности развития следовали: бурая ржавчина – от 0,5 до 41,0%, септориоз колоса – от 0,01 до 40,0%.

В отдельные годы отмечались мучнистая роса и фузариоз колоса, однако интенсивность их развития была незначительной.

В задачу настоящей работы не входило определение влияния погодных факторов на развитие

influence of weather factors on the development of diseases. This is the subject of independent studies that have been and are being conducted by many authors (Stepanov, 1962; Strizhekozin, 2005; Van der Plank, 1962; Filippov et al, 2018).

In the process of long-term phytosanitary monitoring, carried out according to a unified methodology, we sought to determine the frequency of mass development of certain dangerous diseases on winter wheat varieties cultivated in the Central Non-Black Earth Region of the Russian Federation. The solution to this problem is important for substantiating the phytosanitary position of the varietal structure of crops, the need and nature of protective measures.

Табл. 3. Индексы уровней развития листостебельных и колосовых инфекций на сортах озимой пшеницы, возделываемой в Центральном Нечерноземье (Московская область, ФИЦ «Немчиновка», 2015–2024 гг.)

Table 3. Indices of the levels of development of leaf-stem and ear infections on winter wheat varieties cultivated in the Central Non-Black Earth Region (Moscow Oblast, Federal Research Center “Nemchinovka”, 2015–2024)

Сорта Varieties	Септориоз листьев Septoria leaf spot			Бурая ржавчина Brown rust			Септориоз колоса Glume blotch			Мучнистая роса Powdery mildew			Фузариоз колоса Fusarium		
	Эпифитотия Epirhytoty			Эпифитотия Epirhytoty			Эпифитотия Epirhytoty			Эпифитотия Epirhytoty			Эпифитотия Epirhytoty		
	Умеренное развитие Moderate development	Депрессия Depression		Умеренное развитие Moderate development	Депрессия Depression		Умеренное развитие Moderate development	Депрессия Depression		Умеренное развитие Moderate development	Депрессия Depression		Умеренное развитие Moderate development	Депрессия Depression	
Московская-27 Moskovskaya-27	6	4	0	0	2	8	0	0	10	0	0	10	0	0	10
Немчиновская-57 Nemchinovskaya-57	6	4	0	2	0	8	0	2	8	0	0	10	0	0	10
Московская-82 Moskovskaya-82	6	2	2	2	4	4	0	2	8	0	0	10	0	0	10
Немчиновская-85 Nemchinovskaya-85	2	8	0	2	2	6	0	2	8	0	0	10	0	0	10
Немчиновская-24 Nemchinovskaya-24	4	4	2	0	2	8	0	4	6	0	2	8	0	0	10
Московская-56 Moskovskaya-56	6	4	0	2	0	8	0	4	6	0	0	10	0	0	10
Немчиновская-17 Nemchinovskaya-17	6	2	2	0	0	10	0	2	8	0	0	10	0	0	10
Инна Inna	10	0	0	6	0	4	2	0	8	0	0	10	0	2	8
Московская-40 Moskovskaya-40	6	2	2	2	0	8	0	2	8	0	0	10	0	0	10
Московская-39 Moskovskaya-39	6	2	2	0	4	6	0	4	6	0	0	10	0	0	10
Памяти Федина Pamyati Fedina	6	2	2	6	0	4	2	4	4	0	0	10	0	0	10

Табл. 4. Степень поражения (%), потери урожая (%) и урожай (ц/га) сортов озимой пшеницы, районированных в Центральных районах Нечерноземной зоны (Московская область, ФГБНУ ВНИИФ, ФИЦ «Немчиновка», 2020–2024 гг.)

Table 4. The degree of damage (%), yield losses (%) and yield (c/ha) of winter wheat varieties zoned in the Central regions of the Non-Chernozem zone (Moscow Oblast, FGBNU “VNIIF”, FRC “Nemchinovka”, 2020–2024)

Сорт	Variety	Степень поражения, %* Damage level, %*				Потери урожая, % Yield losses, %	Урожай, ц/га Yield, c/ha
		Септориоз листьев Septoria leaf spot	Бурая ржавчина Brown rust	Септориоз колоса Glume blotch	Мучнистая роса Powdery mildew		
Московская-27	Moskovskaya-27						
Варьирование	Variation	11,4–45,3	0,0–7,7	0–5,4	0,0–3,0	4,8–20,0	55,1–88,1
Ср.	Avg.	29,2	2,4	2,3	0,6	11,9	75,3
Немчиновская-57	Nemchinovskaya-57						
Варьирование	Variation	14,4–40,6	0,0–59,3	0,0–15,0	0,0–2,5	4,8–19,0	48,3–102,2
Ср.	Avg.	27,8	13,6	5,2	0,5	12,2	70,2
Московская-82	Moskovskaya-82						
Варьирование	Variation	13,7–26,8	0,0–27,6	0,1–26,0	0,0–2,2	4,8–15,0	34,5–101,4
Ср.	Avg.	19,3	12,9	7,4	0,6	9,8	69,8
Немчиновская-85	Nemchinovskaya-85						
Варьирование	Variation	9,2–44,7	0,0–34,5	0,0–5,6	0,0–1,2	4,7–17,0	40,6–89,1
Ср.	Avg.	24,4	9,5	2,6	0,3	10,4	68,5
Немчиновская-24	Nemchinovskaya-24						
Варьирование	Variation	8,6–55,0	0,0–13,1	0,0–21,0	0,0–8,8	9,1–29,0	12,8–101,8
Ср.	Avg.	27,6	4,3	8,3	2,4	15,5	67,3
Московская-56	Moskovskaya-56						
Варьирование	Variation	10,5–55,4	0,0–46,7	0,0–14,3	0,0–3,0	5,6–25,0	50,1–98,1
Ср.	Avg.	28,3	11,1	5,5	0,6	12,2	64,2
Немчиновская-17	Nemchinovskaya-17						
Варьирование	Variation	16,7–58,2	0,0–0,7	0–14,0	0,0–1,6	9,0–25,0	26,7–94,5
Ср.	Avg.	30,5	0,1	5,7	0,4	13,4	64,1
Инна	Inna						
Варьирование	Variation	25,2–33,3	3,3–68,3	0,0–4,3	0	11,5–21,4	56,6–73,9
Ср.	Avg.	29,0	39,7	1,9	0	15,6	63,9
Московская-40	Moskovskaya-40						
Варьирование	Variation	4,5–52,0	0,0–41,0	0,1–13,0	0,0–2,0	1,9–22,0	47,4–85,3
Ср.	Avg.	26,5	9,8	4,7	0,4	10,8	63,5
Московская-39	Moskovskaya-39						
Варьирование	Variation	3,2–48,3	0,0–22,7	0,0–12,0	0,0–3,5	2,0–22,0	45,6–89,1
Ср.	Avg.	29,5	8,7	3,0	0,7	12,9	61,8
Памяти Федина	Pamyati Fedina						
Варьирование	Variation	28,0–46,3	53,7–70,1	1,9–13,0	0	16,7–17,7	33,5–54,5
Ср.	Avg.	37,1	61,9	7,4	0	17,2	44,0

* Среднегодовые значения для P_{0,9} * Average annual indices for P_{0,9}

болезней. Это является предметом самостоятельных исследований, которые проводились и проводятся многими авторами (Степанов, 1962; Стрижекозин, 2005; Ван дер Планк, 1962; Filippov et al, 2018).

В процессе многолетнего фитосанитарного мониторинга, выполняемого по унифицированной методике, мы стремились определять частоту массового развития тех или иных опасных болезней на сортах озимой пшеницы, возделываемых в ЦНЗ РФ. Решение этой задачи важно для обоснования с фитосанитарных позиций сортовой структуры посевов, необходимости и характера защитных мероприятий.

В табл. 3 приведены числовые индексы уровней развития наиболее опасных листостебельных

Table 3 shows the numerical indices of the levels of development of the most dangerous leaf-stem and ear infections on winter wheat varieties zoned in the region over 10 years.

By epiphytoty, as stated above, we mean the level of disease development when there is economically significant damage to the crop, the use of protective measures is necessary and they are economically justified. The highest index of epiphytoty development was noted for leaf septoria, significantly lower for brown rust and ear septoria. The development of powdery

и колосовых инфекций на районированных в регионе сортах озимой пшеницы за 10 лет.

Под эпифитотией, как указывалось выше, мы понимаем уровень развития болезни, когда имеет место хозяйственно значимый урон урожаю, необходимо применение мер защиты и они экономически оправданы. Наиболее высокий индекс развития эпифитотий отмечался у септориоза листьев, значительно ниже у бурой ржавчины и септориоза колоса. Развитие мучнистой росы в годы наблюдений не достигало эпифитотийного уровня; эпифитотия фузариоза колоса отмечена только один раз.

Сорта характеризовались разной «сопротивляемостью» эпифитотийному развитию болезней. У септориоза листьев эпифитотийный индекс варьировал от 2 (Московская-85) до 10 (Инна); у бурой ржавчины – от 0 (Немчиновская-24 и др.) до 6 (Памяти Федина и др.); у септориоза колоса – от 0 (Московская-27 и др.) до 2 (Инна и др.).

Наибольшую «сопротивляемость» эпифитотийному развитию септориоза листьев (наименьшее число лет эпифитотийного и умеренного развития) проявили Немчиновская-85, Немчиновская-24, Московская-82; бурой ржавчине – Немчиновская-17, Немчиновская-24 и Московская-27; септориозу колоса – Немчиновская-57, Немчиновская-17, Немчиновская-85.

В связи с разной подверженностью того или иного сорта эпифитотийному развитию болезней необходима разная интенсивность его защиты. Если принять предложенную нами классификацию уровней развития болезней на основе зерновых эквивалентов (см. табл. 1), то сорт Немчиновская-85 подлежал защите от септориоза листьев два года, Немчиновская-24 – четыре года, остальные – от 6 до 10 лет из 10. Аналогичная картина наблюдалась и по другим заболеваниям.

В табл. 4 приведены фактические данные интенсивности поражения этих сортов, потери урожая от болезней и урожай. Сорта в таблице расположены в порядке уменьшения урожайности.

Урожай является главным показателем, которым руководствуется селекционер при создании нового сорта и сельхозтоваропроизводитель, приобретая его для возделывания. Стабильно высокая урожайность сорта при различных фитосанитарных ситуациях является характеристикой не только генетически заложенной в нем продуктивности,

mildew during the years of observation did not reach the epiphytoty level; epiphytoty of fusarium ear blight was noted only once.

The varieties were characterized by different “resistance” to the epiphytotic development of diseases. For septoria leaf spot, the epiphytotic index varied from 2 (Moskovskaya-85) to 10 (Inna); for brown rust – from 0 (Nemchinovskaya-24, etc.) to 6 (Pamyati Fedina, etc.); for glume blotch – from 0 (Moskovskaya-27, etc.) to 2 (Inna, etc.).

The largest “resistance” to the epiphytotic development of septoria leaf spot (the smallest number of years of epiphytotic and moderate development) was demonstrated by Nemchinovskaya-85, Nemchinovskaya-24, Moskovskaya-82; to brown rust – Nemchinovskaya-17, Nemchinovskaya-24 and Moskovskaya-27; to glume blotch – Nemchinovskaya-57, Nemchinovskaya-17, Nemchinovskaya-85.

Due to the different susceptibility of a particular variety to epiphytotic development of diseases, different intensity of its protection is required. If we accept the classification of disease development levels proposed by us based on grain equivalents (see Table 1), then the Nemchinovskaya-85 variety was subject to protection from septoria leaf spot for two years, Nemchinovskaya-24 – four years, the rest – from 6 to 10 years out of 10. A similar picture was observed for other diseases.

Table 4 shows the actual data on the intensity of damage to these varieties, crop losses from diseases and yield. The varieties in the table are arranged in order of decreasing yield.

The yield is the main indicator that a breeder uses when creating a new variety and an agricultural producer uses when purchasing it for cultivation. A consistently high yield of a variety under various phytosanitary situations is a characteristic not only of its genetically inherent productivity, but also serves as an indicator of its tolerance (disease resistance) to biogenic stress effects.

The controlled parameters varied significantly among the tested varieties: yield – from 44.0 (Pamyati Fedin) to 75.3 c/ha (Moskovskaya-27), infestation with septoria leaf spot – from 19.3 (Moskovskaya-82) to 37.1% (Pamyati Fedina), glume blotch – from 1.9 (Inna) to 8.3% (Nemchinovskaya-24).

Table 5 shows the correlation coefficients between the intensity (degree) of damage to varieties by diseases, crop losses from diseases and crop yield.

Табл. 5. Коэффициенты корреляции урожая сортов озимой пшеницы, возделываемых в Центральной зоне Нечерноземья, с интенсивностью развития листостебельных инфекций и потерями урожая от болезней

Table 5. Correlation coefficients of the yield of winter wheat varieties cultivated in the Central zone of the Non-Black Earth Region with the intensity of leaf-stem infections and yield losses from diseases

Септориоз листьев Septoria leaf spot	Бурая ржавчина Brown rust	Септориоз колоса Glume blotch	Мучнистая роса Powdery mildew	Потери урожая Yield losses
-0,79	-0,65	-0,74	-0,33	-0,66

Табл. 6. Рейтинги сортов озимой пшеницы, возделываемых в Центральной Нечерноземной зоне РФ, по пораженности наиболее опасными болезнями, потерям урожая от болезней и урожаю (Московская область, ФГБНУ ВНИИФ, 2020–2024 гг.)

Показатели Сорта	
Септориоз листьев*	Московская-82 → Немчиновская-85 → Московская-40 → Немчиновская-24 → Немчиновская-57 → Московская-56 → Инна → Московская-27 → Московская-39 → Немчиновская-17 → Памяти Федина
Септориоз колоса	Инна → Московская-27 → Немчиновская-85 → Московская-39 → Московская-40 → Немчиновская-57 → Московская-56 → Немчиновская-17 → Московская-82 → Памяти Федина → Немчиновская-24
Бурая ржавчина	Немчиновская-17 → Московская-27 → Немчиновская-24 → Московская-39 → Немчиновская-85 → Московская-40 → Московская-56 → Московская-82 → Немчиновская-57 → Инна → Памяти Федина
Мучнистая роса	Инна → Памяти Федина → Немчиновская-85 → Немчиновская-17 → Московская-40 → Немчиновская-57 → Московская-82 → Московская-56 → Московская-39 → Немчиновская-24
Потери урожая, %**	Московская-82 → Немчиновская-85 → Московская-40 → Московская-27 → Немчиновская-57 → Московская-56 → Московская-39 → Немчиновская-17 → Немчиновская-24 → Инна → Памяти Федина
Урожай, ц/га***	Московская-27 → Немчиновская-57 → Московская-82 → Немчиновская-85 → Немчиновская-24 → Московская-56 → Немчиновская-17 → Инна → Московская-40 → Московская-39 → Памяти Федина

* В порядке возрастания пораженности
** В порядке возрастания потерь урожая
*** В порядке снижения урожая

но и служит показателем его толерантности (болезневыносливости) к биогенным стрессовым воздействиям.

Контролируемые показатели в значительной степени варьировали по испытываемым сортам: урожай – от 44,0 (Памяти Федина) до 75,3 ц/га (Московская-27), пораженность септориозом листьев – от 19,3 (Московская-82) до 37,1% (Памяти Федина), септориозом колоса – от 1,9 (Инна) до 8,3% (Немчиновская-24).

В табл. 5 приведены коэффициенты корреляции между интенсивностью (степенью) поражения сортов болезнями, потерями урожая от болезней и урожаем.

Наиболее высокие отрицательные коэффициенты корреляции отмечены между урожаем и поражением сортов септориозом листьев и колоса. Несколько меньший коэффициент корреляции имел место с пораженностью бурой ржавчиной и мучнистой росой. Это свидетельствует о том, что болезни озимой пшеницы, распространенные в Центральном Нечерноземье, оказывают существенное воздействие на формирование урожая.

В табл. 6 показаны рейтинги сортов по пораженности болезнями, потерям урожая и урожаю, составленные на основе данных, приведенных в табл. 4. Рейтинговые оценки являются более наглядными, когда сравнивается большее количество объектов наблюдений и их показателей.

The highest negative correlation coefficients were noted between the yield and the damage of varieties by septoria leaf spot and glume blotch. A slightly lower correlation coefficient was observed with the damage by brown rust and powdery mildew. This indicates that winter wheat diseases common in the Central Non-Black Earth Region have a significant impact on yield formation.

Table 6 shows the ratings of varieties by disease incidence, yield losses and yield, compiled on the basis of the data presented in Table 4. The rating assessments are more visual when a larger number of observation objects and their indicators are compared.

We have previously published similar ratings for previous periods (Sanin et al., 2012). The need for periodic adjustment of ratings is explained, firstly, by the fact that as a result of the constantly occurring formative processes in nature, the virulence potentials of pathogenic complexes change and previously resistant varieties become susceptible; secondly, new varieties with new properties of resistance and productivity are constantly being introduced into production.

The varieties Moskovskaya-82, Nemchinovskaya-85, Moskovskaya-40 were characterized by the least damage from septoria leaf spot; glume blotch – Inna, Moskovskaya-27, Nemchinovskaya-85; brown rust – Nemchinovskaya-17, Moskovskaya-27, Nemchinovskaya-24; powdery mildew – Pamyati Fedina, Inna, Nemchinovskaya-85.

The highest and most stable productivity during the testing years was demonstrated by the varieties Moskovskaya-27, Nemchinovskaya-57, Moskovskaya-82, Nemchinovskaya-85, Nemchinovskaya-24. The average yield of these varieties was from 67.3 to 75.3 c/ha. In some years it reached, and in some cases exceeded 100 c/ha. The consistently high yield of varieties in this group is largely explained by their lower incidence of epiphytotic diseases common in the region: septoria leaf spot, brown rust, glume blotch, powdery mildew. These varieties can serve as the basis for industrial crops of winter wheat in the Central Non-Black Earth Zone of the Russian Federation.

Due to the lack of high-yielding varieties with complex resistance to diseases, in international practice and in certain regions of Russia, such a method of selection and genetic protection as the cultivation of polygenic (multi-varietal) crops – a mosaic of varieties – is used (Shpaar, 2004; Romanenko et al., 2005; Zhuchenko, 2009–2011; Sanin et al., 2012).

Phytosanitary mosaic involves the cultivation of 4–5 varieties at the same time on a farm (agricultural

Ранее мы публиковали подобные рейтинги за предыдущие периоды (Санин и др., 2012). Необходимость периодической корректировки рейтингов объясняется, во-первых, тем, что вследствие постоянно происходящих в природе формообразовательных процессов меняются вирулентные потенциалы патогенных комплексов и ранее устойчивые сорта становятся восприимчивыми; во-вторых, в производство постоянно вводятся новые сорта, обладающие новыми свойствами устойчивости и урожайности.

Наименьшим поражением септориозом листьев характеризовались сорта Московская-82, Немчиновская-85, Московская-40; септориозом колоса – Инна, Московская-27, Немчиновская-85; бурой ржавчиной – Немчиновская-17, Московская-27, Немчиновская-24; мучнистой росой – Памяти Федина, Инна, Немчиновская-85.

Наиболее высокую и стабильную продуктивность в годы испытаний показали сорта Московская-27, Немчиновская-57, Московская-82, Немчиновская-85, Немчиновская-24. Средний урожай этих сортов составлял от 67,3 до 75,3 ц/га. В отдельные годы он достигал, а в ряде случаев превышал 100 ц/га. Стабильно высокая урожайность сортов данной группы в значительной мере объясняется их меньшей пораженностью распространенными в регионе эпифитотийно опасными болезнями: септориозом листьев, бурой ржавчиной, септориозом колоса, мучнистой росой. Эти сорта могут служить основой производственных посевов озимой пшеницы в Центральной Нечерноземной зоне РФ.

В связи с отсутствием высокоурожайных сортов, обладающих комплексной устойчивостью к болезням, в зарубежной практике и в отдельных районах нашей страны находит применение такой прием селекционно-генетической защиты, как возделывание полигенных (многосортовых) посевов – мозаики сортов (Шпаар, 2004; Романенко и др., 2005; Жученко, 2009–2011; Санин и др., 2012).

Фитосанитарная мозаика предполагает возделывание в хозяйстве (агрофирме) одновременно 4–5 сортов, каждый из которых обладает устойчивостью к тем или иным болезням, чем компенсирует этот недостаток в других сортах. Аналогичную фитосанитарную роль выполняет, как известно, применение в агротехнологиях сортосмесей и многолинейных сортов (Жученко, 2004; Шпаар, 2004). Однако их использование при масштабном зернопроизводстве более сложно и менее оперативно, чем сортовая мозаика.

Table 6. Ratings of winter wheat varieties cultivated in the Central Non-Black Earth Zone of the Russian Federation by prevalence of the most dangerous diseases, crop losses from diseases and yield (Moscow Oblast, FGBNU “VNIIF”, 2020–2024)

Indices	Varieties
Septoria leaf spot*	Moskovskaya-82 → Nemchinovskaya-85 → Moskovskaya-40 → Nemchinovskaya-24 → Nemchinovskaya-57 → Moskovskaya-56 → Inna → Moskovskaya-27 → Moskovskaya-39 → Nemchinovskaya-17 → Pamyati Fedina
Glume blotch	Inna → Moskovskaya-27 → Nemchinovskaya-85 → Moskovskaya-39 → Moskovskaya-40 → Nemchinovskaya-57 → Moskovskaya-56 → Nemchinovskaya-17 → Moskovskaya-82 → Pamyati Fedina → Nemchinovskaya-24
Brown rust	Nemchinovskaya-17 → Moskovskaya-27 → Nemchinovskaya-24 → Moskovskaya-39 → Nemchinovskaya-85 → Moskovskaya-40 → Moskovskaya-56 → Moskovskaya-82 → Nemchinovskaya-57 → Inna → Pamyati Fedina
Powdery mildew	Inna → Pamyati Fedina → Nemchinovskaya-85 → Nemchinovskaya-17 → Moskovskaya-40 → Nemchinovskaya-57 → Moskovskaya-82 → Moskovskaya-56 → Moskovskaya-39 → Nemchinovskaya-24
Yield losses, %**	Moskovskaya-82 → Nemchinovskaya-85 → Moskovskaya-40 → Moskovskaya-27 → Nemchinovskaya-57 → Moskovskaya-56 → Moskovskaya-39 → Nemchinovskaya-17 → Nemchinovskaya-24 → Inna → Pamyati Fedina
Yield, c/ha***	Moskovskaya-27 → Nemchinovskaya-57 → Moskovskaya-82 → Nemchinovskaya-85 → Nemchinovskaya-24 → Moskovskaya-56 → Nemchinovskaya-17 → Inna → Moskovskaya-40 → Moskovskaya-39 → Pamyati Fedina

* In order of increasing prevalence

** In order of increasing yield losses

*** In order of decreasing yield

firm), each of which is resistant to certain diseases, thereby compensating for this deficiency in other varieties. As is known, a similar phytosanitary role is performed by the use of variety mixtures and multi-line varieties in agricultural technologies (Zhuchenko, 2004; Shpaar, 2004). However, their use in large-scale grain production is more complex and less efficient than variety mosaic.

Winter wheat varieties identified in the course of long-term monitoring studies, characterized by high productivity and resistance to diseases, can serve as a basis for constructing polygenic multi-varietal cenoses (variety mosaics) in the Central Non-Black Earth Zone of Russia.

Such crops, in addition to increasing resistance to diseases, will help reduce the virulent potential of endemic pathogen populations and thereby extend the “life” of cultivated varieties. Pathogen populations in mosaics are more diverse in genetic composition, but less virulent.

Cultivation of multivarietal crops will reduce the risk of epiphytotic development of not only endemic (local), but also exodemic infections brought in from other regions of Russia or from other countries.

Выявленные в процессе многолетних мониторинговых исследований сорта озимой пшеницы, характеризующиеся высокой продуктивностью и устойчивостью к болезням, могут служить базой для конструирования полигенных многосортных ценозов (мозаики сортов) в Центральной Нечерноземной зоне России.

Такие посевы, помимо повышения устойчивости к болезням, будут способствовать снижению вирулентных потенциалов эндемичных популяций возбудителей и тем самым продлению «жизни» возделываемых сортов. Популяции возбудителей при мозаике более разнообразны по генетическому составу, но менее вирулентны.

Возделывание многосортных посевов снижает риск эпифитотийного развития не только эндемичных (местных), но и экзотических инфекций, привносимых из других регионов страны или из других стран.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана система фитосанитарного мониторинга развития болезней озимой пшеницы на сортах, районированных в Центральной Нечерноземной зоне РФ. Мониторинг ведется совместно Всероссийским научно-исследовательским институтом фитопатологии и Федеральным исследовательским центром «Немчиновка».

За годы исследований выявлено более 20 болезней грибной, вирусной и бактериальной этиологии, поражающих растения пшеницы во все фазы их онтогенеза. Наибольшее распространение и развитие имели септориоз листьев, бурая ржавчина, септориоз колоса, мучнистая роса, фузариозная корневая гниль. Несколько меньшее распространение имели снежная плесень, гельминтоспориозная корневая гниль, пиренофороз листьев, фузариоз и чернь колоса. Другие болезни (стеблевая и желтая ржавчина, головня, вирусные и бактериальные заболевания) отмечались эпизодически на отдельных полях.

На тестовых полях институтов в ходе многолетних мониторинговых наблюдений изучены особенности развития наиболее опасных листовых и колосовых инфекций на районированных сортах озимой пшеницы: эпифитотии, умеренное развитие, депрессии. Рассчитаны цифровые индексы этих классов – количество повторений за 10 лет наблюдений. Индексы эпифитотий варьировали от 0 до 10 в зависимости от сорта и заболевания.

Определены коэффициенты корреляции между интенсивностью поражения сортов, потерями урожая и урожаем. Наиболее высокие отрицательные коэффициенты корреляции отмечены между урожаем и пораженностью сортов септориозом листьев и колоса, несколько меньшие – урожаем и развитием бурой ржавчины и мучнистой росы.

Многолетние фитосанитарные мониторинговые данные позволили составить рейтинги возделываемых в регионе сортов по пораженности болезнями, потерями урожая и урожаю. На основании рейтинговых оценок определены сорта с высокой стабильной продуктивностью и характеризующиеся устойчивостью к болезням. Они могут служить основой производственных посевов

CONCLUSION

A system of phytosanitary monitoring of the winter wheat diseases development on varieties zoned in the Central Non-Black Earth Zone of the Russian Federation has been developed. Monitoring is carried out jointly by the All-Russian Research Institute of Phytopathology and the Federal Research Center “Nemchinovka”.

Over the years of research, more than 20 diseases of fungal, viral and bacterial etiology have been identified that affect wheat plants in all phases of their ontogenesis. The most widespread and developed were septoria leaf spot, brown rust, glume blotch, powdery mildew, and fusarium root rot. Snow mould of cereals, root rot of cereals, tan spot of wheat, fusarium and black mould of cereals were somewhat less widespread. Other diseases (stem and yellow rust, smut, viral and bacterial diseases) were observed sporadically in individual fields.

In the test fields of the institutes, during long-term monitoring observations, the development features of the most dangerous leaf-stem and ear infections on zoned varieties of winter wheat were studied: epiphytoses, moderate development, depressions. Digital indices of these classes were calculated – the number of repetitions over 10 years of observations. Epiphytosis indices varied from 0 to 10 depending on the variety and disease.

The correlation coefficients between the intensity of varieties' damage, yield losses and yield were determined. The highest negative correlation coefficients were noted between yield and the damage of varieties to septoria leaf spot and glume blotch, and slightly lower ones – between yield and the development of brown rust and powdery mildew.

Long-term phytosanitary monitoring data allowed us to compile ratings of varieties cultivated in the region by disease incidence, yield losses and yield. Based on the rating assessments, varieties with high stable productivity and characterized by resistance to diseases were identified. They can serve as the basis for industrial winter wheat crops in the Central Non-Black Earth Region, as well as the basis for constructing multi-varietal (polygenic) crops – a mosaic of varieties.

Research has shown that long-term systemic monitoring of disease development is an effective tool for assessing the phytosanitary condition of winter wheat crops, determining the need for protective measures, and the strategy and tactics for their implementation.

Acknowledgements. We express our gratitude to the administration of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center “Nemchinovka” for the opportunity to conduct long-term phytosanitary monitoring studies on crops of competitive variety testing of winter wheat.

REFERENCES

1. Buga S.F. Theoretical and practical foundations of chemical protection of grain crops from diseases in

озимой пшеницы в Центральном Нечерноземье, а также базой конструирования многосортных (полигенных) посевов – мозаики сортов.

Исследования показали, что многолетний системный мониторинг развития болезней является эффективным инструментом оценки фитосанитарного состояния посевов озимой пшеницы, определения необходимости защитных мероприятий, стратегии и тактики их проведения.

Благодарность. Выражаем благодарность администрации ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» за представленную возможность проведения многолетних фитосанитарных мониторинговых исследований на посевах конкурсного сортоиспытания озимой пшеницы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буга С.Ф. Теоретические и практические основы химической защиты зерновых культур от болезней в Белоруссии. Минск (Несвиж: Несвижская укрупненная типография), 2013, 239 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (5 издание). М.: Агропромиздат, 2015, 351 с.
3. Жученко А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России. //М.: ООО «Изд-во Агрорус», 2004, 1109 с.
4. Жученко А.А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии. Теория и практика. Том 2. М: ООО «Изд-во Агрорус», 2009–2011. С. 410–411.
5. Романенко А.А., Беспалова Л.А., Кудряшов И.Н., Аблова И.В. Новая сортовая политика и сортовая агротехника озимой пшеницы. Краснодар, 2005, 221 с.
6. Сандухадзе Б.И. Селекция озимой пшеницы в Центральном регионе Нечерноземной зоны России. М.: 2020, 501 с.
7. Санин С.С., Соколова Е.А., Черкашин В.И., Назарова Л.Н., Стрижекозин Ю.А., Ибрагимов Т.З., Неклеса Н.П. Болезни зерновых культур (рекомендации по проведению фитосанитарного мониторинга), М: ФГНУ «Росинформагротех», 2010, 138 с.
8. Санин С.С., Ибрагимов Т.З., Стрижекозин Ю.А. Метод расчета потерь урожая пшеницы от болезней // Защита и карантин растений, 2018. № 1. С. 11–15.
9. Санин С.С., Карлова Л.В., Корнева Л.Г., Кашчев А.В., Рулева О.М., Ибрагимов Т.З., Никифоров Е.В., Санин С.С. Экономические и агроэкологические аспекты химической защиты зерновых культур от вредных организмов // Защита и карантин растений, 2022. № 5. С. 3–11.
10. Санин С.С., Корнева Л.Г. Фитосанитарная мозаика сортов: иммунологическое и эпифитотологическое обоснование // Защита и карантин растений, 2012. № 4. С. 28–32.
11. Степанов К.М. Грибные эпифитотии. М.: Изд-во Сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1962, 471 с.
12. Стрижекозин Ю.А. Регламентация фунгицидных обработок на основе моделей // Сборник «Фитосанитарное оздоровление экосистем». Материалы II съезда по защите растений, Санкт-Петербург, 2005. С. 497–499.

Belarus [Teoreticheskiye i prakticheskiye osnovy khimicheskoy zashchity zernovykh kultur ot bolezney v Belorussii]. Minsk (Nesvizh: Nesvizh enlarged printing house), 2013, 239 p. (In Russ.)

2. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment (5th edition) [Metodika polevogo opyta]. Moscow: Agropromizdat, 2015, 351 p. (In Russ.)

3. Zhuchenko A.A. Resource potential of grain production in Russia [Resursnyy potentsial proizvodstva zerna v Rossii] //M.: ООО «Изд-во Агрорус», 2004, 1109 p. (In Russ.)

4. Zhuchenko A.A. Adaptive strategy for sustainable development of Russian agriculture in the 21st century. Theory and practice. Vol. 2. [Adaptivnaya strategiya ustoychivogo razvitiya selskogo khozyaystva Rossii v XXI stoletii] / Moscow: ООО Изд-во Агрорус, 2009–2011: 410–411. (In Russ.)

5. Romanenko A.A., Bepalova L.A., Kudryashov I.N., Ablova I.V. New varietal policy and varietal agricultural technology of winter wheat [Novaya sortovaya politika i sortovaya agrotehnika ozimoy pshenitsy]. Krasnodar, 2005, 221 p. (In Russ.)

6. Sandukhadze B.I. Breeding of winter wheat in the Central region of the Non-Black Earth Zone of Russia [Selektsiya ozimoy pshenitsy v Tsentralnom regione Nечерноземной зоны Rossii]. Moscow: 2020, 501 p. (In Russ.)

7. Sanin S.S., Sokolova E.A., Cherkashin V.I., Nazarova L.N., Strizhekozina Yu.A., Ibragimov T.Z., Neklesa N.P. Diseases of grain crops (recommendations for phytosanitary monitoring) [Bolezni zernovykh kultur (rekommendatsii po provedeniyu fitosanitarnogo monitoringa)], M: FGNU «Rosinformagrotech», 2010, 138 p. (In Russ.)

8. Sanin S.S., Ibragimov T.Z., Strizhekozina Yu.A. Method for calculating wheat yield losses from diseases [Metod rascheta poter' urozhaya pshenitsy ot bolezney] // Plant protection and quarantine, 2018; 1: 11–15. (In Russ.)

9. Sanin S.S., Karlova L.V., Korneva L.G., Kashchev A.V., Ruleva O.M., Ibragimov T.Z., Nikiforov E.V., Sanin S.S. Economic and agroecological aspects of chemical protection of grain crops from pests [Ekonicheskiye i agroekologicheskiye aspekty khimicheskoy zashchity zernovykh kultur ot vrednykh organizmov] // Plant protection and quarantine, 2022. No. 5. P. 3–11. (In Russ.)

10. Sanin S.S., Korneva L.G. Phytosanitary mosaics of varieties: Immunological and epiphytological justification [Fitosanitarnaya mozaika sortov: immunologicheskoye i epifitologicheskoye obosnovaniye] // Plant protection and quarantine, 2012; 4: 28–32. (In Russ.)

11. Stepanov K.M. Fungal epiphytoses [Gribnyye epifitotii]. Moscow: Publishing House of Agricultural Literature, Magazines and Posters, 1962, 471 p. (In Russ.)

12. Strizhekozina Yu.A. Regulation of fungicide treatments based on models [Reglamentatsiya fungitsidnykh obrabotok na osnove modeley] // Collection «Phytosanitary improvement of ecosystems». Proceedings of the II Congress on Plant Protection, St. Petersburg, 2005. Pp. 497–499. (In Russ.)

13. Шпаар Д. Защита растений в устойчивых системах землепользования. Книга 3, Берлин, 2004. – ELLER GmbH, 336 с.

14. Я. Ван дер Планк. Болезни растений (эпифитотии и борьба с ними). М.: Колос, 1966, 360 с.

15. Filippov A.V., Kuznetsova M.A., Rogozhin A.N., Yakusheva O.I., Demidova V.N., Statsyuk N.V. Development and testing of a weather-based model to determine potential yield losses caused by potato late blight and optimise fungicide application Frontiers of Agricultural Science and Engineering. 2018. T. 5. № 4. С. 462–468.

16. Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. Eucarpia Bull 7. 1974.– 14 (6). – P. 415–421.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Санин Сергей Степанович, академик РАН, доктор биологических наук, главный специалист, заведующий отделом эпидемиологии и фитосанитарии болезней зерновых культур ФГБНУ ВНИИФ, р. п. Большие Вяземы, Одинцовский р-н, Московская обл., Россия; *e-mail: sanin@vniif.ru*

Сандухадзе Баграт Исменович, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник ФИЦ «Немчиновка», г. Москва, Россия; *e-mail: sanduchadze@mail.ru*

Мамедов Рамин Закирович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы ФИЦ «Немчиновка», г. Москва, Россия; *e-mail: mam-ramin@yandex.ru*

Карлова Лариса Викторовна, кандидат химических наук, научный сотрудник ФГБНУ ВНИИФ, г. Голицыно, Одинцовский р-н, Московская обл., Россия; *e-mail: lkarlova@vniif.ru*

Корнева Любовь Георгиевна, научный сотрудник ФГБНУ ВНИИФ, р. п. Большие Вяземы, Одинцовский р-н, Московская обл., Россия; *e-mail: korneva.lubov@yandex.ru*

Рулева Ольга Михайловна, научный сотрудник ФГБНУ ВНИИФ, г. Голицыно, Одинцовский р-н, Московская обл., Россия; *e-mail: rulyova@vniif.ru*

13. Spaar D. Plant protection in sustainable land management systems. Book 3, Berlin, 2004. – ELLER GmbH, 336 p.

14. J. van der Planck. Plant diseases (epiphytoticies and their control). Moscow: Kolos, 1966, 360 p.

15. Filippov A.V., Kuznetsova M.A., Rogozhin A.N., Yakusheva O.I., Demidova V.N., Statsyuk N.V. Development and testing of a weather-based model to determine potential yield losses caused by potato late blight and optimise fungicide application Frontiers of Agricultural Science and Engineering. 2018. T. 5. № 4. С. 462–468.

16. Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. Eucarpia Bull 7. 1974.– 14 (6). – P. 415–421.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey Sanin, Academician of the Russian Academy of Sciences, Advanced Doctor of Biology, Leading Specialist, Head of the Department of Epidemiology and Phytosanitary Diseases of Grain Crops, FGBNU “VNIIF”, Bolshiye Vyazemy, Odintsovsky District, Moscow Oblast, Russia; *e-mail: sanin@vniif.ru*

Bagrat Sandukhadze, Academician of the Russian Academy of Sciences, Advanced Doctor of Agriculture, Leading Researcher of the Federal Research Center “Nemchinovka”, Moscow, Russia, *e-mail: sanduchadze@mail.ru*

Ramin Mamedov, PhD in Agriculture, Head of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Winter Wheat, Federal Research Center “Nemchinovka”, Moscow, Russia, *e-mail: mam-ramin@yandex.ru*

Larisa Karlova, PhD in Chemistry, Researcher, FGBNU “VNIIF”, Bolshiye Vyazemy, Odintsovsky District, Moscow Oblast, Russia, *e-mail: lkarlova@vniif.ru*

Liubov Korneva, Researcher, FGBNU “VNIIF”, Bolshiye Vyazemy, Odintsovsky District, Moscow Oblast, Russia, *e-mail: korneva.lubov@yandex.ru*

Olga Ruleva, Researcher, FGBNU “VNIIF”, Bolshiye Vyazemy, Odintsovsky District, Moscow Oblast, Russia, *e-mail: rulyova@vniif.ru*

Результаты мониторинга зерна яровой пшеницы в Томской области в 2024 г.

* ПЛИСКО А.О.¹, МИХАЙЛОВА С.И.², ЭБЕЛЬ Т.В.³

^{1,2,3} Томский филиал ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), г. Томск, Россия, 634021

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, пр-т Ленина, 36, г. Томск, Россия, 634050

¹ e-mail: anna.aplisko.plisko@mail.ru

² ORCID ID: 0000-0003-4595-2032;
e-mail: mikhailova.si@yandex.ru

³ ORCID ID: 0000-0002-6356-7077;
e-mail: ebeltanya@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты мониторинга качества зерна яровой пшеницы, выращенной в семи районах Томской области в 2024 г. Обследовано 384 образца зерна на 14 показателей качества, для чего применялись стандартные методы исследований. Класс пшеницы устанавливали по наихудшему значению одного из показателей. В результате проведенных исследований было установлено, что основная масса пшеницы урожая 2024 г. относится к 5-му классу, что обусловлено неблагоприятными погодными условиями, сложившимися в Томской области ко времени уборки урожая. В ходе герботологического анализа образцов зерна, проведенного визуальным методом, выделены и идентифицированы диаспоры 46 видов сорных растений. Наиболее распространенными видами, диаспоры которых отмечены в образцах большей части районов, являются *Avena fatua* L., *Cannabis sativa* L., *Chenopodium album* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn., *Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve, *Galeopsis* sp., *Galium vaillantii* DC., *Panicum miliaceum* ssp. *ruderales* (Kitag.) Tzvelev, *Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre s.l., *Setaria pumila* (Poir.) Schult., *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., *Stachys palustris* L., *Vicia cracca* L. Ряд обнаруженных видов (*Conium maculatum* L., *Echinochloa crus-galli*, *Echium vulgare* L. и *Vicia hirsuta* (L.) Gray) относятся к числу инвазивных растений на территории Томской области. При проведении герботологического анализа образцов зерна яровой пшеницы урожая 2024 г. не было выявлено диаспор карантинных сорняков, входящих в единый перечень карантинных объектов ЕАЭС, а также сорняков, регулируемых в зерне пшеницы фитосанитарными требованиями Китайской Народной Республики – основной страны – импортера томского зерна.

Results of monitoring spring wheat grain in Tomsk Oblast in 2024

ANNA O. PLISKO¹, *SVETLANA I. MIKHAILOVA²,
TATIANA V. EBEL³

^{1,2,3} Tomsk Branch of All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU "VNIICR"), Tomsk, Russia, 634021

² National Research Tomsk State University, Lenina Prospekt, 36, Tomsk, Russia, 634050

¹ e-mail: anna.aplisko.plisko@mail.ru

² ORCID ID 0000-0003-4595-2032,
e-mail: mikhailova.si@yandex.ru

³ ORCID ID 0000-0002-6356-7077,
e-mail: ebeltanya@yandex.ru

ABSTRACT

The article presents the monitoring results of the quality of spring wheat grain cultivated in seven districts of Tomsk Oblast in 2024. 384 grain samples were examined for 14 quality indicators, using standard research methods. The wheat class was determined by the worst value of one of the indicators. As a result of the studies, it was found that the bulk of the 2024 wheat harvest belongs to class 5, which is due to the unfavorable weather conditions that developed in Tomsk Oblast during harvesting. During the herbotological analysis of grain samples carried out by the visual method, diaspores of 46 weed species were isolated and identified. The most common species, the diaspores of which were detected in the samples of most districts, are *Avena fatua* L., *Cannabis sativa* L., *Chenopodium album* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn., *Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve, *Galeopsis* sp., *Galium vaillantii* DC., *Panicum miliaceum* ssp. *ruderales* (Kitag.) Tzvelev, *Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre s.l., *Setaria pumila* (Poir.) Schult., *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., *Stachys palustris* L., *Vicia cracca* L. Some of the detected species (*Conium maculatum* L., *Echinochloa crus-galli*, *Echium vulgare* L. and *Vicia hirsuta* (L.) Gray) belong to the invasive plants in Tomsk Oblast. During the herbotological analysis of spring wheat grain samples from the 2024 harvest, no diaspores of quarantine weeds included in the Common List of Quarantine Pests of the EAEU, as well as weeds regulated in wheat grain by the phytosanitary requirements of the People's Republic of China – the main importer of Tomsk grain, were identified.

Ключевые слова. Мягкая пшеница, потребительские свойства, рискованное земледелие, показатели качества, гербологический анализ, сорные растения.

ВВЕДЕНИЕ



огласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 15 февраля 2022 г. № 176 «Об осуществлении государственного мониторинга зерна», с 1 июля 2022 г. на территории РФ осуществляется государственный мониторинг зерна.

Вышеуказанным постановлением реализация данного мероприятия закреплена за учреждениями, подведомственными Министерству сельского хозяйства (ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр») и Федеральной службе по ветеринарному и фитосанитарному надзору (ФГБУ «Федеральный центр оценки безопасности и качества продукции агропромышленного комплекса», ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений», ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных», ФГБУ «Национальный центр безопасности рыбной и сельскохозяйственной продукции»). От Всероссийского центра карантина растений участие в проведении мониторинга зерна принимают Пензенский и Томский филиалы, а также территориальный отдел в Республике Дагестан Южного филиала.

Целью мониторинга зерна является анализ и оценка объема и потребительских свойств зерна, произведенного на территории Российской Федерации.

Объектом мониторинга в 2024 г. Министерство сельского хозяйства определило только зерно пшеницы.

Сельское хозяйство Томской области – важная отрасль экономики субъекта РФ, обеспечивающая население продовольствием и сырьем.

Томская область находится в зоне рискованного земледелия. Почвенно-климатические условия позволяют вести земледелие только на юго-востоке области. Растениеводство в Томской области включает выращивание зерновых и зернобобовых культур (пшеница, рожь, ячмень, овес, горох, гречиха), масличных (рапс, лен, соя) и овощных культур (картофель, капуста, морковь, свекла).

По данным Федеральной службы государственной статистики по Томской области, общая посевная площадь сельскохозяйственных культур в 2024 г. составила 303,9 тыс. га. Основной продовольственной и зернофуражной культурой является яровая пшеница, которую возделывают на площади 99,9 тыс. га. Средняя урожайность за последние пять лет (2020–2024) составила 24,3 ц/га («Территориальный орган...», 2025).

Основные земледельческие районы области расположены преимущественно в подзоне южной тайги и подтаежной зоне («Системы земледелия...», 2018). Главными факторами, лимитирующими

Key words. Soft wheat, consumer properties, risky farming, quality indicators, herbological analysis, weeds

INTRODUCTION



According to the Decree of the Government of the Russian Federation of February 15, 2022 No. 176 “On the implementation of state monitoring of grain”, state monitoring of grain has been carried out on the territory of the Russian Federation since July 1, 2022.

The above-mentioned Decree assigns the implementation of this measure to institutions subordinate to the Ministry of Agriculture (Russian Agricultural Center) and the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance (Federal Center for Assessment of Safety and Quality of Agricultural Products, All-Russian Plant Quarantine Center, Federal Center for Animal Health Protection, National Center for Safety of Fish and Agricultural Products). The Penza and Tomsk branches, as well as the territorial department in the Republic of Dagestan of the Southern Branch, are participating in the monitoring of grain on behalf of the All-Russian Plant Quarantine Center.

The purpose of grain monitoring is to analyze and evaluate the volume and consumer properties of grain produced in the territory of the Russian Federation.

The Ministry of Agriculture has identified only wheat grain as the object of monitoring in 2024.

Agriculture in Tomsk Oblast is an important sector of the economy of the constituent entity of the Russian Federation, providing the population with food and raw materials.

Tomsk Oblast is located in the risky farming zone. Soil and climatic conditions allow farming only in the southeast of the region. Crop production in Tomsk Oblast includes the cultivation of grain and leguminous crops (wheat, rye, barley, oats, peas, buckwheat), oilseeds (rapeseed, flax, soybeans) and vegetable crops (potatoes, cabbage, carrots, beets).

According to the Federal State Statistics Service for Tomsk Oblast, the total area under agricultural crops in 2024 was 303.9 thousand hectares. The main food and grain forage crop is spring wheat, which is cultivated on an area of 99.9 thousand hectares. The average yield over the past 5 years (2020–2024) was 24.3 c/ha (Territorial Authority..., 2025).

The main agricultural areas of the region are located mainly in the southern taiga subzone and subtaiga zone (Farming systems..., 2018). The main factors limiting wheat cultivation in the region are moisture deficiency at the beginning of the growing season and, conversely, waterlogging, often combined with a lack of heat, in the second half of the growing season.

возделывания пшеницы в области, являются дефицит влаги в начале вегетационного периода и, наоборот, переувлажнение (часто в сочетании с недостатком тепла) во второй половине вегетации.

Яровую пшеницу выращивают главным образом в юго-восточной части области, наиболее благоприятной по почвенно-климатическим условиям. Вегетационный период пшеницы (от посева до уборки урожая) длится в Томской области с II–III декады мая до сентября включительно (в зависимости от погодных условий).

Целью настоящей работы явилось установление качества зерна яровой пшеницы, выращенной в Томской области в 2024 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мониторинг зерна яровой пшеницы, выращенной в Томской области в 2024 г., осуществлялся в августе – октябре по мере уборки урожая. Отбор образцов зерна проведен сотрудниками Томского филиала ВНИИКР в 64 хозяйствах, расположенных в 7 районах области (см. рис. 1).

Районы отбора образцов для мониторинга относятся к трем разным зонам по почвенно-климатическим условиям: I – тайга низменности (Кривошеинский р-н), II – подтайга предгорий (Кожевниковский, Томский, Шегарский р-ны), III – подтайга низменности (Асиновский, Зырянский, Первомайский р-ны) («Сортное районирование...», 2022).

Погодные условия вегетационного периода 2024 г. представлены на примере Томского района в табл. 1.

Приведенный в табл. 1 гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) характеризует степень увлажнения территории с точки зрения соотношения тепла и влаги и определяется по формуле:

$$\text{ГТК} = R \times 10 / \Sigma t,$$

где R – сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше $+10^\circ\text{C}$;

Σt – сумма температур в градусах Цельсия за тот же период. Выделяются следующие зоны увлажнения в соответствии со значениями ГТК: влажная (ГТК 1,6–1,3); слабозасушливая (1,3–1,0); засушливая (1,0–0,7); очень засушливая (0,7–0,4) и сухая (ГТК $< 0,4$) (Ионова и др., 2019).

Исходя из данных, приведенных в табл. 1, вегетационный период 2024 г. можно охарактеризовать как теплый (сумма активных температур выше $+10^\circ\text{C}$ с мая по сентябрь составила $2079,8^\circ\text{C}$) и достаточно влажный (сумма осадков за этот период – $378,1$ мм, ГТК = 1,8) с преобладанием осадков во второй половине августа и сентябре, когда уровень ГТК свидетельствовал о явном переувлажнении территории.

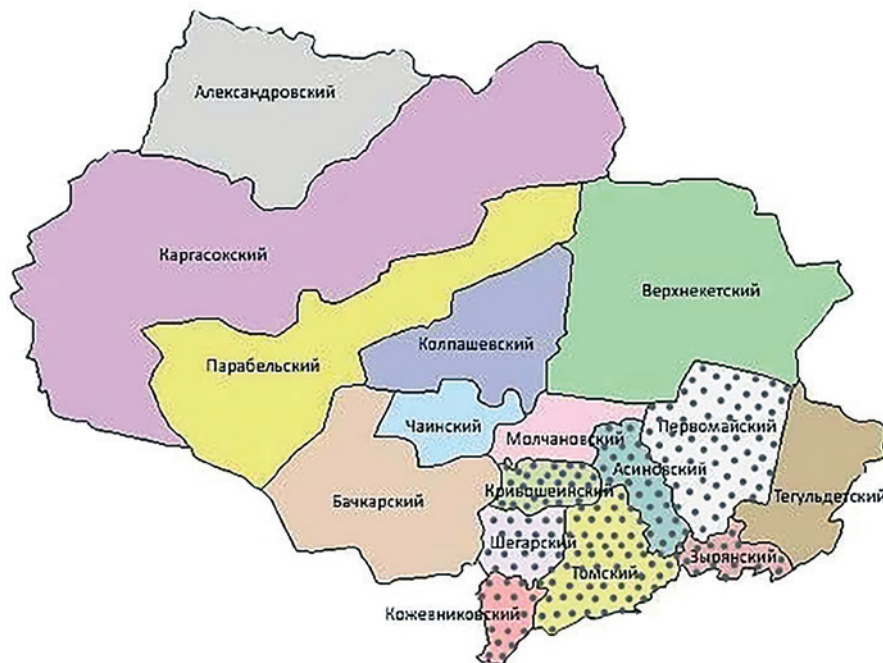


Рис. 1. Административное деление Томской области (точечной штриховкой показаны районы отбора образцов для мониторинга)

Fig. 1. Administrative division of Tomsk Oblast (dotted shading shows areas of sampling for monitoring)

Spring wheat is grown mainly in the southeastern part of the region, which has the most favorable soil and climatic conditions. The growing season of wheat (from sowing to harvesting) in the Tomsk region lasts from the second-third decade of May to September inclusive (depending on weather conditions).

The purpose of this work was to establish the quality of spring wheat grain grown in the Tomsk Oblast in 2024.

MATERIALS AND METHODS

Monitoring of spring wheat grain grown in Tomsk Oblast in 2024 was carried out in August–October as the harvest was being collected. Grain samples were collected by employees of the Tomsk branch of VNIICR in 64 farms located in 7 districts of the oblast (see Fig. 1).

The sampling areas for monitoring belong to three different zones according to soil and climatic conditions: I – lowland taiga (Krivoshainsky district), II – foothill sub-taiga (Kozhevnikovsky, Tomsky, Shegarsky districts), III – lowland sub-taiga (Asinovsky, Zyryansky, Pervomaysky districts) (Varietal zoning..., 2022).

The weather conditions for the growing season of 2024 are presented using the example of Tomsk Oblast in Table 1.

The Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC) given in Table 1 characterizes the degree of humidification of the territory from the point of view of the ratio of heat and moisture and is determined by the formula:

$$\text{HTC} = R \times 10 / \Sigma t$$

where R – precipitations in millimeters for the period with temperatures above $+10^\circ\text{C}$, Σt – the sum of temperatures in degrees Celsius for the same period.

Отбор проб зерна осуществлялся согласно нормативным документам (ГОСТ 13586.3). Масса средней пробы зерна пшеницы составляла $2,0 \pm 0,1$ кг. Всего было отобрано 384 образца.

При выборе методик исследований показателей качества и безопасности зерна руководствовались в основном межгосударственным стандартом, регламентирующим технические условия для пшеницы (ГОСТ 9353). Исключение составила методика по определению массовой доли белка, в этом случае был использован другой нормативный документ (ГОСТ Р 71208).

Перечень потребительских свойств зерна пшеницы, подлежащей мониторингу, установлен в соответствии с Приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 8 сентября 2021 г. № 611 «Об утверждении перечня потребительских свойств зерна, произведенного на территории Российской Федерации, в целях проведения государственного мониторинга зерна» и включает 14 показателей:

- цвет, запах;
- зараженность вредителями;
- загрязненность насекомыми-вредителями;
- общий и фракционный состав содержания зерновой и сорной примесей;
- влажность;
- натура;
- стекловидность;
- типовой состав;
- массовая доля сырой клейковины, качество клейковины;
- массовая доля белка в пересчете на абсолютно сухое вещество;
- число падения;
- наличие фузариозных зерен;
- наличие головневых зерен;
- наличие зерен, поврежденных клопом-черепашкой.

После определения значений показателей устанавливали класс пшеницы по наихудшему

The following humidification zones are distinguished in accordance with the HTC values: humid (HTC 1.6-1.3); slightly arid (1.3-1.0); arid (1.0-0.7); very arid (0.7-0.4) and dry (HTC<0.4) (Ionova et al., 2019).

Based on the data presented in Table 1, the vegetation period of 2024 can be characterized as warm (the sum of active temperatures above +10°C from May to September was 2079.8°C) and quite humid (the sum of precipitation for this period was 378.1 mm, HTC = 1.8) with precipitation predominating in the second half of August and September, when the HTC level indicated obvious over-moistening of the territory.

Grain sampling was carried out in accordance with regulatory documents (GOST 13586.3). The average weight of a wheat grain sample was 2.0 ± 0.1 kg. A total of 384 samples were collected.

When selecting methods for studying grain quality and safety indicators, we were mainly guided by the interstate standard regulating technical conditions for wheat (GOST 9353). The exception was the method for determining the mass fraction of protein, in this case another regulatory document was used (GOST R 71208).

The list of consumer properties of wheat grain subject to monitoring is established in accordance with the Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated September 8, 2021 No. 611 “On approval of the list of consumer properties of grain produced in the territory of the Russian Federation for the purpose of state monitoring of grain” and includes 14 indicators:

- color, smell;
- pest infestation;
- insect pest contamination;
- total and fractional composition of grain and weed impurities;
- moisture;
- nature;
- vitreousness;
- typical composition;
- mass fraction of raw gluten, gluten quality;

Табл. 1. Показатели температуры и осадков на территории Томского района

Table 1. Temperature and precipitation indicators in Tomsk Oblast

Месяц	Month	Средняя многолетняя сумма температур Average long-term temperature sum		Сумма температур t > +10 °C Sum of temperatures t > +10 °C	Сумма осадков за период с t > +10 °C, мм Total precipitation for the period from t > +10 °C, mm	ГТК HTC
		t > +5 °C	отклонение от нормы			
Май	May	144	+15,5	215,4	49,3	2,3
Июнь	June	475	+87,0	526,2	54,6	1,1
Июль	July	897	+167,8	657,8	82,4	1,2
Август	August	1208	+247,4	545,6	142,3	2,6
Сентябрь	September	1275	+291	134,9	49,5	3,7
В целом за сезон	Season total	1275	+291	2079,8	378,1	1,8

Примечание: ГТК – гидротермический коэффициент по Селянинову (1928).

Note: HTC – hydrothermal coefficient according to Selyaninov (1928).



Рис. 2. Оборудование для определения качества зерна (фото: А. О. Плиско)

Fig. 2. Equipment for determining grain quality (photo by A.O. Plisko)

значению одного из них. Так как мониторинг зерна проводится на зерне, не прошедшем обработку (сушку и чистку), то при определении класса не учитывали такие характеристики, как влажность и сорная примесь.

Для определения показателей качества и безопасности использовались имеющееся в лаборатории оборудование (см. рис. 2) и стандартные методы (ГОСТ 9353):

- метод спектроскопии в ближней инфракрасной области (для определения массовой доли белка);
- органолептический (определение цвета и запаха);
- визуальный (для выявления зараженности вредителями, загрязненности насекомыми-вредителями, определения типового состава и стекловидности);
- термогравиметрический (для определения влажности);
- гравиметрический (определение содержания примесей, массовой доли сырой клейковины);
- вискозиметрический (определение числа падения).

Качество и количество сырой клейковины определяли методом ручного отмывания клейковины с использованием измерителя деформации клейковины ИДК-3М (ООО «Плаун-системы», Россия), стекловидность – методом осмотра среза зерна, натуру – при помощи пурки литровой ПХ-1МЦ (ИП Мелкумян Арман Карленович, Россия), число падения – на приборе для определения числа падения ПЧП-3 (ОАО «Биофизическая аппаратура», Россия) (см. рис. 3), массовую долю белка – на анализаторе инфракрасном «Инфраскан-3150» (ООО «ЭКАН» НПП, Россия) (см. рис. 4), влажность – с использованием установки измерительной воздушно-тепловой АСЭШ-8-2 (ООО «ЭКАН» НПП, Россия) (см. рис. 5). Содержание фракций сорной и зерновой примесей

- mass fraction of protein in terms of absolutely dry matter;
- falling number;
- presence of grains infected by fusarium;
- presence of grains infected by smut;
- presence of grains damaged by the corn bug.

After determining the values of the indicators, the wheat class was established based on the worst value of one of them. Since grain monitoring is carried out on grain that has not undergone processing (drying and cleaning), such characteristics as moisture and foreign matter were not taken into account when determining the class.

To determine the quality and safety indicators, the equipment available in the laboratory (see Fig. 2) and standard methods (GOST 9353) were used:

- near infrared spectroscopy method (to determine the mass fraction of protein);
- organoleptic (determination of color and odor);
- visual (to detect pest infestation, contamination by insect pests, determination of the typical composition and glassiness);
- thermogravimetric (to determine humidity);
- gravimetric (determination of impurity content, mass fraction of raw gluten);
- viscosimetric (determination of the falling number).

The quality and quantity of raw gluten were determined by manual washing of gluten using an IDK-3M gluten deformation meter (ООО Плаун-системы, Russia), vitreousness – by examining the grain cut, nature – using a liter grain tester PKh-1MTs (IP Melkumyan Arman Karlenovich, Russia), the falling number – on a device for determining the falling



Рис. 3. Определение числа падения с помощью прибора ПЧП-3 (фото: А. О. Плиско)

Fig. 3. Determination of the falling number using the PChP-3 device (photo by A.O. Plisko)

определяли путем просеивания через сита, визуального просмотра и дальнейшего взвешивания фракций; наличие фузариозных и головневых зерен, зерен, поврежденных клопом-черепашкой, – путем выделения навесок и их визуального просмотра; загрязненность, загрязненность – с помощью просеивания через комплект сит (диаметр отверстий 1,5 и 2,5 мм) и дальнейшего исследования схода и прохода сит. Типовой состав, запах, цвет устанавливали с помощью сенсорной оценки.

Герботологический анализ образцов зерна пшеницы яровой проводился визуальным методом. Из каждого образца пшеницы отбиралась средняя проба массой 200 г, из которой выделялись плоды и семена сорных растений с последующей их идентификацией. Для этого из каждой пробы вручную выделялись диаспоры всех сорных видов, затем с помощью бинокулярного микроскопа Stemi 305 (Carl Zeiss, Германия) проводилась их идентификация с учетом основных морфологических признаков плодов, целых семян и частично обрубленных семян. Для определения плодов и семян использовались классические руководства (Доброхотов, 1961; Майсuryан, Атабекова, 1978; Москаленко, Юдин, 1999), а также карпологическая коллекция Томского филиала ФГБУ «ВНИИКР».

number PChP-3 (OAO Biophysical Equipment, Russia) (see Fig. 3), the mass fraction of protein – on an infrared analyzer Infracan 3150 (OOO EKAN NPP, Russia) (see Fig. 4), and humidity – using an ASh-8-2 air-heat measuring unit (OOO EKAN NPP, Russia) (see Fig. 5). The content of fractions of weed and grain impurities was determined by sifting through sieves, visual inspection and further weighing of fractions; the presence of grains infected by fusarium and smut, grains damaged by the corn bug – by isolating samples and visual inspection; infestation, contamination – by sifting through a set of sieves (hole diameter 1.5 and 2.5 mm) and further examination of the descent and passage of sieves. The typical composition, smell, color were established by sensory assessment.

The herbological analysis of spring wheat grain samples was carried out using a visual method. An average sample weighing 200 g was taken from each wheat sample, from which weed fruits and seeds were isolated and subsequently identified. For this purpose, diaspores of all weed species were manually isolated from each sample, then they were identified using a Stemi 305 binocular microscope (Carl Zeiss, Germany) taking into account the main morphological characters of fruits, whole seeds and partially hulled seeds. Classic manuals (Dobrokhотов, 1961; Maisuryan, Atabekova, 1978; Moskalenko, Yudin, 1999) and the carpological collection of the Tomsk branch of FGBU «VNIKR» were used to identify fruits and seeds.

For weeds easily confused with wheat seeds – *Avena fatua* L. and *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn. – the occurrence was calculated in farms (the percentage of the number of farms in which the seeds of these weeds were detected, out of the total number of farms) and in



Рис. 4. Анализатор инфракрасный «Инфраскан-3150» (фото: А. О. Плиско)

Fig. 4. Infrared analyzer “Infracan 3150” (photo by A.O. Plisko)



Рис. 5. Установка АСЭШ-8-2 используется для определения влажности зерна (фото: А. О. Плиско)

Fig. 5. The ASh-8-2 installation is used to determine grain moisture (photo by A.O. Plisko)

Для трудноотделимых от семян пшеницы сорняков – овсюга (*Avena fatua* L.) и гречихи татарской (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) – была рассчитана встречаемость в хозяйствах (процент числа хозяйств, в образцах которых были обнаружены семена данных сорняков, от общего числа хозяйств) и в образцах пшеницы (процент числа образцов, в которых были обнаружены семена данных сорняков, от общего числа образцов).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общеизвестно, что стабильность урожаев и качество зерна яровой пшеницы зависят прежде всего от гидротермических условий (обеспеченность теплом и влагой) вегетационного периода (Рубец и др., 2021; Шостак и др., 2023).

Следует отметить, что на формирование показателей качества зерна яровой мягкой пшеницы в большей степени влияет температурный режим и количество осадков в конце вегетации (в фазу молочно-восковой спелости) пшеницы (Шаталина и др., 2025).

По данным мониторинга, в Томской области на показатели качества зерна яровой пшеницы в 2024 г. повлияли неблагоприятные погодные условия, сложившиеся в период уборки урожая. Сумма осадков в августе составила 142 мм (см. табл. 1), что составило 209% от нормы. При этом большая часть осадков (90,9 мм) выпала в третьей декаде месяца. Это привело к сильному переувлажнению почвы во всех зерносеющих районах области и гибели посевов сельскохозяйственных культур на площади 3,5 тыс. га. В связи с этим на всей территории Томской области в 1-й декаде сентября был введен режим чрезвычайной ситуации регионального характера («Губернатор Владимир Мазур установил...», 2025).

Результаты определения показателей качества и безопасности зерна

Результаты, полученные в ходе проведения исследований показателей качества и безопасности зерна, представлены в табл. 2.

Представленные в табл. 2 данные позволили сделать вывод о соответствии зерна яровой пшеницы урожая 2024 г. требованиям ГОСТ 9353-2016.

Одним из важнейших показателей качества, определяющим хлебопекарные свойства зерна, является содержащаяся в эндосперме клейковина (Жаркова, 2020). Также важным показателем является число падения, которое отражает уровень активности содержащегося в зерне фермента альфа-амилазы. При прорастании зерна активность этого фермента многократно возрастает, а число падения снижается (Крупнов, Крупнова, 2015). Чем ниже число падения, тем хуже класс зерна. Для 5-го класса зерна ограничительная норма для числа падения отсутствует, для 4-го класса этот показатель должен быть не менее 80 секунд, для 3-го – не менее 150, 1-й и 2-й класс характеризуется числом падения не менее 200 секунд. Наиболее ценным по качеству считается зерно пшеницы с числом падения не менее 200 секунд, а в качестве улучшителя при производстве муки используют зерно с данным показателем от 220 секунд (ГОСТ 34702). Как видно из табл. 2, наиболее высокие значения

wheat samples (the percentage of the number of samples in which the seeds of these weeds were detected, out of the total number of samples).

RESULTS AND DISCUSSION

It is well known that the stability of yields and the quality of spring wheat grain depend primarily on the hydrothermal conditions (heat and moisture supply) of the growing season (Rubets et al., 2021; Shostak et al., 2023).

It should be noted that the formation of grain quality indicators of spring soft wheat is largely influenced by the temperature regime and the amount of precipitation at the end of the growing season (in the milky-wax ripeness phase) of wheat (Shatalina et al., 2025).

According to monitoring data, in Tomsk Oblast, the quality indicators of spring wheat grain in 2024 were affected by unfavorable weather conditions that developed during the harvesting period. The amount of precipitation in August was 142 mm (see Table 1), which was 209% of the norm. Moreover, most of the precipitation (90.9 mm) fell in the third ten-day period of the month. This led to severe waterlogging of the soil in all grain-growing areas of the region and the death of agricultural crops on an area of 3.5 thousand hectares. In connection with this, a regional emergency regime was introduced throughout Tomsk Oblast in the first ten days of September (Governor Vladimir Mazur established..., 2025).

Results of determining the indicators of grain quality and safety

The results obtained during the research of grain quality and safety indicators are presented in Table 2.

The data presented in Table 2 allowed us to conclude that the spring wheat grain of the 2024 harvest complies with the requirements of GOST 9353-2016.

One of the most important quality indicators that determines the baking properties of grain is the gluten contained in the endosperm (Zharkova S.V., 2020). Another important indicator is the falling number, which reflects the activity level of the alpha-amylase enzyme contained in the grain. When grain germinates, the activity of this enzyme increases many times, and the falling number decreases (Krupnov, Krupnova, 2015). The lower the falling number, the worse the grain class. For the 5th class of grain, there is no limiting standard for the falling number, for the 4th class this indicator must be at least 80 seconds, for the 3rd – at least 150, the 1st and 2nd classes are characterized by a falling number of at least 200 seconds. Wheat grain with a falling number of at least 200 seconds is considered the most valuable in terms of quality, and grain with a falling number of 220 seconds is used as an improver in the production of flour (GOST 34702). As can be seen from the table. 2, the highest values of the falling number were recorded for wheat grain grown in areas of the II soil and climate zone. However, on average in the region, the level of this indicator was low, which is due to unfavorable conditions that arose in the region

Табл. 2. Результаты, полученные при определении качества и безопасности зерна пшеницы яровой (2024)

Table 2. Results obtained in determining the quality and safety of spring wheat grain (2024)

№ п/п Показатели Indicators			Почвенно-климатическая зона и район отбора образцов Soil-climatic zone and sampling area						
			I			II			
			Крив Kriv	Кож Kozh	Томс Toms	Шег Sheg	Асин Asin	Зыр Zyr	Перв Perv
1	Цвет	Color	С	С	С	С	С	С	С
2	Запах	Smell	С	С	С	С	С	С	С
3	Зараженность вредителями, экз/кг	Pest infestation, specimens/kg	0	0	0	0	0	0	0
4	Загрязненность насекомыми-вредителями, экз/кг	Insect pest infestation, specimens/kg	0	0	0	0	0	0	0
5	Сорная примесь, %	Weed impurity, %	0,44	1,10	1,74	0,68	1,33	0,95	1,55
6	Зерновая примесь, % В т. ч. проросшие	Grain impurity, % including sprouted	3,53	5,79	6,35	4,99	5,93	6,61	5,36
7	Влажность, %	Moisture, %	11,14	13,78	14,49	14,68	13,18	13,53	13,81
8	Натура, г/дм³	Nature, g/dm³	714,5	709,5	687,1	712,2	688,3	695,1	676,3
9	Стекловидность, %	Vitreousness, %	40,0	43,3	42,5	44,8	41,5	40,2	36,9
10	Типовой состав	Typical composition	III	III	III	III	III	III	III
11	М. д. сырой клейковины, %	M.f. of raw gluten, %	24,46 (22,4–28,6)	25,98 (18,5–32,4)	25,02 (19,7–29,0)	23,72 (20,4–31,3)	23,79 (19,7–26,7)	24,78 (17,8–30,7)	22,63 (17,4–30,2)
12	Качество клейковины, ед. ИДК	Quality of gluten, units of GDI	83	79,5	76,1	86,5	68,7	79,6	70,3
13	М. д. белка в пересчете на а. с. в., %	Protein content in terms of dry matter, %	14,79	14,97	13,77	14,68	13,75	14,37	13,19
14	Число падения (среднее и диапазон значений)	Falling number (average and range of values)	122,8 (61–166)	136,1 (61–442)	94,7 (61–248)	90,0 (62–310)	66,2 (61–124)	78,2 (61–158)	67,12 (61–119)
15	Наличие фузариозных зерен, %	Presence of grains infected by fusarium, %	0,0	0,04	0,06	0,05	0,0	0,03	0,03
16	Наличие головневых зерен, %	Presence of grains infected by smut, %	0,0	0,29	0,0	0,12	0,0	0,0	0,35
17	Наличие зерен, поврежденных клопом-черепашкой, %	Presence of grains damaged by corn bug, %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	Тоннаж, тыс. т	Tonnage, thousand tons.	6,6	68,2	25,0	29,0	6,17	23,9	5,0

Примечание: I – тайга низменности, II – подтайга предгорий, III – подтайга низменности; Крив – Кривошеинский, Кож – Кожевниковский, Томс – Томский, Шег – Шегарский, Асин – Асиновский, Зыр – Зырянский, Перв – Первомайский районы отбора образцов; С – значение показателя свойственно здоровому зерну согласно нормативному документу (ГОСТ 9353); III – типовой состав соответствует мягкой яровой пшенице (ГОСТ 9353); м. д. – массовая доля; ИДК – индекс деформации клейковины; а. с. в. – абсолютно сухое вещество.

Note: I – lowland taiga, II – foothill subtaiga, III – lowland subtaiga; Kriv – Krivosheinsky, Kozh – Kozhevnikovsky, Toms – Tomsy, Sheg – Shegarsky, Asin – Asinovsky, Zyr – Zyryansky, Perv – Pervomaysky sampling districts; С – the value of the indicator is characteristic of healthy grain according to the normative document (GOST 9353); III – the typical composition corresponds to soft spring wheat (GOST 9353); m.f. – mass fraction; GDI – gluten deformation index; a.d.m. – absolutely dry matter.

Табл. 3. Классы качества пшеницы в районах Томской области в 2024 г.
Table 3. Wheat quality classes in Tomsk Oblast districts in 2024

Район области	District	Количество исследованных образцов Studied samples number	Доля пшеницы, % Share of wheat, %		
			3-й класс 3rd class	4-й класс 4th class	5-й класс 5th class
Асиновский	Asinovsky	25	0	0	100
Зырянский	Zyryansky	60	2,1	10,9	87,0
Кожевниковский	Kozhevnikovsky	144	15,2	23,3	61,4
Кривошеинский	Krivosheinsky	14	0	68,2	31,8
Первомайский	Pervomaysky	26	0	14,0	86,0
Томский	Tomsky	55	2,0	10,0	88,0
Шегарский	Shegarsky	60	6,5	11,3	82,1

числа падения зафиксированы у зерна пшеницы, выращенного в районах II почвенно-климатической зоны. Однако в среднем по области уровень данного показателя оказался низким, что связано с неблагоприятными условиями, возникшими в регионе с середины августа (переувлажнение привело к прорастанию зерна пшеницы в колосе). Именно поэтому при проведении мониторинга зерна показатель «число падения» стал классообразующим, несмотря на то что уровень массовой доли сырой клейковины в среднем соответствовал 3–4-му классу.

В табл. 3 приведено распределение зерна пшеницы яровой по классам в 2024 г. в зависимости от района выращивания.

В непростых климатических условиях 2024 г. в Кожевниковском, Шегарском, Томском и Зырянском районах удалось вырастить зерно пшеницы 3-го класса. Однако основная масса убранного зерна была отнесена к 5-му классу. Учитывая, что в структуре производства сельскохозяйственной продукции Томской области преобладает животноводство, можно с уверенностью говорить о том, что основная масса зерна пшеницы была переработана на корм животным.

Результаты гербологического анализа зерна

По данным гербологического анализа, в образцах зерна яровой пшеницы выявлено 46 видов сорных растений (см. табл. 4).

Наиболее распространенными видами, диаспоры которых отмечены в образцах большей части районов, являются овсюг (*Avena fatua*), конопля полевая (*Cannabis sativa*), марь белая (*Chenopodium album*), ежовник обыкновенный (*Echinochloa crus-galli*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*), гречиха татарская (*Fagopyrum tataricum*), гречишка вьюнковая (*Fallopia convolvulus*), пикульники двунадрезанный и красивый (*Galeopsis* sp.), подмаренник Вайана (*Galium vaillantii*), просо сорное (*Panicum miliaceum* ssp. *rudera*le), горец развесистый (*Persicaria lapathifolia* s.l.), щетинники низкий (*Setaria pumila*) и зеленый (*S. viridis*), чистец болотный (*Stachys palustris*), горошек мышиный (*Vicia cracca*).

Большая часть перечисленных видов являются обычными сорняками в посевах

from mid-August (over-moistening led to the germination of wheat grain in the ear). That is why, when monitoring grain, the “falling number” indicator became class-forming, despite the fact that the level of the mass fraction of raw gluten on average corresponded to class 3–4.

Table 3 shows the distribution of spring wheat grain by class in 2024 depending on the growing region.

In difficult climatic conditions of 2024, in Kozhevnikovsky, Shegarsky, Tomsky and Zyryansky districts, it was possible to grow wheat grain of the 3rd class. However, the bulk of the harvested grain was classified as the 5th class. Considering that livestock farming predominates in the structure of agricultural production in Tomsk Oblast, it can be said with confidence that the bulk of the wheat grain was processed for animal feed.

Results of herbological analysis of grain

According to the herbological analysis, 46 species of weeds were identified in the spring wheat grain samples (see Table 4).

The most common species, diaspores of which were noted in samples from most areas, are *Avena fatua*, *Cannabis sativa*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Elytrigia repens*, *Fagopyrum tataricum*, *Fallopia convolvulus*, *Galeopsis* sp., *Galium vaillantii*, *Panicum miliaceum* ssp. *rudera*le, *Persicaria lapathifolia* s.l., *Setaria pumila* and *S. viridis*, *Stachys palustris*, *Vicia cracca*.

Most of the listed species are common weeds in agricultural crops in Tomsk Oblast. Thus, the occurrence of *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Fallopia convolvulus* and *Galeopsis* sp. in crops reaches 56–73%, *Avena fatua*, *Galium vaillantii*, *Persicaria lapathifolia* and *Setaria viridis* – 31–47% (Ebel et al., 2021).

In accordance with the Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated September 8, 2021 No. 611, when monitoring spring wheat, special attention is paid to the presence of such easily confused species in seed samples as *Avena fatua* and *Fagopyrum tataricum*. The results of our examinations

Табл. 4. Видовой состав сорных растений, засоряющих семена яровой пшеницы в Томской области (2024)

Table 4. Species composition of weeds contaminating spring wheat seeds in Tomsk Oblast (2024)

		Почвенно-климатическая зона и район отбора образцов Soil-climatic zone and sampling area						
№ п/п	Виды Species	I	II			III		
		Крив Kriv	Кож Kozh	Томс Toms	Шер Sheg	Асин Asin	Зыр Zyr	Перв Perv
1	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	–	–	–	–	–	+	–
2	<i>Arctium tomentosum</i> Mill.	–	–	–	–	–	+	–
3	<i>Avena fatua</i> L.	+	+	+	+	+	+	+
4	<i>Brassica napus</i> L.	+	+	+	+	+	+	+
5	<i>Brassica campestris</i> L.	–	–	–	+	–	+	–
6	<i>Cannabis sativa</i> L.	+	+	+	–	+	+	–
7	<i>Centaurea cyanus</i> L.	–	–	–	–	+	+	+
8	<i>Centaurea scabiosa</i> L.	–	–	–	+	–	–	–
9	<i>Chenopodium album</i> L.	–	+	+	+	+	+	+
10	<i>Cirsium arvense</i> L.	–	–	–	–	–	+	–
11	<i>Conium maculatum</i> L.	–	–	–	–	–	+	–
12	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	+	+	–	–	–	+	–
13	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	+	+	+	+	+	+	+
14	<i>Echium vulgare</i> L.	–	–	+	–	–	–	–
15	<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	+	+	+	+	–	+	+
16	<i>Eriochloa villosa</i> (Thunb.) Kunth	+	+	+	–	–	+	+
17	<i>Euphorbia virgata</i> Waldst. et Kit.	–	–	–	–	–	+	–
18	<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér.	–	–	–	–	+	+	+
19	<i>Fagopyrum tataricum</i> (L.) Gaertn.	–	+	+	+	+	+	+
20	<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) Á. Löve	+	+	+	+	+	+	+
21	<i>Fumaria officinalis</i> L.	–	–	–	–	+	+	+
22	<i>Galeopsis</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+
23	<i>Galeopsis ladanum</i> L.	–	–	–	–	–	+	–
24	<i>Galium vaillantii</i> DC.	–	+	+	+	+	+	+
25	<i>Lappula squarrosa</i> (Retz.) Dumort.	–	+	+	–	–	+	–
26	<i>Lycopsis arvensis</i> L.	–	–	–	–	+	–	–
27	<i>Malva pusilla</i> Sm.	–	+	–	–	–	–	–
28	<i>Melandrium album</i> (Mill.) Garck	+	–	–	+	–	–	+
29	<i>Neslia paniculata</i> (L.) Desv.	–	+	+	–	–	+	–
30	<i>Oberna behen</i> (L.) Ikonn.	–	+	–	–	+	+	–
31	<i>Panicum miliaceum</i> ssp. <i>ruderales</i> (Kitag.) Tzvelev	+	+	+	+	+	+	+
32	<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Delarbre s.l.	+	+	+	+	+	+	+
33	<i>Pisum arvense</i> L.	–	–	–	–	–	+	–
34	<i>Plantago</i> sp.	–	–	–	–	–	+	–
35	<i>Polygonum aviculare</i> L.	–	+	+	+	–	+	–
36	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	–	–	–	–	–	–	+
37	<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Schult.	+	+	+	+	+	+	+
38	<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.	+	+	+	+	+	+	+
39	<i>Spergula arvensis</i> L.	–	–	–	–	–	–	+
40	<i>Stachys palustris</i> L.	–	+	+	–	+	+	+
41	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	–	–	+	–	+	–	+
42	<i>Thlaspi arvense</i> L.	–	–	+	+	–	+	–
43	<i>Vicia</i> sp.	–	+	–	+	–	–	–
44	<i>Vicia cracca</i> L.	+	+	–	+	+	+	+
45	<i>Vicia hirsuta</i> (L.) Gray	–	–	–	+	+	+	+
46	<i>Viola arvensis</i> Murray	–	–	+	–	–	+	+
Всего видов Total species		15	24	23	21	22	37	25

Примечание: расшифровка условных обозначений почвенно-климатических зон и административных районов приведена в примечании к табл. 2; + вид выявлен в образцах, – вид не выявлен.

Note. The explanation of the symbols for soil-climatic zones and administrative regions is given in the note to Table 2; + species identified in samples, – species not identified.

Табл. 5. Встречаемость семян *Avena fatua* и *Fagopyrum tataricum* в зерне яровой пшеницы в Томской области (2024)
Table 5. Seed occurrence of *Avena fatua* and *Fagopyrum tataricum* in spring wheat grain in Tomsk Oblast (2024)

Районы	Districts	Встречаемость в хозяйствах, % Occurrence in farms, %		Встречаемость в образцах, % Occurrence in samples, %	
		Avena fatua Avena fatua	Fagopyrum tataricum Fagopyrum tataricum	Avena fatua Avena fatua	Fagopyrum tataricum Fagopyrum tataricum
I ЗОНА I ZONE					
Кривошеинский	Krivosheinsky	50,0	0	30,8	0
II ЗОНА II ZONE					
Кожевниковский	Kozhevnikovsky	71,4	14,3	28,3	11,6
Томский	Tomsky	83,3	11,1	23,4	2,1
Шегарский	Shegarsky	66,7	33,3	35,8	12,9
III ЗОНА III ZONE					
Асиновский	Asinovsky	60,0	20,0	38,5	11,5
Зырянский	Zyryansky	86,7	6,7	69,8	2,9
Первомайский	Pervomaysky	100,0	33,3	65,2	17,4

сельскохозяйственных культур на территории Томской области. Так, встречаемость в посевах *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Fallopia convolvulus* и *Galeopsis* sp. достигает 56–73%, *Avena fatua*, *Galium vaillantii*, *Persicaria lapathifolia* и *Setaria viridis* – 31–47% (Эбель и др., 2021).

В соответствии с Приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 8 сентября 2021 г. № 611, при мониторинге яровой пшеницы особое внимание уделяют наличию в образцах семян таких трудноотделимых видов, как овсюг (*Avena fatua*) и гречиха татарская (*Fagopyrum tataricum*). Результаты наших обследований образцов зерна пшеницы на наличие данных видов представлены в табл. 5 и свидетельствуют о довольно частой засоренности овсюгом выращиваемой в районах Томской области пшеницы.

Редкие обнаружения характерны для таких сеgetально-рудеральных видов, как лопух паутинистый (*Arctium tomentosum*), василек скабиозовый (*Centaurea scabiosa*), болиголов пятнистый (*Conium maculatum*), синяк обыкновенный (*Echium vulgare*), которые чаще всего произрастают по краям посевов. Изредка попадают виды, диаспоры которых гораздо мельче, чем семена пшеницы (*Amaranthus retroflexus*, *Euphorbia virgata*, *Galeopsis ladanum*, *Plantago* sp., *Spergula arvensis*), или крупнее их (*Pisum arvense*). Такие виды, как синяк обыкновенный (*Echium vulgare*), молочай прутьевидный (*Euphorbia virgata*) и кривоцвет полевой (*Lycopsis arvensis*) (см. рис. 6) не отмечались нами ранее на территории Томской области в составе сорной флоры агроценозов сельскохозяйственных культур, включая пшеницу (Эбель и др., 2021, 2024). По нашим данным, *Euphorbia virgata* – обычный сорняк на полях более южных соседних регионов. Семена этого вида регулярно с небольшим обилием встречаются в зернопродукции, выращиваемой в Кемеровской, Новосибирской, Омской областях, Алтайском и Красноярском краях. *Lycopsis arvensis* изредка встречается в посевах Омской и Кемеровской областей, Алтайского

of wheat grain samples for the presence of these species are presented in Table 5 and indicate a fairly frequent contamination of wheat grown in Tomsk Oblast with *Avena fatua*.

Rare detections are typical of such segetal-ruderal species as *Arctium tomentosum*, *Centaurea scabiosa*, *Conium maculatum*, *Echium vulgare*, which most often grow along the edges of crops. Occasionally, there are species whose diaspores are much smaller than wheat seeds (*Amaranthus retroflexus*, *Euphorbia virgata*, *Galeopsis ladanum*, *Plantago* sp., *Spergula arvensis*), or larger (*Pisum arvense*). Such species as *Echium vulgare*, *Euphorbia virgata* and *Lycopsis arvensis* (see Fig. 6) have not been previously reported by us in Tomsk Oblast as part of the weed flora of agrocenoses of agricultural crops, including wheat (Ebel et al., 2021, 2024). According to our data, *Euphorbia virgata* is a common weed in the fields of more southern neighboring regions. Seeds of this species are regularly detected in small abundance in grain products grown in the Kemerovo Oblast, Novosibirsk Oblast, Omsk Oblast, Altai Krai and Krasnoyarsk Krai. *Lycopsis arvensis* is occasionally reported in crops of Omsk Oblast and Kemerovo Oblast, Altai Krai, and its diaspores are sometimes detected in grain products from the Kemerovo Oblast and Omsk Oblast.

Of particular interest is the presence in the grain of wheat of diaspores invasive for Tomsk Oblast (black book ..., 2016) species: *Conium maculatum*, *Echinochloa crus-galli*, *Echium vulgare*, *Vicia hirsuta*. One of the main contaminators of agricultural agriculture is *Echinochloa crus-galli*. Its occurrence is very high: this invasive weed is noted in 73 % of agricultural-specifics previously investigated, with an abundance from average to high (3-5 points) (Ebel, Mikhailov, 2021).

In samples of 5 districts located in different soil-climatic zones, the fruits of an annual cereal weed

края, а его диаспоры иногда обнаруживаются в зернопродукции из Кемеровской и Омской областей.

Особый интерес представляет наличие в зерне пшеницы диаспор инвазивных для Томской области (Черная книга... 2016) видов: *Conium maculatum*, *Echinochloa crus-galli*, *Echium vulgare*, *Vicia hirsuta*. Одним из основных засорителей агроценозов региона является ежовник обыкновенный (*Echinochloa crus-galli*). Его встречаемость очень высока: этот инвазивный сорняк отмечен в 73% исследованных нами ранее агроценозов, с обилием от среднего до высокого (3–5 баллов) (Эбель, Михайлова, 2021).

В образцах из 5 районов, расположенных в разных почвенно-климатических зонах, выявлены плоды однолетнего злакового сорняка – шерстняка мохнатого (*Eriochloa villosa*). Этот вид является трудноискоренимым сорняком в агроценозах полевых культур на Дальнем Востоке и юге европейской части России. В последние годы шерстняк отмечен в посевах различных сельскохозяйственных культур в Томской области (Эбель и др., 2024). В ходе мониторинга установлено, что в ряде районов данный вид встречается в пшенице, выращенной в разных хозяйствах. Например, в Кожевниковском районе при обследовании пшеницы, выращенной в 14 хозяйствах, *Eriochloa villosa* обнаружен в образцах из четырех хозяйств. Причем плоды шерстняка мохнатого обнаружены в образцах пшеницы, поступивших не только из южных районов подтайги, но и более северных, относящихся к таежной зоне.

При проведении герботологического анализа образцов зерна яровой пшеницы урожая 2024 г. не было выявлено диаспор карантинных сорняков, перечисленных в едином перечне карантинных объектов ЕАЭС, а также сорняков, регулируемых в зерне пшеницы фитосанитарными требованиями Китайской Народной Республики – основной страны – импортера томского зерна.

were revealed *Eriochloa villosa*. This species is a resistant weed in agricultural crops in the Far East and south of the European part of Russia. In recent years, *Eriochloa villosa* has been noted in crops of various agricultural crops in Tomsk Oblast (Ebel et al., 2024). During the monitoring, it was found that in some areas this species occurs in wheat grown in different farms. For example, in the Kozhevnikovsky district during a survey of wheat grown in 14 farms, *Eriochloa villosa* was detected in samples of 4 farms. Moreover, its fruits were detected in samples of wheat received not only from the southern regions of Podtygi, but also more northern ones belonging to the taiga zone.

When conducting a herbological analysis of grain samples of spring wheat of the crop of 2024, there were no diaspores of quarantine weeds listed in the Common List of Quarantine Pests of the EAEU, as well as weeds regulated in the grain of wheat grain of the Chinese People's Republic-the main country of Tomsk grain.

During the monitoring, additional information about weeds accompanying the main culture was obtained. Along with the development of modern methods of studying the phytosanitary state of crops, for example, remote sensing (Shumilov et al., 2018; Shpanev, 2019), the data of herbological examinations of seeds of agricultural crops should be used more (Sukholozova et al., 2022; Ebel, 2023; Chaplygin, etc., 2024.).

CONCLUSION

During the monitoring conducted by the specialists of the Tomsk branch of VNIKR, it was found that most of the crop grown in 2024 of the spring wheat belongs to the 5th class and is suitable only for animal feed. This result is due to adverse weather conditions (excessive soil moisture by harvesting the time led to the partial death of wheat crops and the spike grain germination in the remaining crops).

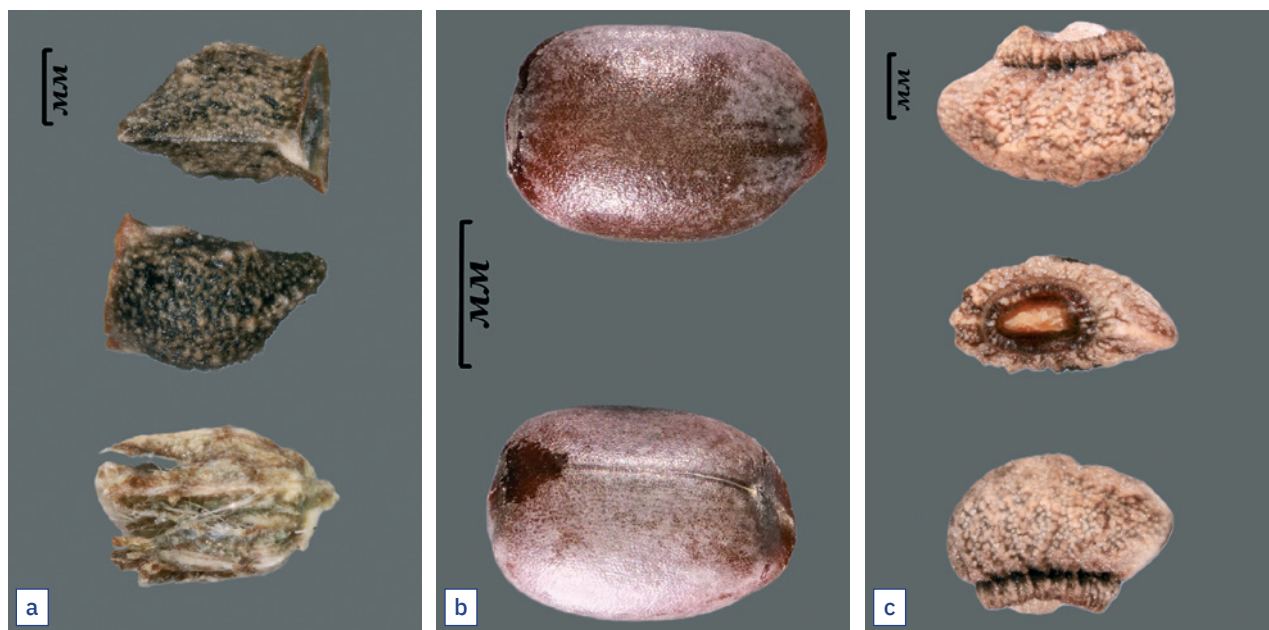


Рис. 6. Диаспоры сорняков, выявленных в ходе мониторинга впервые для агроценозов Томской области: а – синяк обыкновенный (*Echium vulgare*), б – молочай прутьевидный (*Euphorbia virgata*), с – кривоцвет полевой (*Lycopsis arvensis*) (фото: Т. В. Эбель)

Fig. 6. Weed diaspores detected during monitoring for the first time for agrocnoses of Tomsk Oblast: а – *Echium vulgare*, б – *Euphorbia virgata*, с – *Lycopsis arvensis* (photos by T.V. Ebel)

В ходе проведенного мониторинга получены дополнительные сведения о сорняках, сопутствующих основной культуре. Наряду с развитием современных методов исследования фитосанитарного состояния посевов, например дистанционного зондирования (Шумилов и др., 2018; Шпанев, 2019), следует шире использовать данные герботологических обследований семян сельскохозяйственных культур (Сухолозова и др., 2022; Эбель и др., 2023; Чаплыгин и др., 2024).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного специалистами Томского филиала ВНИИКР мониторинга установлено, что большая часть урожая выращенной в 2024 г. яровой пшеницы относится к 5-му классу и пригодна только на корм животным. Такой результат обусловлен неблагоприятными погодными условиями (переувлажнение почвы ко времени уборки урожая привело к гибели части посевов пшеницы и прорастию зерна в колосе в оставшихся посевах).

Результаты проведенных в ходе мониторинга герботологических анализов партий семян яровой пшеницы дают дополнительную информацию о видовом составе сорных растений агроценозов Томской области и могут быть использованы для разработки практических рекомендаций конкретным хозяйствам о распространении наиболее вредных сорных видов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 13586.3-2015 Зерно. Правила приемки и методы отбора проб. М.: Стандартинформ, 2019, 17 с.
2. ГОСТ 34702-2020 Пшеница хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 15 с.
3. ГОСТ 9353-2016 Пшеница. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016, 15 с.
4. ГОСТ Р 71208-2024 Зерно. Определение влажности, белка, количества клейковины методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. М.: Российский институт стандартизации, 2014. 10 с.
5. Доброхотов В.Н. Семена сорных растений. М.: Сельхозиздат, 1961, 414 с.
6. Жаркова С.В. Качество зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от условий возделывания. Международный журнал гуманитарных и естественных наук № 9-1 (48). DOI 10.24411/2500-1000-2020-10973
7. Ионов Е.В., Лиховидова В.А., Лобунская И.А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. № 6. С. 18-22. DOI 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22
8. Крупнов В.А., Крупнова О.В. Подходы по улучшению качества зерна пшеницы: селекция на число падения // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. № 19(5). С. 604-612. DOI 10.18699/VJ15.077
9. Майсурян Н.А., Атабекова А.И. Определи- тель семян и плодов сорных растений. М.: Колос, 1978, 288 с.
10. Москаленко Г.П., Юдин Б.И. Атлас се- мян и плодов сорных растений, встречающихся

The results of herbotological tests of spring wheat seeds bulks carried out during the monitoring provide additional information about the species composition of weed plants agrocenoses of Tomsk Oblast and can be used to develop practical recommendations to specific farms about the spread of the most harmful weeds.

REFERENCES

1. GOST 13586.3-2015 Grain. Acceptance rules and sampling methods. M.: Standinform, 2019, 17 p.
2. GOST 34702-2020 wheat is bakery. Specifica- tions. M.: Standinform, 2020. 15 p.
3. GOST 9353-2016 Wheat. Specifications. M.: Standinform, 2016, 15 p.
4. GOST R 71208-2024 Grain. Determination of humidity, protein, the amount of gluten by spectroscopy in the near infrared region. M.: Russian Institute of Standardization, 2014. 10 p.
5. Dobrokhoto V.N. Weed seeds [Semena sornykh rasteniy]. M.: Agriculture, 1961, 414 p. (In Russ.)
6. Zharkova S.V. Grain quality of spring soft wheat depending on cultivation conditions [Kachestvo zerna yarovoy myagkoy pshenitsy v zavisimosti ot usloviy vozdelvaniya]. International Journal of Humanities and Natural Sciences № 9-1 (48). DOI 10.24411/2500-1000-2020-10973 (In Russ.)
7. Ionova E.V., Likhovidova V.A., Lobunskaya I.A. Drought and the hydrothermal coefficient of moisten- ing as one of the criteria for assessing the degree of its intensity (literature review) [Zasukha i gidrotermich- eskiy koeffitsiyent uvlazhneniya kak odin iz kriteriyev otsenki stepeni yeye intensivnosti] // Grain Economy of Russia. 2019; 6: 18-22. DOI 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22 (In Russ.)
8. Krupnov V.A., Krupnova O.V. Approaches to improving the quality of wheat grain: breeding for falling number [Podkhody po uluchsheniyu kachest- va zerna pshenitsy: selektsiya na chislo padeniya] // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2015; 19(5): 604-612. DOI 10.18699/VJ15.077 (In Russ.)
9. Maysuryan N.A., Atabekova A.I. Identifica- tion key to weed seeds and fruits [Opredelitel' semy- an i plodov sornykh rasteni]. M.: Kolos, 1978, 288 p. (In Russ.)
10. Moskalenko G.P., Yudin B.I. Atlas of weed seeds and fruits detected in quarantine cargoes and materials [Atlas semyan i plodov sornykh rasteniy, vstrechayushchikhsya v podkarantinnykh gruzakh i materialakh]. Moscow: Scientific Publications Part- nership KMK, 1999, 264 p. (In Russ.)
11. Rubets V.S. et al. The influence of meteo- rological conditions on the quality of spring wheat grain (*Triticum* L.) [Vliyaniye meteorologicheskikh usloviy na kachestvo zerna yarovoy pshenitsy (*Triti- cum* L.)] / Rubets V.S., Voronchikhina I.N., Pylnev V.V., Voronchikhin V.V., Marenkova A.G. // Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy. 2021; 5: 89-108. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-89-108 (In Russ.)
12. Selyaninov G.T. On agricultural climate assessment [O selskokhozyaystvennoy otsenke

в подкарантинных грузах и материалах. М.: Товарищество научных изданий КМК, 1999, 264 с.

11. Рубец В.С. и др. Влияние метеорологических условий на качество зерна яровой пшеницы (*Triticum L.*) / Рубец В.С., Ворончихина И.Н., Пыльнев В.В., Ворончихин В.В., Маренкова А.Г. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 89–108. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-89-108

12. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 165–177.

13. Системы земледелия Томской области на ландшафтной основе. Часть 1. / Д.А. Савельева, А.Б. Сайнакова, О.В. Литвинчук и др. Томск: СибНИИСХИТ – филиал СФНЦА РАН, 2018, 266 с.

14. Сортовое районирование сельскохозяйственных культур, допущенных к использованию в Томской области на 2022 год и результаты сортоиспытания за 2019–2021 года. Томск, 2022, 68 с.

15. Сухолозова Е.А., Сафонов А.В., Сухолозов Е.А. Изучение сорных растений в пшенице, выращенной на территории Пензенской области, для оценки экспортного потенциала региона // Фитосанитария. Карантин растений. 2022. № 2 (10). С. 14–24. DOI: 10.69536/p6953-2144-3784-x

16. Чаплыгин М.П., Гусейнбеков А.Ю., Петина В.В. Видовой состав семян и плодов сорных растений в подкарантинной продукции из центральных районов Ставропольского края // Фитосанитария. Карантин растений. 2024. № 1 (17). С. 56–63.

17. Черная книга флоры Сибири / науч. ред. Ю.К. Виноградова, отв. ред. А.Н. Куприянов. Новосибирск: академическое изд-во «Гео», 2016, 440 с.

18. Шаталина Л.П. и др. Качество зерна яровой мягкой пшеницы в северной лесостепи Южного Урала / Шаталина Л.П., Анисимов Ю.Б., Мошкина Ю.С., Лопухов П.М., Калюжина Е.Л. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 4. С. 5–15. DOI: 10.26898/0370-8799-2025-4-1.

19. Шостак М.М., Татаринцев В.Л., Татаринцев Л.М. Изменение показателей качества зерна яровой мягкой пшеницы в Алтайском крае во временном лаге // Вестник КрасГАУ. 2023. № 11. С. 139–148. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-139-148.

20. Шпанев А.М. Экспериментальная база для дистанционного зондирования фитосанитарного состояния агроэкосистем на Северо-Западе РФ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 61–68. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-61-68

21. Шумилов Ю.В. и др. Использование беспилотных летательных аппаратов для целей фитосанитарного мониторинга в отношении сорных растений / Шумилов Ю.В., Лунева Н.Н., Ермоленко С.А., Савва А.П., Закота Т.Ю., Мыслик Е.Н., Данилов Р.Ю. // Вестник защиты растений. 2018. № 4 (98). С. 22–27. DOI: 10.31993/2308-6459-2018-4(98)-22-27

22. Эбель А.Л., Михайлова С.И., Эбель Т.В. Распространение и некоторые биологические особенности чужеродного вида *Eriochloa villosa* (Poaceae: Paniceae) в Сибири // Российский журнал биологических инвазий. 2024. Т. 17. № 2. С. 180–194. DOI: 10.35885/1996-1499-17-2-180-194

klimate] // Works on agricultural meteorology. 1928; 20: 165–177. (In Russ.)

13. Landscape-based farming systems of Tomsk Oblast [Sistemy zemledeliya Tomskoy oblasti na landshaftnoy osnove]. Part 1. / D.A. Savelyeva, A.B. Sainakova, O.V. Litvinchuk et al. Tomsk: SibNIISKHIT – branch of SFNCA RAS, 2018, 266 p. (In Russ.)

14. Varietal zoning of agricultural crops approved for use in Tomsk Oblast for 2022 and the results of variety testing for 2019–2021. Tomsk, 2022, 68 p. (In Russ.)

15. Sukholozova E.A., Safonov A.V., Sukholozov E.A. Study of weeds in wheat grown in Penza Oblast to assess the export potential of the region // Plant Health and Quarantine. 2022; 2 (10): 14–24. DOI: 10.69536/p6953-2144-3784-x

16. Chaplygin M.P., Guseinbekov A.Yu., Petina V.V. The species composition of weed seeds and fruits in regulated articles from the central districts of Stavropol Krai // Plant Health and Quarantine. 2024; 1 (17): 56–63.

17. The Black Book of Siberian Flora / scientific editor Yu.K. Vinogradova, responsible editor A.N. Kupriyanov. Novosibirsk: academic publishing house «Geo», 2016, 440 p. (In Russ.)

18. Shatalina L.P. et al. Grain quality of spring soft wheat in the northern forest-steppe of the Southern Urals [Kachestvo zerna yarovoy myagkoy pshenitsy v severnoy lesostepi Yuzhnogo Urala] / Shatalina L.P., Anisimov Yu.B., Moshkina Yu.S., Lopukhov P.M., Kalyuzhina E.L. // Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2025; 55:4: 5–15. DOI: 10.26898/0370-8799-2025-4-1. (In Russ.)

19. Shostak M.M., Tatarintsev V.L., Tatarintsev L.M. Changes in grain quality indicators of spring soft wheat in Altai Krai in a time lag [Izmeneniye pokazateley kachestva zerna yarovoy myagkoy pshenitsy v Altayskom kraye vo vremennom lage] // Bulletin of KrasGAU. 2023; 11: 139–148. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-139-148. (In Russ.)

20. Shpanev A.M. Experimental base for remote sensing of phytosanitary condition of agroecosystems in the North-West of the Russian Federation [Eksperimental'naya baza dlya distantsionnogo zondirovaniya fitosanitarnogo sostoyaniya agroekosistem na Severo-Zapade RF] // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2019; 16:3: 61–68. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-61-68 (In Russ.)

21. Shumilov Yu.V. et al. Use of unmanned aerial vehicles for the purposes of phytosanitary monitoring of weeds [Ispol'zovaniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya tseley fitosanitarnogo monitoringa v otnoshenii sornykh rasteniy] / Shumilov Yu.V., Luneva N.N., Ermoolenko S.A., Savva A.P., Zakota T.Yu., Mysnik E.N., Danilov R.Yu. // Bulletin of Plant Protection. 2018; 4 (98): 22–27. DOI: 10.31993/2308-6459-2018-4(98)-22-27 (In Russ.)

22. Ebel A.L., Mikhailova S.I., Ebel T.V. Distribution and some biological features of the alien species *Eriochloa villosa* (Poaceae: Paniceae) in Siberia // Russian Journal of Biological Invasions. 2024; 17:2:

23. Эбель Т.В., Михайлова С.И. Инвазивные виды растений в агроценозах Томской области // В сборнике: Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов. Материалы докладов VI Международной конференции. Кемерово, 2021. С. 107–108. DOI: 10.53650/9785902305606_107

24. Эбель Т.В., Михайлова С.И. Сорные растения, засоряющие семена рапса, выращиваемого в Западной Сибири, и фитосанитарные риски, связанные с ними // Фитосанитария. Карантин растений. 2023. № 3 (15). С. 15–24. DOI: 10.69536/w5518-0227-2664-j

25. Эбель Т.В., Эбель А.Л., Михайлова С.И. Герботологическая экспедиция в Томскую область и Алтайский край // Фитосанитария. Карантин растений. 2021. № 1 (5). С. 49–64. DOI: 10.69536/fkr.2021.30.58.001

26. Губернатор Владимир Мазур установил режим ЧС из-за дождей и гибели посевов | Департамент по социально-экономическому развитию села Томской области. URL: <https://depagro.tomsk.gov.ru/news/front/view?id=139142> (дата обращения: 24.04.2025).

27. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Томской области – Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. URL: <https://70.rosstat.gov.ru/folder/37240> (дата обращения 22.05.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Плиско Анна Олеговна, заведующий испытательной лабораторией Томского филиала ФГБУ «ВНИИКР», г. Томск, Россия;
e-mail: anna.aplisko.plisko@mail.ru

Михайлова Светлана Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Томского филиала ФГБУ «ВНИИКР», г. Томск, Россия; доцент кафедры сельскохозяйственной биологии НИ ТГУ, г. Томск, Россия;
ORCID ID: 0000-0003-4595-2032;
e-mail: mikhailova.si@yandex.ru

Эбель Татьяна Валерьевна, старший научный сотрудник испытательной лаборатории Томского филиала ФГБУ «ВНИИКР», г. Томск, Россия;
ORCID ID: 0000-0002-6356-7077;
e-mail: ebeltanya@yandex.ru

180–194. DOI: 10.35885/1996-1499-17-2-180-194 (In Russ.)

23. Ebel T.V., Mikhailova S.I. Invasive plant species in agrocenoses of Tomsk Oblast [Invazivnyye vidy rasteniy v agrotsenozakh Tomskoy oblasti] // In the collection: Problems of industrial botany of industrially developed regions. Proceedings of the reports of the VI International Conference. Kemerovo, 2021: 107–108. DOI: 10.53650/9785902305606_107 (In Russ.)

24. Ebel T.V., Mikhailova S.I. Weeds contaminating rape seeds grown in Western Siberia and phytosanitary risks associated with them // Plant Health and Quarantine. 2023; 3 (15): 15–24. DOI: 10.69536/w5518-0227-2664-j

25. Ebel T.V., Ebel A.L., Mikhailova S.I. Herbotological expedition to the Tomsk region and Altai Krai // Plant Health and Quarantine. 2021; 1 (5): 49–64. DOI: 10.69536/fkr.2021.30.58.001

26. Governor Vladimir Mazur declared a state of emergency due to rains and crop failure | Department of Social and Economic Development of Rural Areas of Tomsk Oblast. URL: <https://depagro.tomsk.gov.ru/news/front/view?id=139142> (last accessed: 24.04.2025).

27. Territorial body of the Federal State Statistics Service for Tomsk Oblast – Agriculture, hunting and forestry. URL: <https://70.rosstat.gov.ru/folder/37240> (last accessed 22.05.2025).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna Plisko, Head of the Testing Laboratory of the Tomsk Branch of FGBU “VNIKR”, Tomsk, Russia;
e-mail: anna.aplisko.plisko@mail.ru

Svetlana Mikhailova, PhD in Biology, Leading Researcher, Tomsk Branch of FGBU “VNIKR”, Tomsk, Russia; Associate Professor of Agricultural Biology Department, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia; ORCID ID 0000-0003-4595-2032,
e-mail: mikhailova.si@yandex.ru

Tatyana Ebel, Senior Researcher, Testing Laboratory of the Tomsk Branch of FGBU “VNIKR”, Tomsk, Russia; ORCID ID 0000-0002-6356-7077,
e-mail: ebeltanya@yandex.ru

Идентификация клещей рода *Tyrophagus* Oudemans, 1924 фауны России, имеющих фитосанитарное значение (Astigmata, Acaridae)

КАМАЕВ И.О.

ORCID 0000-0003-4251-4862,

e-mail: ilyakamayeff@yandex.ru

ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений»
(ФГБУ «ВНИИКР»), р. п. Быково, м. о. Раменский,
Московская обл., Россия, 140150

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена идентификации видов рода *Tyrophagus* фауны России, имеющих фитосанитарное значение, прежде всего, *T. putrescentiae* (Schrank, 1781), *T. longior* (Gervais, 1844), *T. vanheurni* Oudemans, 1924, *T. perniciosus* Zachvatkin, 1941, которые повреждают растительную продукцию в период хранения: зерно, корнеплоды, луковицы, семена сельскохозяйственных культур, арахис и др.; проявляют себя в качестве вредителей овощных культур защищенного грунта, в том числе при использовании в качестве трофического субстрата для хищных клещей – агентов биоконтроля, и (реже) открытого грунта, промышленных культур грибов; в фитопатологических лабораториях могут уничтожать микологические культуры, нанося ущерб биокolleкциям грибных организмов. В настоящей работе обобщена информация по фауне клещей рода *Tyrophagus*, распространенных на территории России, приведены новые сведения о находках *T. fanetzhangorum* Klimov & OConnor, 2009 на территории Европейской части России. Проведена оценка изменчивости отдельных диагностических признаков *T. putrescentiae* из разных географических локалитетов: показана вариабельность признаков: форма вершины соленидия $\omega 1$ на лапках I; форма *sx*; расположение тарзальных копулятивных присосок на лапке IV самцов; представлены диагностические признаки, позволяющие отличить данный вид от прочих видов рода *Tyrophagus* фауны России. В ходе исследования выявлено, что признак «отсутствие глазных пятен» характерен для следующих видов: *T. formicetorum*, *T. molitor*, *T. mixtus*. Приведена определительная таблица важнейших в фитосанитарном отношении видов рода *Tyrophagus* фауны России с учетом предшествующих исследований по таксономии и номенклатуре обсуждаемого рода. Статья содержит оригинальные иллюстрации ключевых диагностических признаков. Представленная информация может быть полезна в практической работе специалистов в области защиты

Identification of phytosanitary important mites of the genus *Tyrophagus* Oudemans, 1924 in the fauna of Russia (Astigmata, Acaridae)

ILYA O. KAMAYEV

ORCID 0000-0003-4251-4862,

e-mail: ilyakamayeff@yandex.ru

All-Russian Plant Quarantine Center
(FGBU "VNIKPR"), Bykovo, Ramenskoye,
Moscow Oblast, Russia, 140150

ABSTRACT

The article is devoted to the identification of phytosanitary important species of the genus *Tyrophagus* in the fauna of Russia, primarily, *T. putrescentiae* (Schrank, 1781), *T. longior* (Gervais, 1844), *T. vanheurni* Oudemans, 1924, *T. perniciosus* Zachvatkin, 1941, which damage plant products during storage: grain, root crops, bulbs, seeds of agricultural crops, peanuts, etc.; vegetable crops in protected ground, including when used as a trophic substrate for predatory mites – biocontrol agents, and (less often) open ground, industrial fungi crops; in phytopathological laboratories they can destroy mycological cultures causing damage to biocollections of fungal organisms. This paper summarizes information on the fauna of mites of the genus *Tyrophagus* common in Russia, and provides new records on *T. fanetzhangorum* Klimov & OConnor 2009 from the European part of Russia. An assessment of the variability of some diagnostic characters of *T. putrescentiae* from different geographic localities is made. The variability of the characters is shown: the shape of the apex of the solenidium $\omega 1$ on tarsi I; the shape of *sx*; the location of the suckers on tarsi IV of males. Diagnostic characters are presented that allow distinguishing *T. putrescentiae* from other *Tyrophagus* species in the fauna of Russia. The study revealed that the "absence of eyespots" is typical of the following species: *T. formicetorum*, *T. molitor*, *T. mixtus*. A key to the phytosanitary important species of the genus *Tyrophagus* in the fauna of Russia is provided, taking into account previous studies on the taxonomy and nomenclature of the genus under discussion. The article contains original illustrations of key diagnostic characters. The information presented may be useful in the practical

растений, в том числе биометода, сотрудников карантинных фитосанитарных лабораторий, агрономов-растениеводов и др.

Ключевые слова. Защита растений, диагностика, вредители запасов, вредители защищенного грунта, акароидные клещи.

ВВЕДЕНИЕ



Отдельные виды клещей рода *Tyrophagus* Oudemans, 1924 имеют фитосанитарное значение (Захваткин, 1941; Волгин, 1953; Robertson, 1959; Лившиц, 1990; Лившиц и др., 2011 и др.). В условиях хранения *T. putrescentiae* (Schrank, 1781), *T. longior* (Gervais, 1844)

и *T. vanheurni* Oudemans, 1924¹ повреждают зерно, корнеплоды, луковицы, семена сельскохозяйственных культур, арахис и др. Среди вредителей овощных культур защищенного и (реже) открытого грунта отмечены *T. putrescentiae*, *T. longior* и *T. perniciosus* Zachvatkin, 1941 (Копанева, 1982; Ахатов, Ижевский, 2004; Oliveira et al., 2007). Кроме того, *T. putrescentiae* может развиваться в массе и наносить ущерб промышленным культурам грибов, например шампиньонам (Лившиц и др., 2011), в фитопатологических лабораториях при неконтролируемом развитии может поедать и даже полностью уничтожать микологические культуры, нанося непоправимый урон биокolleкциям грибных организмов (см. рис. 1). В ряде случаев отмечается, что этот вид клеща используется в качестве трофической базы для агентов биологического контроля – хищных клещей (Pirayeshfar et al., 2020; Красавина, Трапезникова, 2022), поэтому может проникать вместе с последними в защищенный грунт, повреждая овощные культуры, в том числе апикальные меристемы (перс. сообщ.). Помимо этого, *T. putrescentiae* регулируется в качестве карантинного объекта в Республике Индонезия и указан в фитосанитарных требованиях Народной Республики Бангладеш в отношении зерна пшеницы на семенные цели.

В целом видовая идентификация клещей рода *Tyrophagus* представляется непростой задачей (Stejskal et al., 2025), в том числе из-за вариативности ряда диагностических признаков. Кроме того, представления о таксономии и номенклатуре группы неоднократно пересматривались (Захваткин, 1941; Волгин, 1949; Robertson, 1959; Samšinák, 1962; Fan, Zhang, 2007a,b): в частности, примечателен случай с видом-двойником *T. putrescentiae* (Fan, Zhang, 2007a,b; Klimov, O'Connor, 2009, 2010, 2015). Необходимо также отметить, что, следуя традиции А. А. Захваткина (1941), в отечественной литературе по сельскохозяйственной акарологии (Копанева, 1982; Лившиц, 1990; Ахатов, Ижевский, 2004; Лившиц и др., 2011) используется частично

work of specialists of plant protection, including biocontrol, quarantine phytosanitary laboratories, agronomists, etc.

Key words: plant protection, diagnosis, storage pests, greenhouse pests, acaroid mites.

INTRODUCTION

Certain mite species of the genus *Tyrophagus* Oudemans 1924 have phytosanitary significance (Zachvatkin, 1941; Volgin, 1953; Robertson, 1959; Livshits, 1990; Livshits et al., 2011, etc.). In storage conditions, *T. putrescentiae* (Schrank 1781), *T. longior* (Gervais 1844) and *T. vanheurni* Oudemans 1924¹ damage grain, root crops, bulbs, seeds of agricultural crops, peanuts, etc. Among the pests of vegetable crops in protected and (less often) open ground are noted *T. putrescentiae*, *T. longior* and *T. perniciosus* Zachvatkin 1941 (Kopaneva, 1982; Akhatov, Izhevskiy, 2004; Oliveira et al., 2007). Besides, *T. putrescentiae* can develop massively and cause damage to industrial fungi crops, such as champignons (Livshits et al., 2011); in phytopathological laboratories, if uncontrolled, it can feed on and even completely destroy mycological cultures, causing irreparable damage to biocollections of fungal organisms (Fig. 1). In some cases, it is noted that this mite species is used as a trophic base for biological control agents – predatory mites (Pirayeshfar et al., 2020; Krasavina, Trapeznikova, 2022), therefore, it can be transmitted into protected soil together with the latter, damaging vegetable crops, including apical meristems (pers. comm.). In addition, *T. putrescentiae* is regulated as a quarantine species in the Republic of Indonesia and is listed in the phytosanitary requirements of the People's Republic of Bangladesh for wheat grain for seed purposes.

In general, species identification of the genus *Tyrophagus* is a challenging task (Stejskal et al., 2025), including due to the variability of some diagnostic characters. In addition, conceptions about the taxonomy and nomenclature of the group have been repeatedly revised (Zachvatkin, 1941; Volgin, 1949; Robertson, 1959; Samšinák, 1962; Fan, Zhang, 2007a, b), in particular, the case of the cryptic species of *T. putrescentiae* is noteworthy (Fan, Zhang, 2007a, b; Klimov, O'Connor, 2009, 2010, 2015). It should also be noted that, following the tradition of A.A. Zachvatkin (1941), in the Russian literature on agricultural acarology (Kopaneva, 1982; Livshits, 1990; Akhatov, Izhevsky, 2004; Livshits et al., 2011) a partially outdated nomenclature of setae is used, which can cause

¹ In Russian-language literature (Volgin, 1975; Livshits et al., 2011) a junior synonym of this species is often given – *T. palmarum* Oudemans, 1924 (Fan, Zhang, 2007b)

¹ В русскоязычной литературе (Волгин, 1975; Лившиц и др., 2011) часто приводится младший синоним этого вида – *T. palmarum* Oudemans, 1924 (Fan, Zhang, 2007b)

устаревшая к настоящему времени номенклатура щетинок, что может вызвать сложности у неподготовленного специалиста при работе с современными источниками. Если характеризовать известные технические документы, то в методических указаниях МУК 4.2.1479-03 (2003) дана определительная таблица только до родового уровня, а имеющиеся ГОСТы (например, ГОСТ 13586.4-83; ГОСТ 13586.6-93; ГОСТ 34165-2017) содержат лишь краткую справочную информацию и не позволяют провести достоверную видовую идентификацию акароидных клещей. С учетом всего вышеизложенного для практики защиты и карантина растений имеет значение актуализация сведений по морфологической идентификации видов клещей рода *Tyrophagus*, встречающихся на территории России. Настоящая публикация в известной степени посвящена решению данного вопроса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были исследованы следующие виды рода *Tyrophagus*, распространенные на территории России и сопредельных стран, из коллекций Зоологического института РАН (ЗИН, см. рис. 2) и ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ВНИИКР):

– *T. formicetorum* Volgin, 1948. ЗИН: 2♀, Россия, Смоленская область, 1939 г., сб. В. И. Волгин; 1♂, 1♀, Россия, Ленинградская область, 1959 г., сб. В. И. Волгин;

– *T. longior* (Gervais, 1844). ЗИН: 7♂, 3♀, Россия, Ленинградская область, 1954–1959 гг.; 1♂, Россия, Кировская область, 1944 г.²;

– *T. mixtus* Volgin, 1948. ЗИН: 1♂, 3♀, Россия, Томская область, 1939 г.;

– *T. molitor* Zakhvatkin, 1941. ЗИН: 3♂, 10♀, Азербайджан (Нахичевань), раст. остатки, 5.XII.1967 г., сб. Г. Ш. Каджая; 1♂, 2♀, Грузия, раст. остатки, 5.V.1966 г., сб. Г. Ш. Каджая;

– *T. perniciosus* Zakhvatkin, 1941. ЗИН: 1♂, 1♀, Россия, Смоленская область, 1940 г.; 1♀, Россия, Кировская область, 1944 г.³; 1♂, 4♀, Россия, Саратовская область, 1955 г.;

– *T. putrescentiae* (Schrank, 1781). ЗИН: 1♀, Смоленская область, 1939 г.; 1♂, 1♀, Воронежская область, 1954 г.; 2♂, 2♀, Ленинградская область, 1959–1960 гг.; 2♂, 2♀, Азербайджан, картофель,



Рис. 1. Удлиненный (гнилостный, зерновой) клещ *T. putrescentiae* питается лабораторной культурой грибов (фото: И. О. Камаев)

Fig. 1. The mite *T. putrescentiae* feeds on a laboratory fungal culture (photo by I.O. Kamayev)

difficulties for an untrained specialist when working with modern sources. If we characterize the known technical documents, then the methodological guidelines MUK 4.2.1479-03 (2003) provide a key only to the generic level, and the existing national standards (for example, GOST 13586.4-83; GOST 13586.6-93; GOST 34165-2017) contain only brief reference information and do not allow for reliable species identification of acaroid mites. Taking into account all of the above, for the practice of plant protection and quarantine, it is important to update the information on the morphological identification of the mite species of the genus *Tyrophagus* recorded in Russia. This publication is to a certain extent devoted to solving this issue.

MATERIALS AND METHODS

The following species of the genus *Tyrophagus* common in Russia and neighboring countries were studied from the collections of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences (ZIN, Fig. 2) and the All-Russian Plant Quarantine Center (VNIICR):

T. formicetorum Volgin 1948. ZIN: 2♀, Russia, Smolensk Oblast, 1939, coll. V.I. Volgin; 1♂, 1♀, Russia, Leningrad Oblast, 1959, coll. V.I. Volgin.

T. longior (Gervais 1844). ZIN: 7♂, 3♀, Russia, Leningrad Oblast, 1954–1959; 1♂, Russia, Kirov Oblast, 1944².

T. mixtus Volgin 1948. ZIN: 1♂, 3♀, Russia, Tomsk Oblast, 1939.

² Comment on the material on *T. longior* and *T. perniciosus*. In 1938–1939, in the Orichovsky district of the Kirov Oblast (as indicated in the label to the microscope slide, see Fig. 2), S.V. Sorokin (1940) studied acaroid mites, the identification of the material was carried out under the supervision of A.A. Zachvatkin. In the label, the latter is indicated as the person who identified the material, but with the year 1944 (possibly, the year of identification is indicated, not the year of collection).

² Комментарий к материалу по *T. longior* и *T. perniciosus*. В 1938–1939 гг. в Оричевском районе Кировской области (как указано в этикетке к микропрепарату, см. рис. 2) по акароидным клещам работал С. В. Сорокин (1940), определение материала проводилось под руководством А. А. Захваткина. В этикетке последний указан в качестве лица, определившего материал, но с приведением 1944 г. (возможно, записан год проведения идентификации, а не сборов).

³ См. предыдущий комментарий.

1969 г.; 1♂, 2♀, Узбекистан, лаб. фитопатологии: колл. грибов, 1960 г.; 2♂, 2♀, Таджикистан, гниущ. яблоко, раст. остатки, 1969–1971 гг.; ВНИИР: 43♂, 60♀, Московская область, ВНИИР, лабораторные культуры насекомых и грибов, 2019–2023 гг., сборщик (далее – сб.) И. О. Камаев; 1♂, 2♀, Москва, биолaborатория, 2017 г., сб. А. К. Ахатов; 1♀, Нижегородская область, 2018 г., сб. А. К. Ахатов; 1♂, 1♀, Карачаево-Черкесия, 2018 г., сб. А. К. Ахатов; 1♂, 2♀, Новосибирская область, теплица, на огурце, 2017 г., сб. А. К. Ахатов;

– *T. similis* Volgin, 1949. ЗИН: 2♂, 4♀, Россия, Смоленская область, 1939 г.

– *T. vanheurni* Oudemans, 1924. ЗИН: 5♂, 7♀, Россия, Санкт-Петербург (Ленинград), 1940-е гг., сб. В. И. Волгин;

– *T. zachvatkini* Volgin, 1948. ЗИН: 1♀, Россия, Смоленская область, 1939 г., сб. В. И. Волгин; 3♂, 2♀, Россия, Ленинградская область, 1958–1965 гг., сб. В. И. Волгин.

Номенклатура щетинок тела приведена по Griffiths et al. (1990), ног – по Grandjean (1939).

Микропрепараты исследовали в проходящем свете с помощью микроскопов Olympus BX53, оснащенного дифференциально-интерференционным контрастом и фотокамерой Olympus U-TV0.63XC (ЗИН РАН), и ZEISS Axio Imager 2, оснащенного фазовым (PH) и дифференциально-интерференционным (DIC) контрастами (лаборатория экологии и генетики насекомых и клещей ФГБУ «ВНИИР»). В последнем случае фотографирование и последующая обработка иллюстраций были осуществлены с помощью программного обеспечения Zen 2.3. Финальная обработка файла изображения проводилась в программе GIMP 2.10.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Уточнение сведений по видовому составу клещей рода *Tyrophagus* фауны России. Известная фауна клещей рода *Tyrophagus* территории России к настоящему времени насчитывает по меньшей мере 10 видов (Захваткин, 1941; Волгин, 1948, 1949, 1975; Копанева, 1982; Пивень, 1983; Klimov, Tolstikov, 2011; Лившиц и др., 2011). Наряду с обнаруженными *T. longior* и *T. putrescentiae*⁴, акарологами А. А. Захваткиным (МГУ) и В. И. Волгиным (ЗИН) были описаны 7 видов: *T. molitor* Zachvatkin, 1941; *T. perniciosus* Zachvatkin, 1941; *T. silvester* Zachvatkin, 1941; *T. formicetorum* Volgin, 1948; *T. mixtus* Volgin, 1948; *T. zachvatkini* Volgin, 1948; *T. similis* Volgin, 1949.

В качестве дополнительного комментария укажем, что существует работа Сорокина (1952), в которой кратко описаны 2 вида – *Tyrophagus vjatskensis* Sorokin, 1952 и *T. vjatcheslavi* Sorokin, 1952 из муравьиных гнезд Вологодской области. Эти видовые названия приводятся в нескольких работах этого же автора (Сорокин, 1953, 1960), а также в разделе species incertae sedis статьи Robertson (1959) с указанием о сходстве с теми или иными известными видами, в том числе описанными Волгиным (1948)

T. molitor Zachvatkin 1941. ЗИН: 3♂, 10♀, Azerbaijan (Nakhichevan), plant remains, December 5, 1967, coll. G.Sh. Kadzhaja; 1♂, 2♀, Georgia, plant remains, May 5, 1966, coll. G.Sh. Kadzhaja.

T. perniciosus Zachvatkin 1941. ЗИН: 1♂, 1♀, Russia, Smolensk Oblast, 1940; 1♀, Russia, Kirov Oblast, 1944³; 1♂, 4♀, Russia, Saratov Oblast, 1955.

T. putrescentiae (Schränk 1781). ЗИН: 1♀, Smolensk Oblast, 1939; 1♂, 1♀, Voronezh Oblast, 1954; 2♂, 2♀, Leningrad Oblast, 1959–1960; 2♂, 2♀, Azerbaijan, potato, 1969; 1♂, 2♀, Uzbekistan, phytopathology lab: fungi collection, 1960; 2♂, 2♀, Tajikistan, rotting apple, plant remains, 1969–1971; VNIIR: 43♂, 60♀, Moscow Oblast, VNIIR, laboratory cultures of insects and fungi, 2019–2023, coll. I.O. Kamayev; 1♂, 2♀, Moscow, biolaboratory, 2017, coll. A.K. Akhatov; 1♀, Nizhny Novgorod Oblast, 2018, coll. A.K. Akhatov; 1♂, 1♀, Karachay-Cherkessia, 2018, coll. A.K. Akhatov; 1♂, 2♀, Novosibirsk Oblast, greenhouse, on cucumber, 2017, coll. A.K. Akhatov.

T. similis Volgin 1949. ЗИН: 2♂, 4♀, Russia, Smolensk Oblast, 1939.

T. vanheurni Oudemans 1924. ЗИН: 5♂, 7♀, Russia, Saint Petersburg [Leningrad], 1940s, coll. V.I. Volgin.

T. zachvatkini Volgin 1948. ЗИН: 1♀, Russia, Smolensk Oblast, 1939, coll. V.I. Volgin; 3♂, 2♀, Russia, Leningrad Oblast, 1958–1965, coll. V.I. Volgin.

The nomenclature of the body setae is given according to Griffiths et al. (1990), the legs – according to Grandjean (1939).

The slides were examined in transmitted light using an Olympus BX53 microscope equipped with differential interference contrast and an Olympus U-TV0.63XC camera (ZIN RAS), and a ZEISS Axio Imager 2 equipped with phase (PH) and differential interference (DIC) contrasts (Laboratory of ecology and genetics of insects and mites, VNIIR). In the latter case, photography and subsequent processing of illustrations were carried out using Zen 2.3 software. The final processing of the image file was carried out in GIMP 2.10.

RESULTS

Clarification on the mite species composition of the genus *Tyrophagus* in the fauna of Russia. The known fauna of mites of the genus *Tyrophagus* in Russia currently includes at least 10 species (Zachvatkin, 1941; Volgin, 1948, 1949, 1975; Kopaneva, 1982; Piven, 1983; Klimov, Tolstikov, 2011; Livshits et al., 2011). Along with the detected *T. longior* and *T. putrescentiae*⁴, acarologists A.A. Zachvatkin (Moscow State University) and V.I. Volgin (ZIN) described 7 species: *T. molitor* Zachvatkin 1941, *T. perniciosus* Zachvatkin 1941, *T. silvester* Zachvatkin 1941, *T. formicetorum* Volgin 1948, *T. mixtus* Volgin 1948, *T. zachvatkini* Volgin 1948, *T. similis* Volgin 1949.

³ See previous comment

⁴ Klimov, Tolstikov (2011) indicate that *T. putrescentiae* reports made in Russia before 2007 need to be verified (apparently due to a cryptic species).

⁴ Klimov, Tolstikov (2011) указывают, что находки *T. putrescentiae*, сделанные на территории России до 2007 г., нуждаются в верификации (по-видимому, из-за вида-двойника).

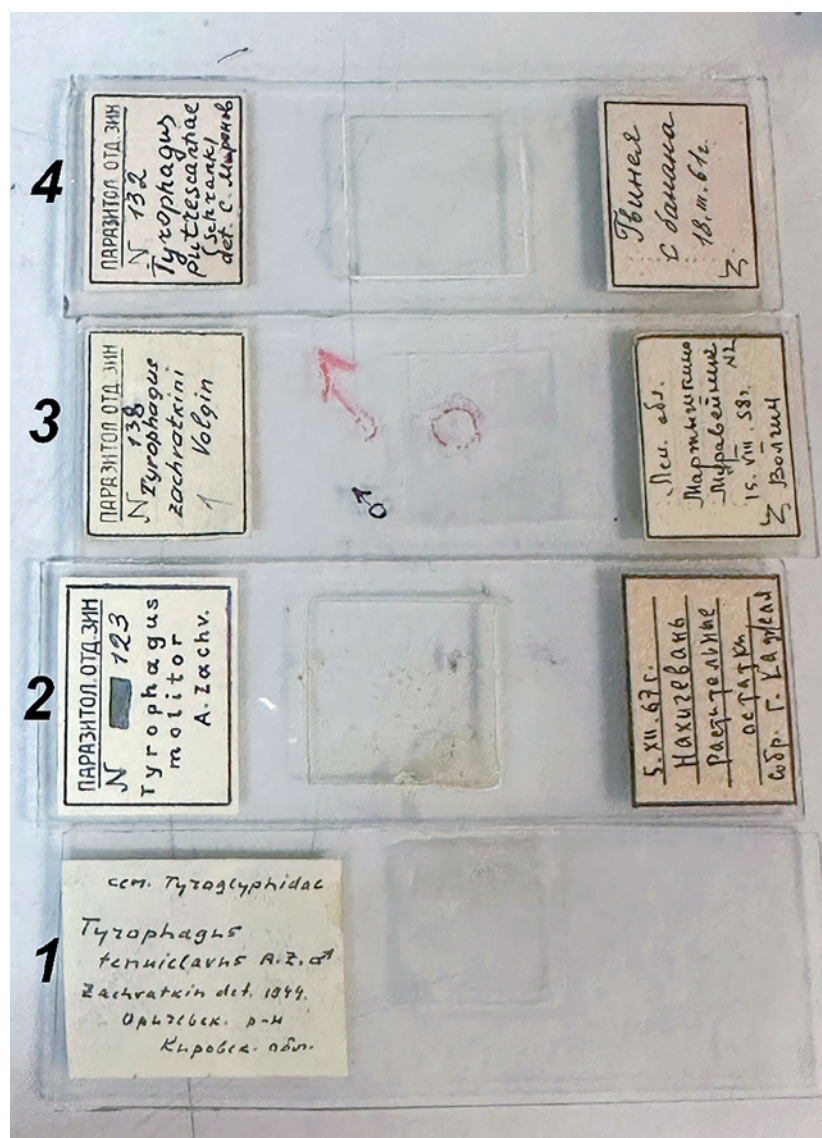


Рис. 2. Микропрепараты клещей рода *Tyrophagus* из коллекции Зоологического института РАН, снизу вверх: 1 – *T. longior* из Кировской области, определен А. А. Захваткиным в 1940-е гг. как *T. tenuiclavatus*; 2 – *T. molitor* из сборов Г. Ш. Каджая; 3 – *T. zachvatkini*, собранный и определенный В. И. Волгиным; 4 – *T. putrescentiae*, собранный с импортируемых плодов банана из Гвинеи в 1961 г. и впоследствии определенный С. В. Мироновым (фото: И. О. Камаев)

Fig. 2. Slides of mites of the genus *Tyrophagus* from the collection of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, from bottom to top: 1 – *T. longior* from Kirov Oblast, identified by A.A. Zachvatkin in the 1940s as *T. tenuiclavatus*; 2 – *T. molitor* from the collections of G.Sh. Kadzhaja; 3 – *T. zachvatkini*, collected and identified by V.I. Volgin; 4 – *T. putrescentiae*, collected from imported banana fruits from Guinea in 1961 and subsequently identified by S.V. Mironov (photo by I.O. Kamayev)

по сборам из муравейников Ленинградской области. В ревизии Samšinák (1962) вполне обосновано проведены номенклатурные изменения (с привлечением материала из коллекции ЗИН): *T. vjatskensis* – младший синоним *T. zachvatkini*, тогда как *T. vjatscheslavi* – младший синоним *T. formicetorum*.

Позднее в Сибири на импортируемых плодах был выявлен *T. curvipenis* Fain & Fauvel, 1993 (Murillo et al., 2018), что свидетельствует о возможности нахождения этого вида на территории России.

Необходимо отметить, что большинство упомянутых работ, кроме Klimov, Tolstikov (2011), не учитывают сведения по виду-двойнику широко распространенного клеща

As an additional comment, we note that there is a work by Sorokin (1952) that briefly describes 2 species – *Tyrophagus vjatskensis* Sorokin, 1952 and *T. vjatscheslavi* Sorokin, 1952 from ant nests of Vologda Oblast (European Russia). These species names are given in several works by the same author (Sorokin, 1953, 1960), as well as in the section “species incertae sedis” of the article by Robertson (1959) with an indication of the similarity with certain known species, including those described by Volgin (1948) from collections from ant nests of Leningrad Oblast. In the revision by Samšinák (1962), nomenclatural changes were quite justified (with the use of material from the ZIN collection): *T. vjatskensis* is a junior synonym of *T. zachvatkini*, while *T. vjatscheslavi* is a junior synonym of *T. formicetorum*.

Later, *T. curvipenis* Fain & Fauvel 1993 was detected on imported fruits in Siberia (Murillo et al., 2018), indicating the possibility of this species being introduced in Russia.

It should be noted that most of the mentioned works, except Klimov, Tolstikov (2011), do not take into account data on the cryptic species of the widespread mite *T. putrescentiae* – *T. fanetzhangorum* Klimov & O'Connor 2009⁵. The latter species was previously unknown in the fauna of Russia, here is information about its records:

Tyrophagus fanetzhangorum Klimov & O'Connor 2009

Material: 2♂, 2♀, VNIKR: Russia, Moscow, on cucumber (*Cucumis sativus*), 10.I.1999, coll. A.K. Akhatov; 4♂, 3♀, VNIKR: Russia, Chuvashia, village Yurakovo. 9.II.2022, coll. A.K. Akhatov.

Morphological characters of the male and female are shown in Fig. 3 and 4, respectively.

The diagnostic character – eyespots on the propodosoma in species of the genus *Tyrophagus* in the fauna of Russia. This character in *Tyrophagus* was described in the work of Lynch

(1989). Fain, Fauvel (1993) compiled an identification key for species of the genus *Tyrophagus* that have eyespots on the propodosoma. Subsequently, the state of

⁵ Fan and Zhang (2007b) first demonstrated the existence of two cryptic species under the single name *T. putrescentiae*. Klimov and O'Connor (2009, 2010, 2015) convincingly argued that *T. putrescentiae* is the valid name for the common species, while the cryptic species was named in honor of the first two authors.

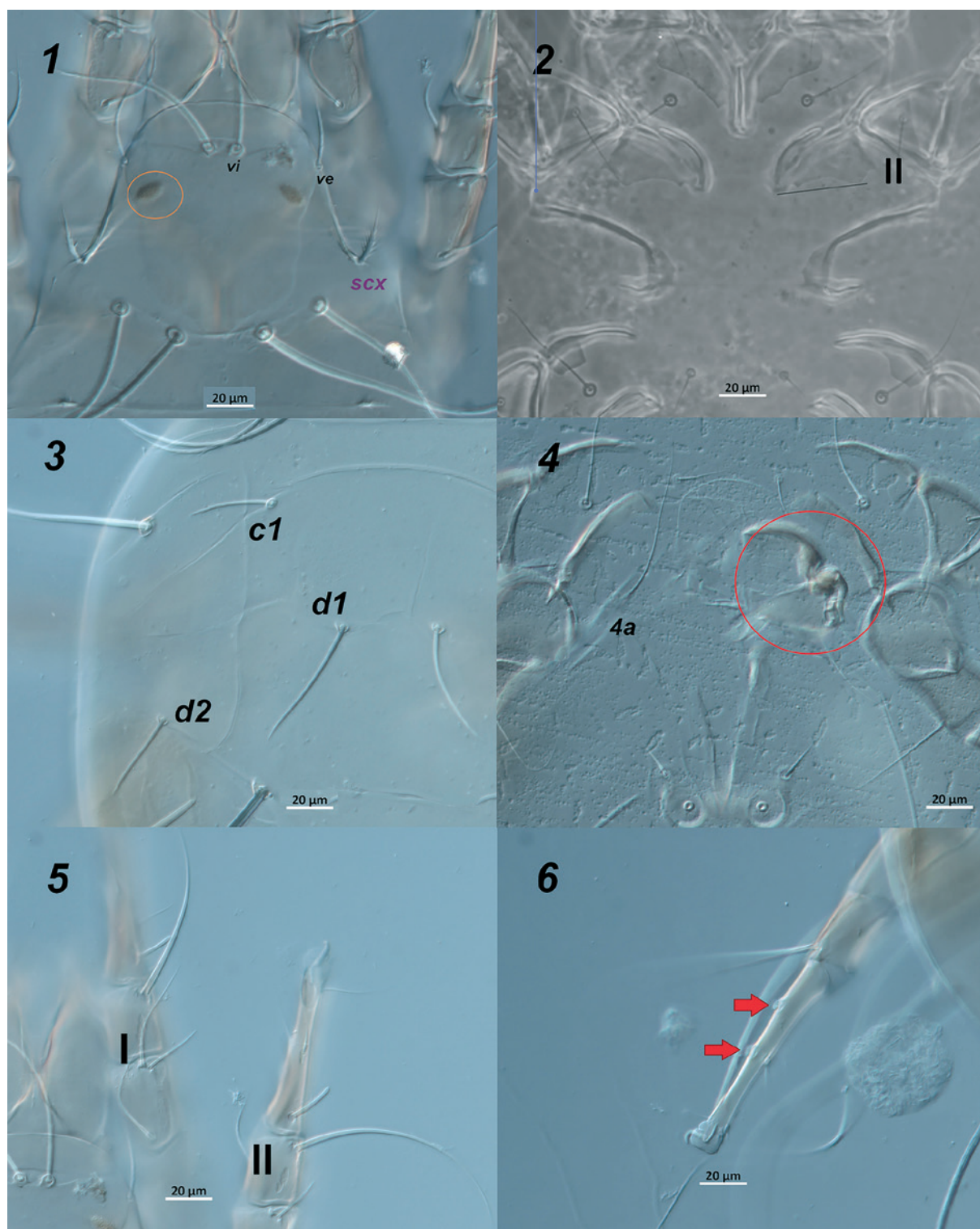


Рис. 3. *Tyrophagus fanetzhangorum*, самец (ВНИИКР), диагностические признаки, римские цифры маркируют соответствующие ноги, индексами обозначены щетинки: 1 – проподосома, кружком показано глазное пятно, индексом обозначен латерококсальный орган scx, DIC; 2 – подосома вентрально: справа индексом показан тазик II, линия подчеркивает вогнутую форму склеротизации, PH; 3 – часть дорсоцентрального хетомы, DIC; 4 – часть вентральной поверхности тела, кругом выделен эдеагус (размещен не полностью латерально), обозначена щетинка 4a, DIC; 5 – соленидии $\omega 1$ на лапках I и II, DIC; 6 – лапка IV, стрелочками показаны тарзальные копулятивные присоски, DIC (фото: И. О. Камаев)

Fig. 3. *Tyrophagus fanetzhangorum*, male (VNIICR), diagnostic characters, Roman numerals mark the corresponding legs, indices indicate the setae: 1 – propodosoma, circle shows eyespot, index indicates supracoxal setae scx, DIC; 2 – podosoma ventrally: on the right, the index shows coxa II, the line emphasizes the concave shape of the sclerotization, PH; 3 – part of the dorsocentral chaetome, DIC; 4 – part of the ventral surface of the body, the aedeagus is highlighted around it (not completely located laterally), the seta 4a is indicated, DIC; 5 – solenidia $\omega 1$ on legs I and II, DIC; 6 – tarsus IV, arrows indicate suckers, DIC (photos by I.O. Kamayev)

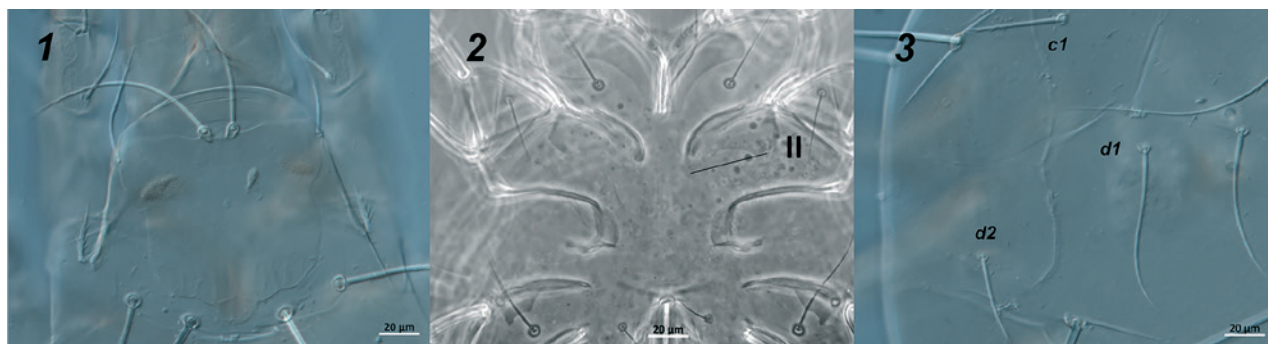


Рис. 4. *Tyrophagus fanetzhangorum*, самка (ВНИИКР), диагностические признаки: 1 – проподосома, DIC; 2 – подосома вентрально: справа индексом показан тазик II, линия подчеркивает вогнутую форму склеротизации, PH; 3 – часть дорсоцентрального хетомы, индексами обозначены щетинки, DIC (фото И.О. Камаев)

Fig. 4. *Tyrophagus fanetzhangorum*, female (VNIICR), diagnostic characters: 1 – propodosoma, DIC; 2 – podosoma ventrally: on the right, the index shows coxa II, the line emphasizes the concave shape of the sclerotization, PH; 3 – part of the dorsocentral chaetome, indices indicate setae, DIC (photos by I.O. Kamayev)

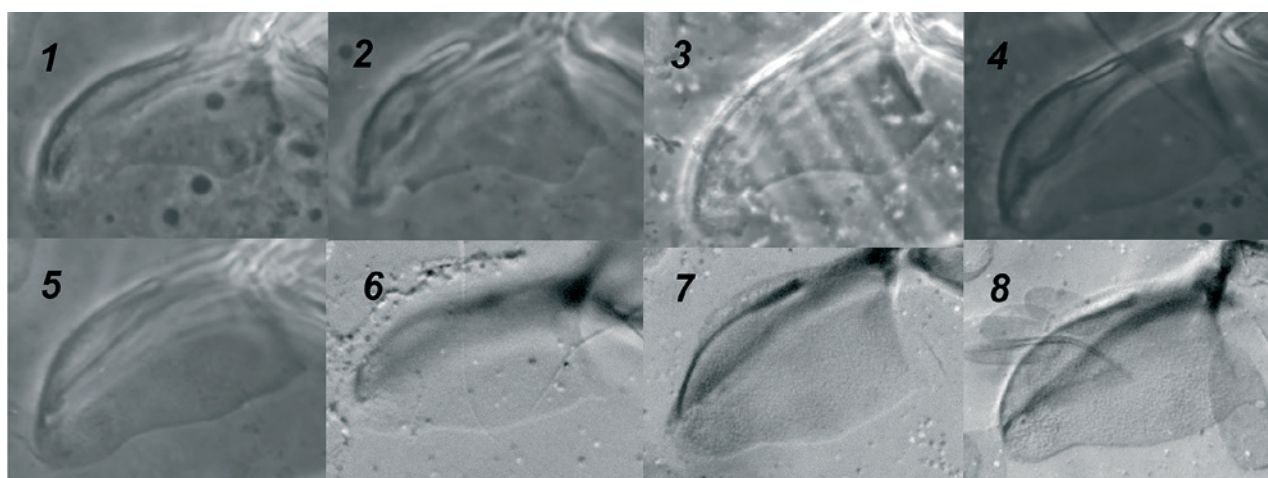


Рис. 5. Форма склеротизации левых тазиков II и её вариабельность у особей *Tyrophagus fanetzhangorum* (1–3, PH, ВНИИКР) и *T. putrescentiae* (4–5, PH, ВНИИКР; 6–8, DIC, ЗИН) (фото: И. О. Камаев)

Fig. 5. Sclerotization shape of left coxae II and its variability in *Tyrophagus fanetzhangorum* (1–3, PH, VNIICR) and *T. putrescentiae* (4–5, PH, VNIICR; 6–8, DIC, ZIN) (photos by I.O. Kamayev)

T. putrescentiae – *T. fanetzhangorum* Klimov & O'Connor, 2009⁵. Последний вид до настоящего времени не был известен для фауны России, приводим сведения о его находке:

***Tyrophagus fanetzhangorum*
Klimov & O'Connor, 2009**

Материал: 2♂, 2♀, ВНИИКР: Россия, Москва, на огурце (*Cucumis sativus*), 10.I.1999, сб. А. К. Ахатов; 4♂, 3♀, ВНИИКР: Россия, Чувашия, дер. Юраково. 9.II.2022, сб. А. К. Ахатов.

Морфологические признаки самца и самки представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

Характеристика диагностического признака – глазные пятна на проподосоме у видов рода *Tyrophagus* фауны России. Данный признак у клещей рода *Tyrophagus* был описан в работе Lynch (1989). Fain, Fauvel (1993) составили определительный ключ видов рода *Tyrophagus*, у которых имеются глазные пятна на проподосоме. Впоследствии

the feature – the presence or absence of eyespots – was included in the identification keys in the works of Fan, Zhang (2007b), Fayaz et al. (2016), Masoudian et al. (2018).

Among the species of the genus *Tyrophagus* in the fauna of Russia, the presence of eyespots has been shown for *T. putrescentiae* and *T. fanetzhangorum* (Lynch 1989; Fain, Fauvel 1993; Fan, Zhang 2007a, b; Klimov, O'Connor, 2009; Fayaz et al. 2016; orig.), as well as for *T. curvipenis* (Fain, Fauvel 1993; Fan, Zhang 2007b; Murillo et al., 2018).

Among the species of the genus *Tyrophagus* in the fauna of Russia, the absence of eyespots is known for *T. longior*, *T. perniciosus*, *T. similis*, *T. vanheurni*, *T. zachvatkini* (Fan, Zhang, 2007b; Fayaz et al., 2016; Masoudian et al., 2018), which is also confirmed by the material from the ZIN collection.

Based on the results of the study of the the ZIN collection material, it was established that eyespots are absent in the following three species: *T. formicetorum* (Fig. 6.1), *T. molitor*, *T. mixtus* (Fig. 6.2).

⁵ Впервые Fan и Zhang (2007b) показали существование двух видов-двойников, понимаемых под одним названием *T. putrescentiae*. Klimov и O'Connor (2009, 2010, 2015) убедительно обосновали, что *T. putrescentiae* является валидным названием для широко понимаемого вида, тогда как виду-двойнику было дано название в честь первых двух авторов.

состояние признака – наличие или отсутствие глазных пятен было включено в определительные таблицы в работах Fan, Zhang (2007b), Fayaz et al. (2016), Masoudian et al. (2018).

Среди видов рода *Tyrophagus* фауны России наличие глазных пятен показано для *T. putrescentiae* и *T. fanetzhangorum* (Lynch 1989; Fain, Fauvel 1993; Fan, Zhang 2007a, b; Klimov, O'Connor, 2009; Fayaz et al. 2016; ориг.), а также для *T. curvipenis* (Fain, Fauvel 1993; Fan, Zhang 2007b; Murillo et al., 2018).

Среди видов рода *Tyrophagus* фауны России отсутствие глазных пятен известно для *T. longior*, *T. perniciosus*, *T. similis*, *T. vanheurni*, *T. zachvatkini* (Fan, Zhang, 2007b; Fayaz et al., 2016; Masoudian et al., 2018), что также подтверждено на материале из коллекции ЗИН.

По результатам исследования материала из коллекции ЗИН установлено, что глазные пятна отсутствуют у трех следующих видов: *T. formicetorum* (см. рис. 6.1), *T. molitor*, *T. mixtus* (см. рис. 6.2).

Оценка изменчивости отдельных диагностических признаков *T. putrescentiae* из разных географических локалитетов. Анализ источников (Захваткин, 1941; Robertson, 1959; Волгин, 1975; Samšinák, 1962; Johnston, Bruce, 1965; Копанева, 1982; Lynch, 1989; Лившиц, 1990; Fain, Fauvel, 1993; Klimov, O'Connor, 2009; Fan, Zhang, 2007b; Лившиц и др., 2011; Fayaz et al. 2016; Masoudian et al., 2018; Murillo et al., 2018) позволил выделить набор основных диагностических признаков, которые включены в различные схемы идентификации *T. putrescentiae*. Далее была проведена оценка изменчивости этих признаков у особей данного вида из разных географических локалитетов (всего 54♂, 76♀ из России (8 регионов), Азербайджана, Узбекистана, Таджикистана); с учетом неравномерного объема выборок связь признаков с локалитетами не определяли:

- наличие глазных пятен (см. рис. 7.1 и 8.1) – характерно для всех исследованных особей⁶;

- большая длина щетинок *d1* по отношению к *c1* и голням IV (см. рис. 7.3) – характерно для всех исследованных особей;

- сближенное расположение щетинок *d1* относительно *c1* (см. рис. 7.3) – характерно для всех исследованных особей;

- вершина соленидия $\omega 1$ на лапках I расширена (см. рис. 7.5 и 8.5) – 1) явно: 47♂, 64♀; 2) неявно (в структура цилиндрическая или целиком утолщенная): 7♂, 12♀;

- форма *sca*: 1) нормальная – ланцетовидная, т.е. с широким основанием, истончающимся в длинную ость (см. рис. 7.1 и 8.1): 49♂, 71♀; 2) абнормальная – щетинковидная, в том числе флуктуирующая асимметрия (ФА), т.е. когда с одной стороны тела *sca* ланцетовидный, с другой – щетинковидный: 5(ФА:1)♂, 5(ФА:3)♀;

- длина щетинок *4a* относительно длины генитального отверстия (см. рис. 7.4 и 8.3) – 1) больше: 53♂, 73♀; 2) примерно равна: 1♂, 3♀;

- самцы: расположение тарзальных копулятивных присосок на лапке IV: 1) нормальное – делят лапку на три примерно равные части (рис. 8.6): 51 экз.; 2) абнормальное – расположены

Evaluation of variability of individual diagnostic characters of *T. putrescentiae* from different geographic localities.

The analysis of following sources (Zachvatkin, 1941; Robertson, 1959; Volgin, 1975; Samšinák, 1962; Johnston, Bruce, 1965; Kopaneva, 1982; Lynch, 1989; Livshits, 1990; Fain, Fauvel, 1993; Klimov, O'Connor, 2009; Fan, Zhang, 2007b; Livshits et al., 2011; Fayaz et al. 2016; Masoudian et al., 2018; Murillo et al., 2018) made it possible to identify a set of basic diagnostic characters that are included in various identification schemes for *T. putrescentiae*. Next, an assessment was made of the variability of these traits in individuals of this species from different geographic localities (a total of 54♂, 76♀ from Russia (8 regions), Azerbaijan, Uzbekistan, Tajikistan); given the uneven sample size, the relationship of characters with localities was not determined:

- the presence of eyespots (Fig. 7.1 and 8.1) is characteristic of all the individuals studied⁶;

- longer setae *d1* in relation to *c1* and tibiae IV (Fig. 7.3) – characteristic of all studied individuals;

- the close arrangement of the setae *d1* relative to *c1* (Fig. 7.3) is characteristic of all the studied individuals;

- the apex of the solenidium $\omega 1$ on the legs I is expanded (Fig. 7.5 and 8.5) – 1) clearly: 47♂, 64♀; 2) implicitly (the structure is cylindrical or entirely thickened): 7♂, 12♀;

- supracoxal setae *sca* – 1) normal – lanceolate, i.e. with a wide base, thinning into a long spine (Fig. 7.1 and 8.1): 49♂, 71♀; 2) abnormal – setiform, including fluctuating asymmetry (FA), i.e. when on one side of the body the *sca* is lanceolate, on the other – setiform: 5(FA:1)♂, 5(FA:3)♀;

- the length of setae *4a* relative to the length of the genital opening (Fig. 7.4 and 8.3) is 1) greater: 53♂, 73♀; 2) approximately equal: 1♂, 3♀;

- males: arrangement of suckers on tarsus IV: 1) normal – divide the tarsus into three approximately equal parts (Fig. 8.6): 51 ex.; 2) abnormal – located in the proximal part of the tarsus: 3 ex., including fluctuating asymmetry: 3 ex.

Express diagnosis of *Tyrophagus putrescentiae*.

Taking into account the phytosanitary significance of *T. putrescentiae*, based on the analyzed data and the studied material, stable characters were identified, by the combination of which this mite species (by females and males, Fig. 7–8) differs from all known species of the genus *Tyrophagus* in the fauna of Russia:

- eyespots present (Fig. 7.1 and 8.1);

- *sca* usually lanceolate (Fig. 7.1 and 8.1);

- setae *d1* longer than *c1* (Fig. 7.3);

- setae *4a* equal to or longer than the genital opening (Fig. 7.4 and 8.3)⁷;

- sclerotization of coxae II with a straight or sinuous (but not concave) posterior margin (Fig. 5.4–8, 7.2 and 8.2).

⁶ This character is clearly visible even on old slides (1930–1950s).

⁷ Setae *4a* become very thin towards their apex (in Fig. 7.4 and 8.3 their end is shown by arrows), so their length is easier to assess using phase-contrast microscopy.

⁶ Данный признак хорошо заметен даже на старых микропрепаратах (1930–1950-х гг.).

в проксимальной части лапки: 3 экз., в том числе флуктуирующая асимметрия: 3 экз.

Экспресс-диагностика удлинённого клеща *Tyrophagus putrescentiae*. С учетом фитосанитарного значения *T. putrescentiae* на основе проанализированных данных и изученного материала были выделены стабильные признаки, по сочетанию

Identification key of phytosanitary important species of the genus *Tyrophagus* in the fauna of Russia

The table was compiled using the works of Volgin (1975), Klimov, O'Connor (2009), Lynch (1989), Fain, Fauvel (1993), Murillo et al. (2018), Fan, Zhang (2007a,b), taking into account information from the

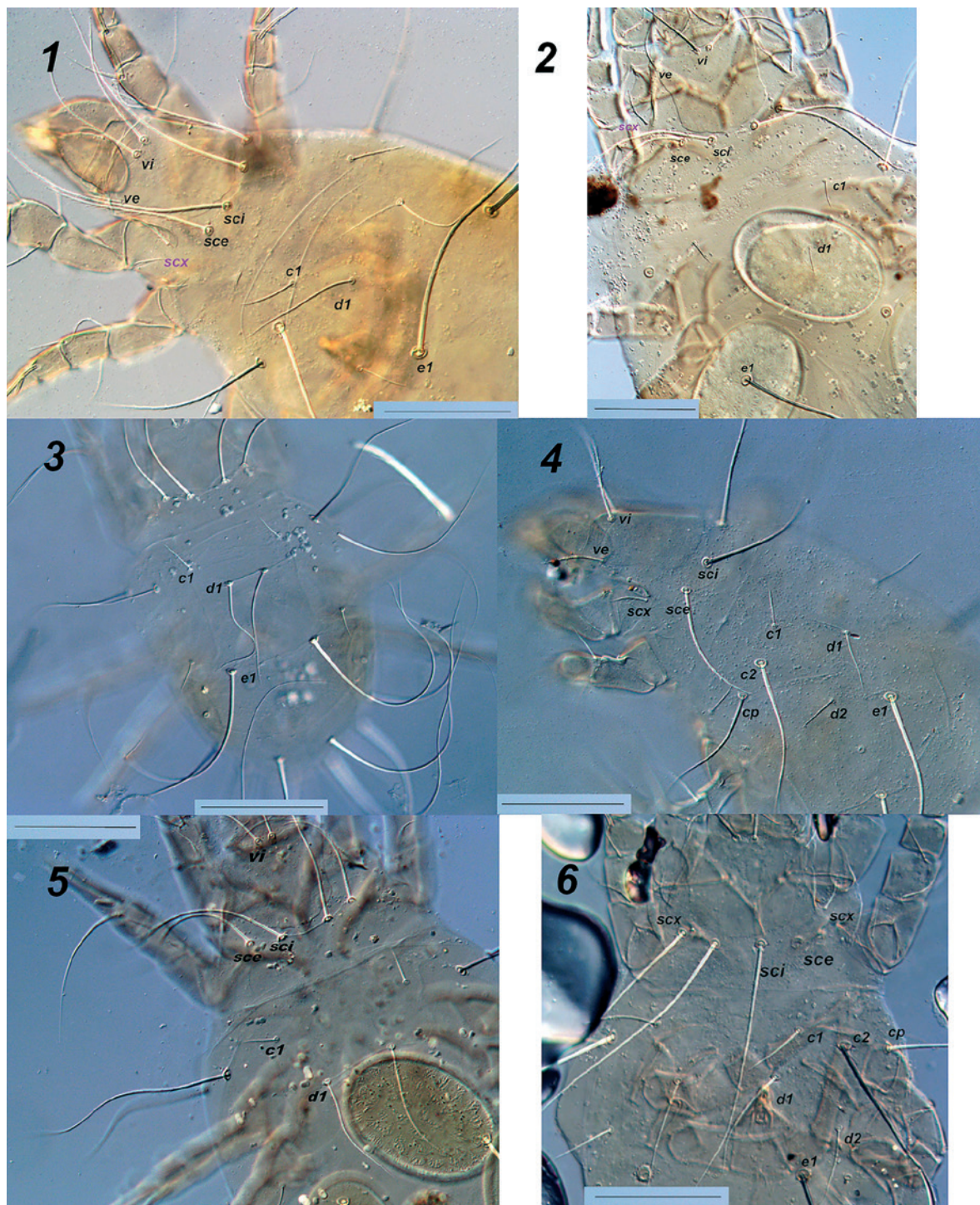


Рис. 6. Часть дорсальной поверхности тела видов рода *Tyrophagus* (ЗИН), индексами показаны некоторые щетинки; щетинки *vi*, *ve*, *sci* и *sce* размещены по краям щита проподосомы, на котором отсутствуют глазные пятна. DIC, шкала: 100 μ m: 1 – *T. formicetorum*, самец; 2 – *T. mixtus*, самка; 3 – *T. vanheurni*, самец; 4 – *T. longior*, самец; 5 – *T. perniciosus*, самка; 6 – *T. zachvatkini*, самец (фото: И. О. Камаев)

Fig. 6. Part of the dorsal body surface of species of the genus *Tyrophagus* (ZIN), some setae are shown by indices; setae *vi*, *ve*, *sci* and *sce* are located along the edges of the prodorsal shield, without eyespots. DIC, scale: 100 μ m: 1 – *T. formicetorum*, male; 2 – *T. mixtus*, female; 3 – *T. vanheurni*, male; 4 – *T. longior*, male; 5 – *T. perniciosus*, female; 6 – *T. zachvatkini*, male (photos by I.O. Kamayev)

которых этот вид клеща (по самкам и самцам, см. рис. 7–8) отличается от всех известных видов рода *Tyrophagus* фауны России:

- глазные пятна имеются (см. рис. 7.1 и 8.1);
- латерококсальный орган *scx*, как правило, ланцетовидный (см. рис. 7.1 и 8.1);
- щетинки *d1* длиннее *c1* (см. рис. 7.3);

works by Zachvatkin (1941), Robertson (1959), Johnston, Bruce (1965)⁸.

1(2) Eyespots present (Fig. 3.1, 4.1, 7.1 and 8.1).... 3

⁸ For a detailed morphological description of some species, including *T. putrescentiae*, with characteristics of the chaetome, see Fayaz et al. (2016) and Masoudian et al. (2018); aedeagi are illustrated in Volgin (1975).

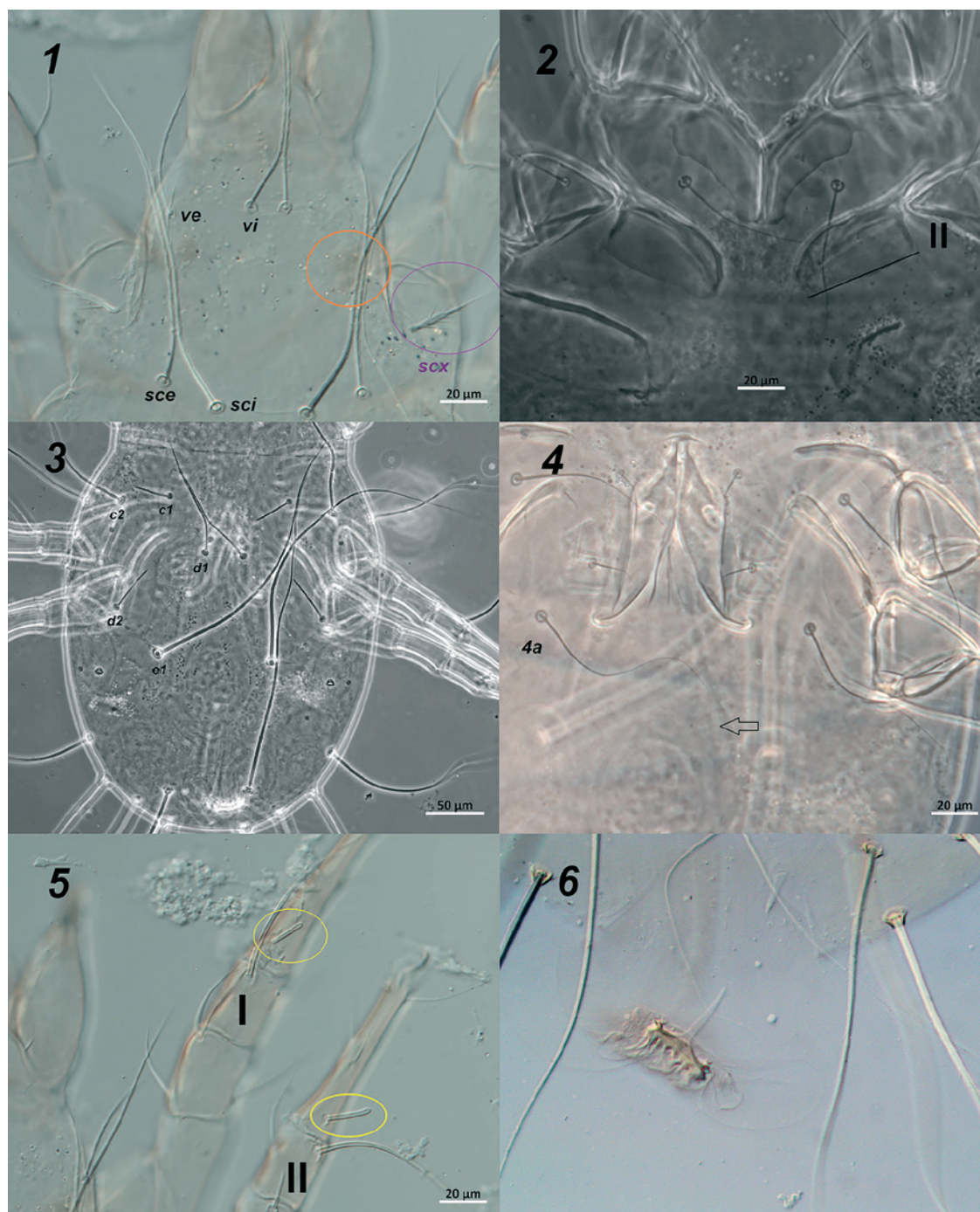


Рис. 7. *Tyrophagus putrescentiae*, самка (ВНИИКР, кроме 6), диагностические признаки, римские цифры маркируют соответствующие ноги, индексами обозначены щетинки: 1 – проподосома, кружком показано глазное пятно, овалом выделен латерококсальный орган *scx*, DIC; 2 – проподосома вентрально: справа индексом показан тазик II, линия подчеркивает форму склеротизации, PH; 3 – часть дорсального хетомы опистосомы, PH; 4 – генитальная область, стрелочкой показано окончание щетинки *4a*, PH; 5 – соленидии $\omega 1$ на лапках I и II, DIC; 6 – сперматека (ЗИН), DIC (фото: И. О. Камаев)

Fig. 7. *Tyrophagus putrescentiae*, female (VNIICR, except 6), diagnostic characters, Roman numerals mark the corresponding legs, indices indicate setae: 1 – propodosoma, the circle shows the eyespot, the oval highlights *scx*, DIC; 2 – propodosoma ventrally: on the right, the index shows the coxa II, the line emphasizes the shape of the sclerotization, PH; 3 – part of the dorsal chaetome, PH; 4 – genital opening, the arrow shows the end of the seta *4a*, PH; 5 – solenidia $\omega 1$ on tarsi I and II, DIC; 6 – spermatheca (ZIN), DIC (photos by I.O. Kamayev)

- щетинки *4a* равны или длиннее генитального отверстия (см. рис. 7.4 и 8.3)⁷;
- склеротизация тазиков II с прямым или извилистым (но невогнутым) задним краем (см. рис. 5.4–8, 7.2 и 8.2).

**Определительная таблица видов
клещей рода *Tyrophagus* фауны России,
имеющих фитосанитарное значение**

Таблица составлена с использованием работ Волгина (1975), Klimov, OConnor (2009), Lynch (1989), Fain, Fauvel (1993), Murillo et al. (2018), Fan, Zhang (2007a,b), с учетом сведений из работ Захваткина (1941), Robertson (1959), Johnston, Bruce (1965)⁸.

- 1(2) Глазные пятна есть (см. рис. 3.1, 4.1, 7.1 и 8.1) 3
- 2(1) Глазных пятен нет (см. рис. 6) 7
- 3(4) Латерококсальный орган (*scx*) щетинковидный, т. е. без расширенного основания (как на рис. 6). Соленидий $\omega 1$ на лапках I и II длинный, тонкий, несколько сужающийся к вершине *T. curvipenis*

Примечание: описание диагностических признаков см. в работах Fain, Fauvel (1993), Fan, Zhang (2007b), Murillo et al. (2018). Распространение этого вида в России нуждается в уточнении, т.к. к настоящему времени его находка была сделана в импортных плодах (Murillo et al., 2018).

- 4(3) Латерококсальный орган (*scx*), как правило, ланцетовидный, т. е. с расширенным основанием, истончающимся к вершине (см. рис. 3.1, 4.1, 7.1 и 8.1). Соленидий $\omega 1$ на лапках I и II утолщенный или цилиндрический с явным или неявным апикальным расширением (см. рис. 3.5, 7.5 и 8.5) 5
- 5(6) Склеротизация тазиков II постериорно с прямым или извилистым краем (см. рис. 5.4–8, 7.2 и 8.2) *T. putrescentiae*

Примечание: Подробное морфологическое описание вида приведено в работе Fayaz et al. (2016). Вид широко распространен в России (Европейская часть, Северный Кавказ, Сибирь, Дальний Восток).

- 6(5) Склеротизация тазиков II постериорно с явно вогнутым краем (рис. 3.2, 4.2 и 5.1–3) *T. fanetzhangorum*

Примечание: дополнительные дифференцирующие признаки приведены и проиллюстрированы в работе Klimov, OConnor (2009). Вид достоверно известен только из защищенного грунта в Европейской части России (ориг. данные).

- 7(8) Самки: щетинки *d1* явно длиннее *c1* и голени IV (как на рис. 6.1) 9
- 8(7) Самки: щетинки *d1* примерно равны по длине *c1* и заметно короче голени IV (см. рис. 6.2) другие виды

Примечание: идентификация *T. molitor*, *T. mixtus*, *T. similis*, *T. silvester* приведена в ключе Волгина (1975).

- 9(10) Латерококсальный орган щетинковидный (как на рис. 6.2). Самки: *4a* примерно равны или длиннее генитального отверстия 11

⁷ Щетинки *4a* сильно истончаются к своей вершине (на рис. 7.4 и 8.3 их окончание показано стрелочками), поэтому их длину легче оценивать при фазово-контрастной микроскопии.

⁸ Подробное морфологическое описание отдельных видов, включая *T. putrescentiae*, с характеристикой хетомы см. в работах Fayaz et al. (2016) и Masoudian et al. (2018), эдеагусы проиллюстрированы в работе Волгина (1975).

- 2(1) Eyespots absent (Fig. 6) 7
- 3(4) *scx* is setaceous, i.e. without an expanded base (as in Fig. 6). The solenidium $\omega 1$ on tarsi I and II is long, thin, and somewhat tapering toward the apex. *T. curvipenis*

Note: For a description of diagnostic characters, see Fain, Fauvel (1993), Fan, Zhang (2007b), Murillo et al. (2018). The distribution of this species in Russia needs to be clarified, since to date it has been found in imported fruits (Murillo et al., 2018).

- 4(3) *scx* is usually lanceolate, i.e. with an expanded base, thinning towards the apex (Figs. 3.1, 4.1, 7.1 and 8.1). The solenidium $\omega 1$ on tarsi I and II is thickened or cylindrical with an obvious or indistinct apical expansion (Figs. 3.5, 7.5 and 8.5) 5
- 5(6) Sclerotization of coxae II posteriorly with a straight or sinuous edge (Fig. 5.4–8, 7.2 and 8.2) *T. putrescentiae*

Note: A detailed morphological description of the species is given in the work of Fayaz et al. (2016). The species is widespread in Russia (European part, North Caucasus, Siberia, Far East).

- 6(5) Sclerotization of coxae II posteriorly with a clearly concave edge (Figs. 3.2, 4.2 and 5.1–3) *T. fanetzhangorum*

Note: Additional distinguishing characters are given and illustrated in the work of Klimov, OConnor (2009). The species is reliably known only from protected ground in the European part of Russia (orig. data).

- 7(8) Females: setae *d1* clearly longer than *c1* and tibiae IV (as in Fig. 6.1) 9
- 8(7) Females: setae *d1* are approximately equal in length to *c1* and are noticeably shorter than tibiae IV (Fig. 6.2) other species

Note: Identification of *T. molitor*, *T. mixtus*, *T. similis*, *T. silvester* is given in key by Volgin (1975).

- 9(10) *scx* setiform (as in Fig. 6.2). Females: *4a* approximately equal to or longer than genital opening 11
- 10(9) *scx* lanceolate (as in Fig. 3.1). Females: *4a* distinctly shorter than genital opening 15

- 11(12) On the tarsus I, the solenidium $\omega 1$ is thickened or club-shaped with a noticeable apically widened part (Fig. 9.1) *T. zachvatkini*

- 12(11) On the leg I, the solenidium $\omega 1$ is thin, cylindrical or tapering before the apex (Fig. 9.2) 13

- 13(14) Males: setae *d1* are noticeably longer than *c1* (2 or more times; Fig. 6.3); aedeagus is short, thickened, slightly curved *T. vanheurni*

- 14(13) Males: setae *d1* almost equal to *c1* or slightly longer (but less than 2 times, Fig. 6.4); aedeagus elongated, with a thin terminal part, slightly curved *T. longior*

- 15(16) The setae *c1* do not reach the bases of *d1*, and are noticeably shorter than the distance between *c1* and *d1* (Fig. 6.5). The setae *ps3* of the male and *ad2* of the female are shorter than the length of the anal opening *T. perniciosus*

- 16(15) The setae *c1* reach the bases of *d1* or extend beyond them (Fig. 6.1). The setae *ps3* of the male are approximately equal in length to the anal opening, *ad2* of the female are longer than the genital opening *T. formicetorum*

10(9) Латерококсальный орган ланцетовидный (как на рис. рис. 3.1). Самки: 4a явно короче генитального отверстия 15

11(12) На лапке I солений $\omega 1$ утолщенный или булабовидный с заметной апикально расширенной частью (см. рис. 9.1) *T. zachvatkini*

CONCLUSION

The article summarizes information on the fauna of mites of the genus *Tyrophagus* spread in Russia, and provides a key to species of this genus that have phytosanitary significance, and diagnostic characters for express identification of the *T. putrescentiae*.

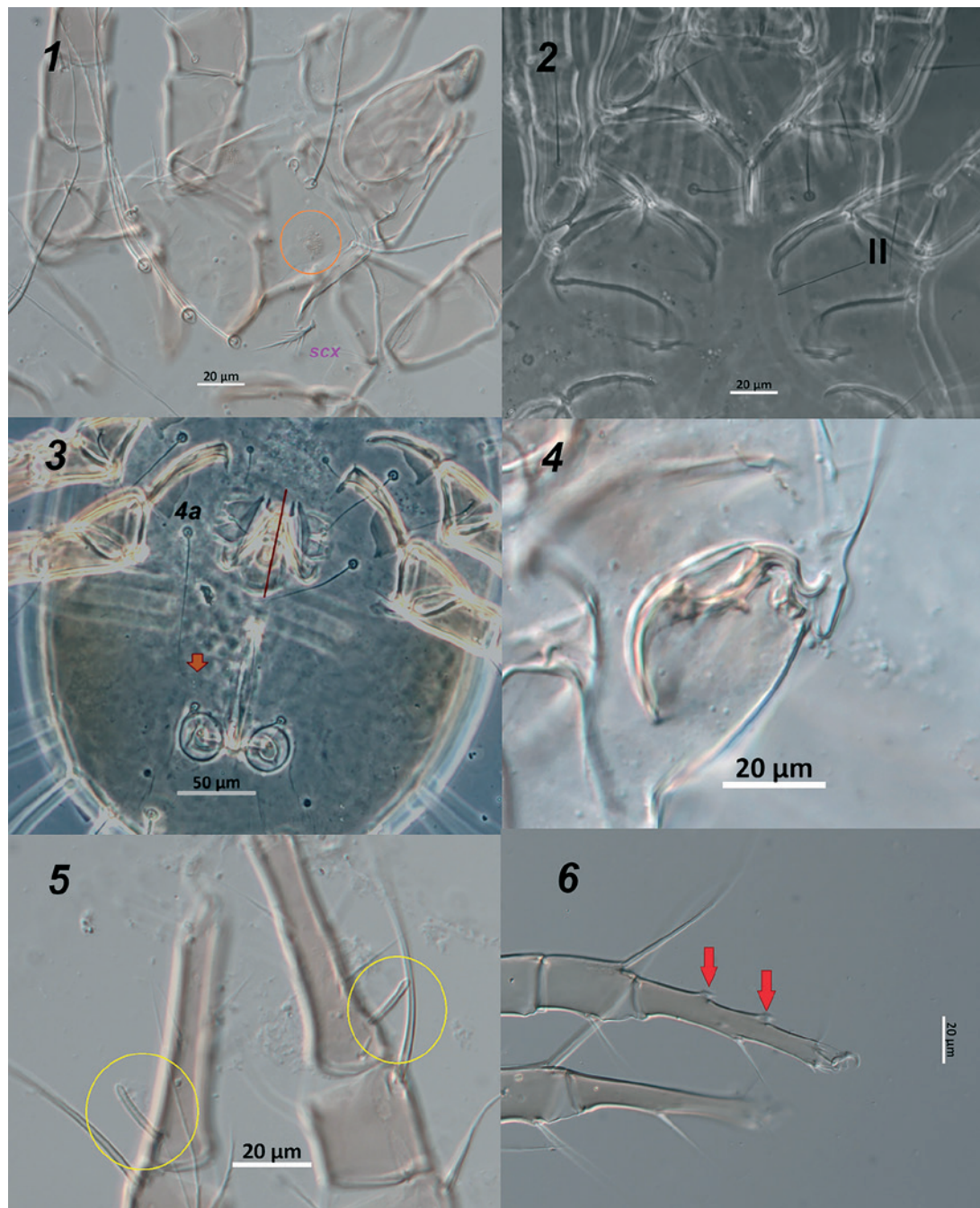


Рис. 8. *Tyrophagus putrescentiae*, самец (ВНИИКР), диагностические признаки, индексами обозначены щетинки: 1 – проподосома, кружком показано глазное пятно, выделен латерококсальный орган scx, DIC; 2 – проподосома вентрально: справа индексом показан тазик II, линия подчеркивает форму склеротизации, PH; 3 – часть вентральной поверхности тела, хорошо заметны крупные копулятивные присоски, красной линией показано генитальное отверстие, стрелочкой – окончание щетинки 4a, PH; 4 – эдеагус, латерально, DIC; 5 – соленидии $\omega 1$ на лапках II и I, DIC; 6 – лапка IV, стрелочками показаны тарзальные копулятивные присоски, DIC (фото: И. О. Камаев)

Fig. 8. *Tyrophagus putrescentiae*, male (VNIICR), diagnostic characters, setae are indicated by indices: 1 – propodosoma, the eyespot is shown by a circle, scx is highlighted, DIC; 2 – propodosoma ventrally: the coxa II is shown by an index on the right, the line emphasizes the shape of the sclerotization, PH; 3 – part of the ventral surface of the body, large anal suckers are clearly visible, the genital opening is shown by a red line, the end of seta 4a is shown by an arrow, PH; 4 – aedeagus, laterally, DIC; 5 – solenidia $\omega 1$ on tarsi II and I, DIC; 6 – tarsus IV, the suckers are shown by arrows, DIC (photo by I.O. Kamayev)

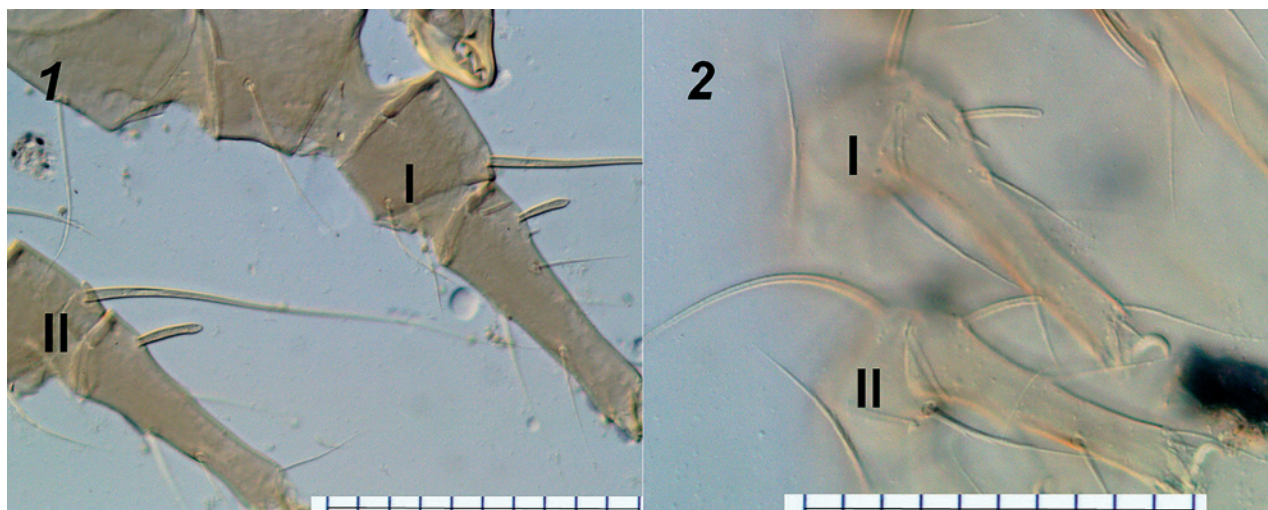


Рис. 9. Соленидии $\omega 1$ на лапках двух первых пар ног *Tyrophagus zachvatkini* (1) и *T. longior* (2), самки (ЗИН). Индексы латинскими цифрами указывают соответствующие ноги; DIC, шкала: 1 деление = 10 μm (фото: И. О. Камаев)

Fig. 9. Solenidia $\omega 1$ on the tarsi of the first two pairs of legs of *Tyrophagus zachvatkini* (1) and *T. longior* (2), females (ZIN). The indices in Latin numerals indicate the corresponding legs; DIC, scale: 1 division = 10 μm (photos by I.O. Kamayev)

12(11) На лапке I соленидий $\omega 1$ тонкий, цилиндрический или перед вершиной сужающийся (см. рис. 9.2) 13

13(14) Самцы: щетинки $d1$ заметно длиннее $c1$ (в 2 и более раза; см. рис. 6.3); эдеагус короткий, утолщенный, чуть изогнутый *T. vanheurni*

14(13) Самцы: щетинки $d1$ почти равны $c1$ или немного длиннее (но менее чем в 2 раза, см. рис. 6.4); эдеагус удлинённый, с тонкой терминальной частью, слабо изогнутый *T. longior*

15(16) Щетинки $c1$ не достигают оснований $d1$, заметно короче расстояния между $c1$ и $d1$ (см. рис. 6.5). Щетинки $ps3$ самца и $ad2$ самки короче длины анальной щели *T. perniciosus*

16(15) Щетинки $c1$ достигают оснований $d1$ или заходят за них (см. рис. 6.1). Щетинки $ps3$ самца примерно равны по длине анальной щели, $ad2$ самки длиннее генитального отверстия *T. formicetorum*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье обобщены сведения по фауне клещей рода *Tyrophagus*, распространенных на территории России, и приведены определительная таблица для видов данного рода, имеющих фитосанитарное значение, и диагностические признаки для быстрой идентификации удлиненного клеща *T. putrescentiae*.

Работа представляет интерес для специалистов в области карантина и защиты растений, в том числе сотрудников фитосанитарных лабораторий, агрономов, специалистов по биометоду.

Благодарности. Автор выражает благодарность главному научному сотруднику д. б. н. С. В. Миронову за предоставленную возможность работы с акарологической коллекцией с изготовлением фотографий на базе Зоологического института РАН в рамках соглашения о научном сотрудничестве, к. б. н. П. Б. Климову за комментарии относительно *T. fanetzhangorum* и *T. curvipenis*, а также А. К. Ахатову и специалистам ФГБУ «ВНИИКР»: А. А. Кузнецовой, Ю. В. Цветковой, Н. К. Костину, С. Ю. Муханову

The work is of interest to specialists in the field of quarantine and plant protection, including phytosanitary laboratories specialists, agronomists, and biocontrol specialists.

Acknowledgments. The author expresses gratitude to the leading researcher, Advanced Doctor of Biological Sciences S.V. Mironov for the opportunity to work with the acarological collection and take photographs at the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences within the framework of the agreement on scientific cooperation, Dr. P.B. Klimov for comments on *T. fanetzhangorum* and *T. curvipenis*, as well as A.K. Akhatov and specialists of FGBU «VNIKР»: A.A. Kuznetsova, Yu.V. Tsvetkova, N.K. Kostin, S.Yu. Mukhanov for the provided mite material, E.V. Mikhailets for assistance in finding some sources.

REFERENCES

1. Akhatov A.K., Izhevskii S.S. (Eds.). Vrediteli Teplichnykh i Oranzhereinykh Rastenii (Morfologiya, Obraz Zhizni, Vredonosnost, borba) [Pests of greenhouse vegetable and ornamental plants (morphology, biology, harmfulness, control)]. M: KMK, 2004, 307 p. (In Russ.)
2. Volgin V. I. [New species of mites of the genus *Tyrophagus* Ouds., 1923 (Tyroglyphidae, Acarina)] // Doklady Akademii Nauk USSR. 1948. Vol. 60(3). P. 509–511. (In Russ.)
3. Volgin, V. I. [Materials on systematics of mites of the genus *Tyrophagus* Ouds., 1923 (Tyroglyphidae, Acarina)] // Doklady Akademii Nauk USSR. 1949. Vol. 65(3). P. 385–388. (In Russ.)
4. Volgin V.I. Identification key to mites affecting root and tuber crops // Collection of works of the Institute of Applied Zoology and Phytopathology. Moscow-Leningrad, 1953. P. 17–21.

за предоставленный материал клещей, Е. В. Михайлец за содействие в поиске некоторых источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахатов А.К., Ижевский С.С. (ред.). Вредители тепличных и оранжерейных растений (морфология, образ жизни, вредоносность, борьба). М: т-во науч. изд. КМК, 2004, 307 с.
2. Волгин В.И. Новые виды клещей рода *Tyroglyphus* Ouds., 1923 (Tyroglyphidae, Acarina) // Доклады Академии наук СССР. 1948. 60(3). С. 509–511.
3. Волгин В.И. Материалы по систематике клещей рода *Tyroglyphus* Ouds., 1923 (Tyroglyphidae, Acarina) // Доклады Академии наук СССР. 1949. 65(3): 385–388.
4. Волгин В.И. Определитель клещей, поражающих корне- и клубнеплоды // Сборник работ института прикладной зоологии и фитопатологии. Москва-Ленинград, 1953. С. 17–21.
5. Волгин В.И. Семейство Acaridae // М.С. Гиляров (ред.). Определитель обитающих в почве клещей. Sarcoptiformes. М.: Наука, 1975. С. 416–476.
6. ГОСТ 12045-97 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения заселенности вредителями. М.: Стандартинформ, 2011, 17 с.
7. ГОСТ 13586.4-83 Зерно. Методы определения зараженности и поврежденности вредителями. М.: Стандартинформ, 2009, 4 с.
8. ГОСТ 13586.6-93 Зерно. Метод определения зараженности вредителями. М.: Стандартинформ, 2009, 8 с.
9. ГОСТ 34165-2017 Зерновые, зернобобовые и продукты их переработки. Методы определения загрязненности насекомыми-вредителями. М.: Стандартинформ, 2018, 12 с.
10. Захваткин А.А. Фауна СССР. Паукообразные. Тироглифоидные клещи (Tyroglyphoidea) / А.А. Захваткин; С.А. Зернов (ред.). М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1941. Т. VI. Вып. 1. 475 с.
11. Копанева Л.М. (сост.). Определитель вредных и полезных насекомых и клещей овощных культур и картофеля в СССР. Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1982, 272 с. Kopaneva L. M. (Comp.).
12. Красавина Л.П., Трапезникова О.В. Совершенствование способов разведения хищных клещей и для биологической защиты растений. Вестник защиты растений, 2022, 105(2). с. 87–93. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-2-15269>.
13. Лившиц И.З. Клещи – вредители запасов // Защита растений. 1990. № 12. С. 46–53.
14. Лившиц И.З., Митрофанов В.И., Петрушов А.З. Сельскохозяйственная акарология. М.: ГНУ ВСТИСП Россельхозакадемии, 2011, 351 с.
15. МУК 4.2.1479-03. Энтомологические методы сбора и определения насекомых и клещей – вредителей продовольственных запасов и непродовольственного сырья: Методические указания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003, 80 с.
16. Пивень В.Б. К видовому составу и распределению акароидных клещей в некоторых сельскохозяйственных угодьях Новосибирского приобья // Болезни и вредители культурных растений Запальной Сибири и меры борьбы с ними. Сборник научных трудов. Новосибирск: Изд. Новосиб. с.-х. института, 1983. С. 60–66.

5. Volgin V.I. 1975. [Family Acaridae, Glycyphagidae and Saproglyphidae] // M.S. Gilyarov (Ed.). Opredelitel Obitayushchikh v Pochve Kleshchey. Sarcoptiformes. [Identification key to soil inhabiting mites. Sarcoptiformes]. Nauka Publ., Moscow, pp. 416–476.
6. GOST 12045-97 Seeds of agricultural crops. Methods for determining pest infestation. Moscow: Standartinform, 2011, 17 p.
7. GOST 13586.4-83 Grain. Methods for determining infestation and damage by pests. Moscow: Standartinform, 2009, 4 p.
8. GOST 13586.6-93 Grain. Method for determining pest infestation. Moscow: Standartinform, 2009, 8 p.
9. GOST 34165-2017 Cereals, legumes and their processed products. Methods for determining contamination by insect pests. Moscow: Standartinform, 2018, 12 p.
10. Zachvatkin A.A. Fauna SSSR. Arachnoidea. [Tyroglyphoid mites Tyroglyphoidea] / A.A. Zachvatkin; ed. S.A. Zernov. M.–L.: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1941. Vol. VI, Issue 1, 475 p. (In Russ.).
11. Kopaneva L. M. (Comp.). Opredelitel Vrednykh i Poleznykh Nasekomykh i Kleshchey Ovoshchnykh Kul'tur i Kartofelya v SSSR [Key to harmful and useful insects and mites of vegetable crops and potatoes in the USSR]. Kolos, Leningradskoe otделение, Leningrad, 1982, 272 p. (In Russ.).
12. Krasavina L., Trapeznikova O. Improvement of breeding methods of predatory mites *Neoseiulus cucumeris* and *Transeius montdorensis* for biological plant protection // Plant Protection News (Vestnik Zashchity Rasteniy). 2022. 105(2). P. 87–93.
13. Livshits I.Z. [The mites are pests of stored food] // Zashchita rastenii. 1990. № 12. P. 46–53.
14. Livshits I.Z., Mitrofanov V.I. and Petrushov A.Z. Selskokhozyaystvennaya Akarologia [Agricultural Acarology]. GNU VSTISP Rosselkhozakademii, Moscow, 2011, 351 p.
15. MUK 4.2.1479-03. Entomological methods for collecting and identifying insects and mites – pests of food supplies and non-food raw materials: Methodological instructions. Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health of Russia, 2003, 80 p.
16. Piven V.B. On the species composition and distribution of acaroid mites in some agricultural lands of the Novosibirsk Oblast // Diseases and pests of cultivated plants of Western Siberia and measures to combat them. Collection of scientific papers. Novosibirsk: Publ. Novosib. agricultural institute, 1983. pp. 60–66.
17. Sorokin S.V. Grain mites (Tyroglyphoidea) of Kirov Oblast / S.V. Sorokin. Proceedings of the Kirov Regional Research Institute of Local History. Kirov, 1940; 18. 74 p.
18. Sorokin S.V. [Notes on ecology of grain mites (Tyroglyphoidea) in ant nests] // Zoologicheskyy Zhurnal. 1952. Vol. 31(4). P. 544–548.

17. Сорокин С.В. Хлебные клещи (Tyroglyphoidea) Кировской области / С.В. Сорокин. Труды Кировского областного НИИ краеведения. Киров, 1940. Вып. 18. 74 с.
18. Сорокин С.В. Заметки по экологии хлебных клещей в гнездах муравьев // Зоологический журнал. 1952. Т. 31(4). С. 544–548.
19. Сорокин С.В. Заметки по экологии хлебных клещей (Acarina, Tyroglyphoidea) в гнездах муравьев // Энтомологическое обозрение. 1953. Т. 33. С. 209–213.
20. Сорокин С.В. Хлебные клещи луговых формаций // Зоологический журнал. 1960. 39(3). С. 356–364.
21. Fain A., Fauvel G. *Tyrophagus curvipenis* n.sp. from an orchid cultivation in a greenhouse in Portugal (Acari: Acaridae). International Journal of Acarology. 1993. Vol. 19. P. 95–100.
22. Fan Q.-H., Zhang Z.-Q. Revision of some species of *Tyrophagus* (Acari: Acaridae) in the Oudemans Collection // Systematic and Applied Acarology. 2007a. Vol. 12. P. 253–280.
23. Fan Q.-H., Zhang Z.-Q. *Tyrophagus* (Acari: Astigmata: Acaridae). Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand, 2007b. 291 p.
24. Fayaz B.A., Khanjani M., Rahmani H. *Tyrophagus putrescentiae* (Schränk) (Acari: Acaridae) from Western Iran with a key to Iranian species of the genus // Acarina. 2016. Vol. 24 (1). P. 61–76.
25. Grandjean F. La chaetotaxie des parties chez les Acaridae // Bull. Soc. Zool. France. 1939. Vol. 64. P. 50–60.
26. Griffiths D.A., Atyeo W.T., Norton R.A., Lynch C.A. The idiosomal chaetotaxy of astigmatid mites // Journal of Zoology. London. 1990. Vol. 220. P. 1–32.
27. Johnston D.E., Bruce W.A. *Tyrophagus neiswanderi*, a new acarid mite of agricultural importance // Res. Bull. Ohio agric. Exp. Stn. 1965. № 971. P. 1–17.
28. Klimov P.B., O'Connor B.M. Conservation of the name *Tyrophagus putrescentiae*, a medically and economically important mite species (Acari: Acaridae) // International Journal of Acarology. 2009. Vol. 35. P. 95–114.
29. Klimov P.B., O'Connor B.M. *Acarus putrescentiae* Schränk, 1781 (currently *Tyrophagus putrescentiae*; Acari: Acaridae): proposed conservation of usage by designation of a replacement neotype. Case 3501 // Bulletin of Zoological Nomenclature. 2010. Vol. 67 (1). P. 24–27.
30. Klimov P.B., O'Connor B.M. Comment on *Acarus putrescentiae* Schränk, 1781 (currently *Tyrophagus putrescentiae*; Acari: Acaridae): proposed conservation of usage by designation of a replacement neotype (Case 3501; see BZN 67: 24–27; 71: 99–102) // Bulletin of Zoological Nomenclature. 2015. Vol. 72(1). P. 50–56.
31. Klimov P.B., Tolstikov A.V. Acaroid mites of Northern and Eastern Asia (Acari: Acaroidea) // Acarina. 2011. Vol. 19 (2). P. 252–264.
32. Lynch C.A. Two new species of the genus *Tyrophagus* (Acari: Acaridae) // Journal of Zoology. 1989. Vol. 219 (4). P. 545–567.
33. Masoudian F., Khanjani M., Saboori A., Haddad Irani-Nejad K. Re-description of four species of the genus *Tyrophagus* (Acari: Acaridae) from Western Iran // Acarina. 2018. Vol. 26 (1). P. 111–132.
34. Murillo P., Klimov P., Hubert J., O'Connor B. Investigating species boundaries using DNA and
19. Sorokin S.V. [Notes on ecology of bread mites (Acarina, Tyroglyphoidea) in ant nests] // Entomologicheskoe obozrenie. 1953. Vol. 33. P. 209–213.
20. Sorokin S.V. [Tyroglyphid mites of meadow formations] // Zoologicheskyy Zhurnal. 1960. 39(3). P. 356–364.
21. Fain A., Fauvel G. *Tyrophagus curvipenis* n.sp. from an orchid cultivation in a greenhouse in Portugal (Acari: Acaridae). International Journal of Acarology. 1993. Vol. 19. P. 95–100.
22. Fan Q.-H., Zhang Z.-Q. Revision of some species of *Tyrophagus* (Acari: Acaridae) in the Oudemans Collection // Systematic and Applied Acarology. 2007a. Vol. 12. P. 253–280.
23. Fan Q.-H., Zhang Z.-Q. *Tyrophagus* (Acari: Astigmata: Acaridae). Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand, 2007b. 291 p.
24. Fayaz B.A., Khanjani M., Rahmani H. *Tyrophagus putrescentiae* (Schränk) (Acari: Acaridae) from Western Iran with a key to Iranian species of the genus // Acarina. 2016. Vol. 24 (1). P. 61–76.
25. Grandjean F. La chaetotaxie des parties chez les Acaridae // Bull. Soc. Zool. France. 1939. Vol. 64. P. 50–60.
26. Griffiths D.A., Atyeo W.T., Norton R.A., Lynch C.A. The idiosomal chaetotaxy of astigmatid mites // Journal of Zoology. London. 1990. Vol. 220. P. 1–32.
27. Johnston D.E., Bruce W.A. *Tyrophagus neiswanderi*, a new acarid mite of agricultural importance // Res. Bull. Ohio agric. Exp. Stn. 1965. № 971. P. 1–17.
28. Klimov P.B., O'Connor B.M. Conservation of the name *Tyrophagus putrescentiae*, a medically and economically important mite species (Acari: Acaridae) // International Journal of Acarology. 2009. Vol. 35. P. 95–114.
29. Klimov P.B., O'Connor B.M. *Acarus putrescentiae* Schränk, 1781 (currently *Tyrophagus putrescentiae*; Acari: Acaridae): proposed conservation of usage by designation of a replacement neotype. Case 3501 // Bulletin of Zoological Nomenclature. 2010. Vol. 67 (1). P. 24–27.
30. Klimov P.B., O'Connor B.M. Comment on *Acarus putrescentiae* Schränk, 1781 (currently *Tyrophagus putrescentiae*; Acari: Acaridae): proposed conservation of usage by designation of a replacement neotype (Case 3501; see BZN 67: 24–27; 71: 99–102) // Bulletin of Zoological Nomenclature. 2015. Vol. 72(1). P. 50–56.
31. Klimov P.B., Tolstikov A.V. Acaroid mites of Northern and Eastern Asia (Acari: Acaroidea) // Acarina. 2011. Vol. 19 (2). P. 252–264.
32. Lynch C.A. Two new species of the genus *Tyrophagus* (Acari: Acaridae) // Journal of Zoology. 1989. Vol. 219 (4). P. 545–567.
33. Masoudian F., Khanjani M., Saboori A., Haddad Irani-Nejad K. Re-description of four species of the genus *Tyrophagus* (Acari: Acaridae) from Western Iran // Acarina. 2018. Vol. 26 (1). P. 111–132.

34. Murillo P., Klimov P., Hubert J., O'Connor B. Investigating species boundaries using DNA and morphology in the mite *Tyrophagus curvipenis* (Acari: Acaridae), an emerging invasive pest, with a molecular phylogeny of the genus *Tyrophagus* // Exp. Appl. Acarol. 2018. 75 (2). P. 167–189.

35. Oliveira C.M. de, Návia D., Frizzas M.R. First record of *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acari: Acaridae) in soybean plants under no tillage in Minas Gerais, Brazil // Ciência Rural. 2007. Vol. 37 (3). P. 876–877.

36. Pirayeshfar F., Safavi S.A., Moayeri H.R.S., Messelink G.J. The potential of highly nutritious frozen stages of *Tyrophagus putrescentiae* as a supplemental food source for the predatory mite *Amblyseius swirskii* // Biocontrol Science and Technology. 2020. Vol. 30(5). P. 403–417. <http://doi:10.1080/09583157.2020>

37. Robertson P.L. A revision of the genus *Tyrophagus*, with a discussion on its taxonomic position in the Acarina // Australian Journal of Zoology. 1959. Vol. 7(2). P. 146–181.

38. Samšínák K. Beiträge zur Kenntnis der Gattung *Tyrophagus* Oudemans // Casopis Československé společnosti entomologické. 1962. Vol. 59. P. 266–280.

39. Stejskal V., Vendl T., Feng S., Qin Y., Li Z. The relationship between taxonomic classification and applied entomology: stored product pests as a model group // Journal of Insect Science. 2025. Vol. 25(2): 8; ieaf019. URL: <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaf019>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Камаев Илья Олегович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией экологии и генетики насекомых и клещей ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; ORCID 0000-0003-4251-4862, e-mail: ilyakamayeff@yandex.ru.

morphology in the mite *Tyrophagus curvipenis* (Acari: Acaridae), an emerging invasive pest, with a molecular phylogeny of the genus *Tyrophagus* // Exp. Appl. Acarol. 2018. 75 (2). P. 167–189.

35. Oliveira C.M. de, Návia D., Frizzas M.R. First record of *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acari: Acaridae) in soybean plants under no tillage in Minas Gerais, Brazil // Ciência Rural. 2007. Vol. 37 (3). P. 876–877.

36. Pirayeshfar F., Safavi S.A., Moayeri H.R.S., Messelink G.J. The potential of highly nutritious frozen stages of *Tyrophagus putrescentiae* as a supplemental food source for the predatory mite *Amblyseius swirskii* // Biocontrol Science and Technology. 2020. Vol. 30(5). P. 403–417. <http://doi:10.1080/09583157.2020>

37. Robertson P.L. A revision of the genus *Tyrophagus*, with a discussion on its taxonomic position in the Acarina // Australian Journal of Zoology. 1959. Vol. 7(2). P. 146–181.

38. Samšínák K. Beiträge zur Kenntnis der Gattung *Tyrophagus* Oudemans // Casopis Československé společnosti entomologické. 1962. Vol. 59. P. 266–280.

39. Stejskal V., Vendl T., Feng S., Qin Y., Li Z. The relationship between taxonomic classification and applied entomology: stored product pests as a model group // Journal of Insect Science. 2025. Vol. 25(2): 8; ieaf019. URL: <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaf019>

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ilya Kamayev, PhD in Biology, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Ecology and Genetics of Insects and Mites, FGBU “VNIIEKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; ORCID 0000-0003-4251-4862, e-mail: ilyakamayeff@yandex.ru.

Изучение особенностей сезонного развития чужеродного растения *Solanum viarum* Dunal в условиях эксперимента

КУЛАКОВА Ю.Ю.¹, *ДЕМУШКИНА Л.Е.²,
КУЛАКОВ В.Г.³

^{1,3} ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), р. п. Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия, 140150

² Пятигорский территориальный отдел Южного филиала ФГБУ «ВНИИКР», г. Пятигорск, Ставропольский край, Россия, 357528

¹ ORCID ID: 0000-0002-9973-7584,
e-mail: thymus73@mail.ru

² ORCID ID: 0009-0004-7940-3917,
e-mail: demushkina.mila@yandex.ru

³ ORCID ID: 0000-0002-7090-3139,
e-mail: vitaliyk2575@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Паслен придорожный *Solanum viarum* Dunal. – пантропическое растение южноамериканского происхождения. Это многолетнее травянистое вегетивно-подвижное растение с мощными шипами. Ежегодно образует множество крупных кожистых плодов, содержащих до 50 тыс. семян на одном растении, что позволило ему расселиться на значительные территории теплых безморозных регионов Земли. Предпочитает заселять открытые светлые местообитания, формируя непроходимые колючие заросли. Засоряет пастбища, кормовые угодья, посевы, необрабатываемые земли, городские территории. Сорняк чрезвычайно засухоустойчив за счет толстых корневищ, глубоко проникающих в почву, но при этом чувствительных к низким положительным температурам. Может расти на различных типах почв. Считается инвазионным видом во многих странах мира. Основными источниками расселения паслена являются семена, переносимые людьми, животными и птицами.

В последние годы во Франции зарегистрированы случаи обнаружения паслена придорожного в охраняемых территориях (Christians and Maglio, 2020). Проведенный в 2024 г. анализ фитосанитарного риска для стран ЕОКЗР показал, что инвазивный потенциал данного вида для территории ЕОКЗР реализуется пока не в полной мере, и вид был предварительно помещен в список для дальнейших наблюдений (EPPO... 2022). Тем не менее эта информация не может не вызывать опасений с точки зрения возможных фитосанитарных угроз.

Solanum viarum весьма популярен в декоративном садоводстве нашей страны, о чем свидетельствуют предложения о продажах его семян различными интернет-ритейлерами. Как неоднократно замечено, значительное число чужеродных

Study of seasonal development of the alien plant *Solanum viarum* Dunal under experimental conditions

YULIANA YU. KULAKOVA¹,

*LIUDMILA E. DEMUSHKINA², VITALY G. KULAKOV³

^{1,3} All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU "VNIICR"), Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia, 140150

² Pyatigorsk territorial department of the Southern branch of FGBU "VNIICR", Pyatigorsk, Stavropol Krai, Russia, 357528

¹ ORCID 0000-0002-9973-7584,
e-mail: thymus73@mail.ru

² ORCID 0009-0004-7940-3917,
e-mail: demushkina.mila@yandex.ru

³ ORCID 0000-0002-7090-3139,
e-mail: vitaliyk2575@mail.ru

ABSTRACT

Solanum viarum Dunal. is a pantropical plant of South American origin. It is a perennial herbaceous vegetatively mobile plant with powerful thorns. Every year it forms many large leathery fruits containing up to 50 thousand seeds on one plant, which allowed it to spread over large areas of warm frost-free regions of the Earth. It prefers to populate open light habitats, forming impassable thorny thickets. It contaminates pastures, forage lands, crops, uncultivated lands, urban areas. The weed is extremely drought-resistant due to its thick rhizomes that penetrate deeply into the soil, but are sensitive to low positive temperatures. It can grow on various soil types. It is considered an invasive species in many countries. Its main pathways are seeds dispersed by people, animals and birds.

In recent years, cases of *S. viarum* detections along roadside have been reported in protected areas in France (Christians and Maglio, 2020). The pest risk analysis for EPPO countries conducted in 2024 showed that the invasive potential of this species for the EPPO area has not yet been fully realized and the species was provisionally placed on a list for further observations (EPPO..., 2022). However, this information cannot but raise concerns in terms of possible phytosanitary threats.

Solanum viarum is quite popular in ornamental gardening in Russia, as evidenced by offers to sell its

видов изначально культивировалось в качестве декоративных растений, и только намного позже проявились свойства, свидетельствующие об их инвазионном потенциале. И хотя популяции этого вида, вероятнее всего, пока отсутствуют на территории Российской Федерации, остро возникает вопрос, может ли данный вид акклиматизироваться в определенных природно-климатических условиях нашей страны, особенно в связи с происходящими глобальными климатическими изменениями.

Ключевые слова. Карантин растений, фитосанитарные риски, инвазионный вид, *Solanum*, фенология, семенная продуктивность.



ВВЕДЕНИЕ

Solanum viarum – многолетнее травянистое растение до 150 см высотой. Одиночные экземпляры *S. viarum* образуют мощные кусты полушаровидной формы. Корневища 1–2 см в диаметре находятся в прикорневом слое почвы и могут отходить в стороны от материнского растения до 1–2 м (Ferrell and Mullahey, 2006; Medal et al., 2012). Корни имеют утолщения в виде корневых почек, которые дают начало новым побегам. Стебель прямостоячий, ветвистый, густо покрыт отогнутыми назад колючками до 5 мм длиной, опушенными в основании. Листья широко яйцевидные до 20 см длиной и 15 см шириной, туполопастные, с заметной волнистой краем, зеленые, на верхней стороне глянцевые, снизу матовые. По центральным и боковым жилкам идут ряды более длинных прямых жестких шипов и колючек до 2 см длиной. Цветки с двойным околоцветником, 1,5 см в диаметре, собраны группами по 1–5 штук. Чашелистики 3–5 мм длиной. Венчик белый, с узкими отогнутыми лепестками; тычинки бледно-желтые.

Плоды крупные, около 2–3 см в диаметре, округлые, гладкие, матовые с толстым околоплодником, содержащие около 400 коричневых уплощенных семян (Mill, 2001; Weber, 2003). В незрелом состоянии ягоды зеленые, с белыми полосками, напоминающие окраску арбуза; при созревании плоды приобретают желтый цвет. На одном растении может формироваться от 40 тыс. до 50 тыс. семян (Akanda et al., 1996).

Родиной паслена придорожного является Южная Америка. Наиболее часто он встречается в Бразилии, Парагвае, Аргентине (Mullahey, 1996). В 80-х годах прошлого века этот вид стали регистрировать и в других странах. Но впервые *Solanum viarum* был обнаружен на территории США в 1988 г. во Флориде (Грейд Кантри) (Mullahey et al., 1993, 1998). Источник заражения не был окончательно установлен. Возможно, семена сорняка находились в посевном материале или проникли с перевозимыми домашними животными. Вначале он присутствовал лишь на юге штата в виде небольших очагов на территориях, расположенных вокруг озера Окичоби. Но довольно быстро к 1990 г. общая

сеeds by various online retailers. As has been repeatedly noted, a significant number of alien species were initially cultivated as ornamental plants and only much later did characters indicating their invasive potential were known. And although this species populations are most likely not yet present on the territory of the Russian Federation, the question arises whether it can adapt in certain natural and climatic conditions of Russia, especially in connection with the ongoing global climate change.

Key words. Plant quarantine, pest risks, invasive species, *Solanum*, phenology, seed productivity.

INTRODUCTION

Solanum viarum is a perennial herb up to 150 cm tall. Single *S. viarum* specimens form powerful hemispherical bushes. Rhizomes of 1–2 cm in diameter are located in the root layer of soil and can extend up to 1–2 m to the sides from the mother plant (Ferrell and Mullahey, 2006; Medal et al., 2012). The roots have thickenings in the form of root buds, which give rise to new shoots. The stem is erect, branched, densely covered with recurved prickles up to 5 mm long, pubescent at their base. The leaves are broadly ovate up to 20 cm long and 15 cm wide, bluntly lobed with markedly undulate edges, generally dark green, glossy above, duller below. Along the central and lateral veins there are rows of longer, straight, rigid spines and prickles up to 2 cm long. Flowers with double envelope, 1.5 cm in diameter, collected in clusters of 1–5 pieces. Sepals 3–5 mm long. Corolla white, with narrow reflexed petals; anthers pale yellow.

The fruits are large, about 2–3 cm in diameter, round, smooth, matte with a thick pericarp, containing about 400 brown flattened seeds (Mill, 2001; Weber, 2003). When unripe, the berries are green with white stripes, reminiscent of the color of a watermelon; when ripe, the fruits turn yellow. One plant can form from 40,000 to 50,000 seeds (Akanda et al., 1996).

S. viarum originates from South America. It most often occurs in Brazil, Paraguay, Argentina (Mullahey, 1996). In the 1980s, this species began to be reported in other countries. *S. viarum* was first detected in 1988 in Florida (Grade Country), the United States (Mullahey et al., 1993, 1998). The pathway was not finally recognized. Perhaps the weed seeds were present in the seed material or got introduced with transported domestic animals. At first, it was present only in the south of the state, in the form of small outbreaks in the areas located around Lake Okeechobee. However, quite quickly the total *S. viarum* contamination area in the state of Florida was 10 thousand hectares by 1990 and in the following years it sharply increased. Thus, in 1993 the area under the weed increased to

площадь заражения пасленом в штате Флорида составила 10 тыс. га и в последующие годы резко возросла. Так, в 1993 г. площадь под сорняком увеличилась уже до 162 тыс. га, в 1995 г. – до 0,5 млн га (Mullahey, 1996; Mullahey et al., 1998). Столь быстрое распространение паслена стало происходить непреднамеренно повсеместно по всему юго-востоку США через развитие животноводческой отрасли между этими штатами. Даже высокие температуры и фотопериодизм не препятствовали его распространению на территорию соседних штатов (Patterson et al., 1997), а в дальнейшем и на территории других штатов (Алабама, Джорджия, Луизиана, Миссисипи, Северная Каролина, Пенсильвания, Южная Каролина, Теннесси и Пуэрто Рико (Bryson et al., 1994; Akanda et al., 1996; Mullahey et al., 1998)).

В настоящее время *S. viarum* встречается повсеместно на пастбищах, в естественных ценозах, плантациях цитрусовых и сахарного тростника, на залежах, вдоль канав и дорог не только североамериканского континента, но распространился и на другие континенты, например в страны Латинской Америки, Азии, Африки, Австралии (Chandra, 2012; Coile, 1993; Wunderlin et al., 1993).

В 2019 г. небольшую заросль паслена придорожного обнаружил ботаник-любитель вдоль берега реки в ущелье Гордон на территории национального парка Севенны во Франции (Christians and Maglio, 2020).

Будучи в экспедициях в различных странах мира, сотрудники ФГБУ «ВНИИКР» также отмечали широкое присутствие этого вида в Мексике, Вьетнаме, Аргентине, Индии, Иране.

На современном этапе *Solanum viarum* встречается в таких странах мира, как Австралия, Аргентина, Бельгия, Боливия, Бразилия, Бутан, Вьетнам, Гондурас, Индия, Иран, Камерун, Китай, Колумбия, Конго, Мексика, Мьянма, Непал, Парагвай,

162 thousand hectares, in 1995 to 0.5 million hectares (Mullahey, 1996; Mullahey et al., 1998). Such a rapid *S. viarum* spread began unintentionally throughout the southeastern United States due to the development of the livestock industry between these states. Even high temperatures and photoperiodism did not prevent its spread to the territory of neighboring states (Patterson et al., 1997), and later to the territory of other states (Alabama, Georgia, Louisiana, Mississippi, North Carolina, Pennsylvania, South Carolina, Tennessee and Puerto Rico (Bryson et al., 1994; Akanda et al., 1996; Mullahey et al., 1998)).

Currently, *S. viarum* occurs everywhere in pastures, natural communities, citrus and sugar cane plantations, fallow lands, along ditches and roads not only on the North American continent, but has also spread to other continents, such as Latin America, Asia, Africa, and Australia (Chandra, 2012; Coile, 1993; Wunderlin et al., 1993).

In 2019, a small *S. viarum* brushing was detected by an amateur botanist along the bank of a river in the Gordon Gorge in the Cévennes National Park in France (Christians and Maglio, 2020).

While on expeditions to various countries, specialists of FGBU «VNIICR» also noted the widespread presence of this species in Mexico, Vietnam, Argentina, India, and Iran.

At the present stage, *S. viarum* occurs in the following countries: Australia, Argentina, Belgium, Bolivia, Brazil, Bhutan, Vietnam, Honduras, India, Iran, Cameroon, China, Colombia, Congo, Mexico, Myanmar, Nepal, Paraguay, Puerto Rico, Peru, USA (Alabama, Florida, Georgia, Louisiana, Mississippi, North Carolina, Oklahoma, Pennsylvania, South Carolina, Texas), Taiwan, Uruguay, France, Eswatini, South Africa (see Fig. 1).

S. viarum prefers to populate open, light habitats. In its natural range, it grows in the undergrowth of tropical rainforests, on forest edges, in shrub thickets

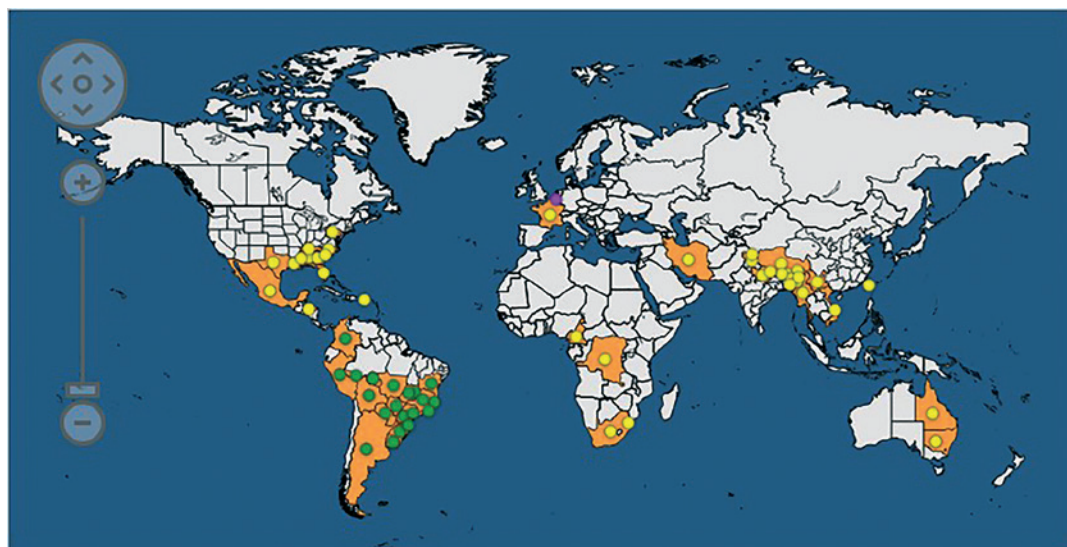


Рис. 1. Распространение *Solanum viarum* Dunal в мире (по данным <https://gd.eppo.int/taxon/SOLVI/distribution>). Зелеными кружками обозначены местонахождения вида в природном ареале; желтыми – устойчивые самоподдерживающиеся популяции вида во вторичном ареале, лиловыми – эфемерные популяции

Fig. 1. Worldwide spread of *Solanum viarum* Dunal (according to <https://gd.eppo.int/taxon/SOLVI/distribution>). Green circles indicate the locations of the species in its natural range; yellow circles indicate stable self-sustaining populations of the species in a secondary range; purple circles indicate ephemeral populations.

Табл. 1. Показатели температуры и осадков на территории г. Пятигорска в 2023 г.

Table 1. Temperature and precipitation indicators in the city of Pyatigorsk in 2023

		Средняя многолетняя сумма температур Average long-term temperature sum		Сумма температур t > +10 °C** Temperature sum t>+10 °C **)		Сумма осадков за период с t > +10 °C, мм Total precipitation for the period from t>+10 °C, mm	
Месяц	Month	t > +5 °C	Отклонение от нормы* Deviation from the norm *)				ГТК*** HTC***)
Май	May	434	-0,7	450	50	0,1	
Июнь	June	549	+4,6	714,5	61,6	0,9	
Июль	July	657,2	+3,4	796,5	30,3	0,4	
Август	August	657,2	+2,8	740,9	48,1	0,6	
Сентябрь	September	480	+1,9	573,4	11,3	0,2	
В целом за сезон	Overall for the season	2777,4		3275,3	201,3	0,6	

* Рассчитано на основе данных <https://www.meteoblue.com>.
**) calculated based on data <https://www.meteoblue.com>.
** Рассчитано на основе данных логгера, вывешенного на участке.
***) calculated based on data from a logger posted on the site
*** ГТК – гидротермический коэффициент по Селянинову (1928)
****) HTC – hydrothermal coefficient according to Selyaninov (1928)

Пуэрто-Рико, Перу, США (Алабама, Флорида, Джорджия, Луизиана, Миссисипи, Северная Каролина, Оклахома, Пенсильвания, Южная Каролина, Техас), Тайвань, Уругвай, Франция, Эсватини, Южная Африка (см. рис. 1).

Паслен придорожный предпочитает заселять открытые светлые местообитания. В своем природном ареале он растет в подлеске влажно-тропических лесов, на опушках, в кустарниковых зарослях сухих лесов. Во вторичных местообитаниях *Solanum viarum* часто занимает окультуренные пастбища (особенно там, где подсеивают *Paspalum notatum*), растет по краю полей с сахарным тростником, покрывает урбанизированные пустыри, городские свалки, ирригационные каналы и другие растительные сообщества рудерального типа (Medal et al., 2012). Отмечены случаи внедрения сорняка в агроценозы, особенно часто растет на полях с зернобобовыми и овощными культурами, соей (Medal et al., 2008; 2012).

Учитывая участвовавшие случаи обнаружения этого вида в безморозных регионах мира и усиливающееся влияние климатических изменений на состав растительных сообществ, прогнозируется расширение ареала *S. viarum*. Одним из важнейших антропогенных факторов распространения паслена придорожного является его преднамеренное культивирование в качестве декоративного растения. Коммерческое садоводство выступает существенным драйвером глобальной диссеминации этого вида.

Целью данного исследования было проведение фенологических наблюдений за растениями *Solanum viarum* Dunal в условиях интродукционного опыта г. Пятигорска. Среди поставленных задач было изучение его биологических особенностей, морозоустойчивости, определение общей семенной продуктивности и жизнеспособности семян данного вида.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования были взяты семена *Solanum viarum*, собранные в Мексике штате Нуево-Леон

of dry forests. In secondary habitats, *S. viarum* often occupies cultivated pastures (especially where *Paspalum notatum* is sown), grows along the edges of sugar cane fields, covers urban wastelands, city dumps, irrigation ditches and other ruderal plant communities (Medal et al., 2012). Cases of the weed's introduction into agro-cenoses have been noted; it especially often grows in fields with leguminous and vegetable crops, soybeans (Medal et al., 2008; 2012).

Given the increasing frequency of detections of this species in frost-free regions of the world and the increasing impact of climate change on the composition of plant communities, the range of *S. viarum* is predicted to expand. One of the most important anthropogenic factors in the spread of *S. viarum* is its deliberate cultivation as an ornamental plant. Commercial gardening is a significant driver of the global dissemination of this species.

The aim of this study was to conduct phenological observations of *Solanum viarum* Dunal plants in the conditions of the introduction experiment in Pyatigorsk. The objectives included studying its biological characteristics, frost resistance, determining its overall seed productivity and viability.

MATERIALS AND METHODS

The study was performed on *S. viarum* seeds collected in the Mexican state of Nuevo Leon and stored in the carpological collection of the Research and Methodology Department of Invasive Plant Species (No. S-01128). Introduction tests were carried out at the Pyatigorsk branch of FGBU "VNIKR" in 2023-2024. Site coordinates: 44.031754, 43.027212.

The city of Pyatigorsk is located in the foothills of the Main Caucasian Range. The climate is moderately continental, steppe with mild winters and hot summers. The temperature in winter ranges from 0 to -4 °C with rare frosts down to -20 °C. The average

и хранящиеся в карпоботанической коллекции научно-методического отдела инвазивных видов растений (№ S-01128). Интродукционные испытания проводили на базе Пятигорского филиала ФГБУ «ВНИИКР» в 2023–2024 гг. Координаты участка: 44.031754, 43.027212.

Пятигорск расположен в предгорьях Главного Кавказского хребта. Климат умеренно континентальный, степной, с мягкой зимой и жарким летом. Температура в зимний период колеблется в диапазоне от 0 до –4 °C с редкими морозами до –20 °C. Средняя температура июля +22 °C, но может подниматься до +40 °C и выше. Среднегодовое количество осадков – около 550 мм/год. Наибольшее количество осадков приходится на май – июнь. В среднем 145 солнечных дней в году («Климатические особенности...», 2025). Погодные условия за вегетационный период в г. Пятигорске в 2023 г. представлены в табл. 1.

Приведенный в табл. 1 гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) характеризует степень увлажнения территории с точки зрения соотношения тепла и влаги и определяется по формуле:

$$\text{ГТК} = R \times 10 / \Sigma t,$$

где R – сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше +10 °C;

Σt – сумма температур в градусах Цельсия за тот же период.

Выделяются следующие зоны увлажнения в соответствии со значениями ГТК: влажная (ГТК 1,6–1,3); слабозасушливая (1,3–1,0); засушливая (1,0–0,7); очень засушливая (0,7–0,4) и сухая (ГТК < 0,4) (Ионова и др., 2019).

Исходя из данных, приведенных в табл. 1, вегетационный период 2023 г. можно охарактеризовать как теплый (сумма активных температур выше +10 °C с мая по сентябрь составила 3275,3 °C) и сухой (сумма осадков за этот период – 201,3 мм, ГТК = 0,6).

Такое количество осадков было признано крайне недостаточным для развития *Solanum viarum*. К примеру, в окрестностях Ханоя, где авторы наблюдали плотные заросли этого вида, количество осадков в июне 2019 г. составило 300 мм. Таким образом, было принято решение о дополнительном поливе участка в ходе проведения опыта (два раза в неделю с мая по сентябрь).

Фенологические наблюдения проводили с конца апреля до середины октября 2023 г. с интервалом в 7–10 дней согласно общепринятым методикам («Методика фенологических...», 1975; Куприянов, 2013). Высадка рассады в открытый грунт участка проведена 24 апреля 2023 г. Было высажено 125 растений, находящихся в фазе 2–3 пар настоящих листьев.

Регистрировали даты и продолжительность прохождения основных фаз развития растений:

July temperature is + 22 °C, but can rise to + 40 °C and higher. The average annual precipitation is about 550 mm / year. The greatest amount of precipitation occurs in May-June. On average, 145 sunny days a year (Climatic features ..., 2025). Weather conditions for the growing season in Pyatigorsk in 2023 are presented in Table 1.

The Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC) given in Table 1 characterizes the degree of humidification of the territory from the point of view of the ratio of heat and moisture and is determined by the formula:

$$\text{HTC} = R \times 10 / \Sigma t,$$

where R – the amount of precipitation in millimetres for the period with temperatures above +10°C, Σt – the sum of temperatures in degrees Celsius for the same period. The following humidification zones are distinguished in accordance with the HTC values: humid (HTC 1.6–1.3); slightly arid (1.3–1.0); arid (1.0–0.7); very arid (0.7–0.4) and dry (HTC < 0.4) (Ionova et al., 2019).

Based on the data presented in Table 1, the vegetation period of 2023 can be characterized as warm (the sum of active temperatures above +10 °C from May to September was 3275.3 °C) and dry (the sum of precipitation for this period was 201.3 mm, HTC=0.6).

This amount of precipitation was considered extremely insufficient for the development of *S. viarum*. For example, in the vicinity of Hanoi, where the authors observed dense thickets of this species, the amount of precipitation in June 2019 was 300 mm. Thus, it was decided to additionally water the site during the experiment (twice a week from May to September).

Phenological observations were carried out from the end of April to mid-October 2023 at intervals of 7–10 days according to generally accepted methods (Methodology of phenological..., 1975;



Рис. 2. Проростки *Solanum viarum* Dunal в фазе 2–3 пар настоящих листьев (апрель 2023 г.) (фото Л. Е. Демушкиной)

Fig. 2. *Solanum viarum* Dunal seedlings in the phase of 2–3 pairs of true leaves (April 2023) (photo by L.E. Demushkina)



Рис. 3. Растения *Solanum viarum* Dunal в фазе вегетативного роста – май (слева), июнь (справа) (фото Л. Е. Демушкиной)



Fig. 3. *Solanum viarum* Dunal in the vegetative growth phase – May (left), June (right) (photo by L.E. Demushkina)

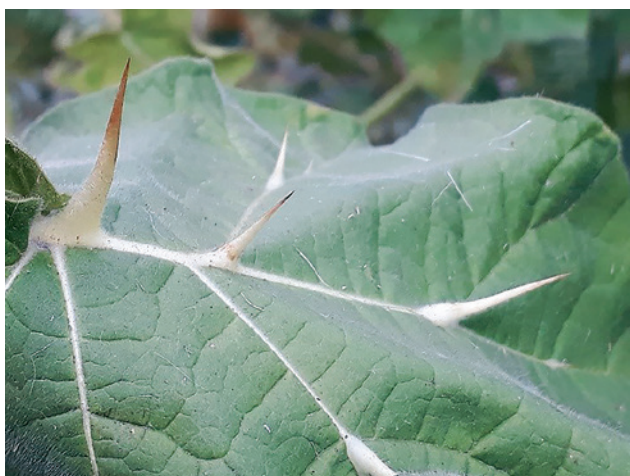


Рис. 4. Длинные прямые колючки на черешках и листьях *Solanum viarum* Dunal (фото Л. Е. Демушкиной)

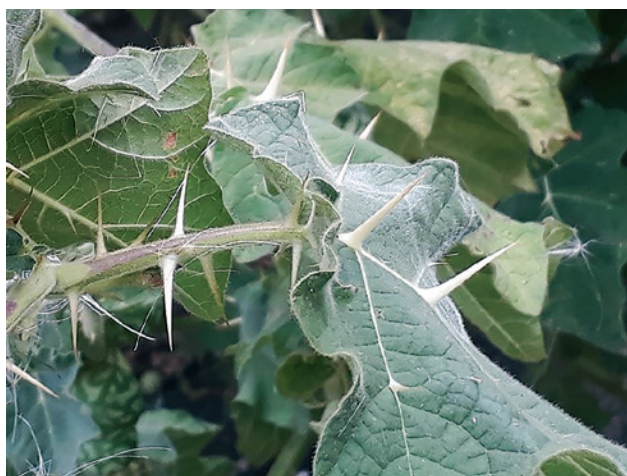


Fig. 4. Long straight prickles on petioles and leaves of *Solanum viarum* Dunal (photo by L.E. Demushkina)

отрастания, вегетации, бутонизации, цветения, плодоношения и фазы отмирания надземных побегов. Определение общей семенной продуктивности проводили весовым методом. Жизнеспособность семян определяли посредством окрашивания зародышей 1%-м раствором хлористого тетразолия («Методические...», 2014).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Климатические условия 2023 г. оказались благоприятными для роста и развития паслена придорожного. Высаженные 24 апреля на участке г. Пятигорска молодые растения полностью прижились и хорошо развивались в условиях солнечной погоды и умеренно теплой температуры (см. рис. 2).

К концу мая все растения нарастили значительную биомассу. Уже к началу июня это были прямостоячие кустики с одиночными стеблями, покрытыми мощными крепкими колючками и ярко-зелеными листьями (см. рис. 3, 4).

Первые бутоны на опытных растениях *S. viarum* появились 7 июня, то есть через 1,5 месяца после высадки рассады в грунт (см. рис. 5 (слева)). 19 июня раскрылись первые цветки, а массовое и обильное цветение наблюдалось с июля по август (см. рис. 5 (справа)).

Растения были усыпаны цветками, вокруг которых кружили многочисленные опылители

Kupriyanov, 2013). Seedlings were planted in the open ground of the site on April 24, 2023. 125 plants were planted, which were in the phase of 2–3 pairs of true leaves.

The dates and duration of the main phases of plant development were recorded: regrowth, vegetation, budding, flowering, fruiting and the phase of dying off of above-ground shoots. The total seed productivity was determined by the weight method. The viability of seeds was determined by staining the embryos with a 1% solution of tetrazolium chloride (Methodological..., 2014).

RESULTS AND DISCUSSION

The climatic conditions of 2023 turned out to be favorable for the growth and development of *S. viarum*. Young plants planted on April 24 in a plot of land in Pyatigorsk took root completely and developed well in sunny weather and moderately warm temperatures (see Fig. 2).

By the end of May, all the plants had grown significant biomass. By the beginning of June, they were upright bushes with single stems covered with powerful, strong thorns and bright green leaves (see Fig. 3, 4).



Рис. 5. Формирование бутонов у *Solanum viarum* Dunal (слева) и цветение (справа) (фото Л. Е. Демушкиной)



Fig. 5. *Solanum viarum* Dunal buds formation (left) and flowering (right) (photo by L.E. Demushkina)

(шмели, бабочки, жуки и др.). Окончание цветения пришлось на первую декаду сентября. Таким образом, паслен придорожный отличался растянутым периодом цветения (около 3 месяцев), синхронизированным с жаркими погодными условиями (см. рис. 6).

Первые плоды были зафиксированы 3 июля. Это были крупные шаровидные ягоды с чередованием темных и светлых зеленых полос. С этого момента и до конца сентября шло формирование новых плодов (см. рис. 7). Высота стеблей паслена придорожного при плодоношении варьировала от 120 до 165 см, а толщина стебля составляла 1,8–3 см (см. рис. 8).

Со второй половины сентября молочно-зеленые плоды *S. viarum* Dunal начали постепенно желтеть (см. рис. 9, 10). Растения оголились, сбросив листья.

Наблюдения за посадками паслена придорожного продолжались до наступления первых осенних заморозков, которые начались с 17 октября 2023 г. Под воздействием низких температур у большинства растений отмечалось пожелтение надземной биомассы, появились некрозы. Большую часть из них пришлось выкорчевать и утилизировать, собрав предварительно все имеющиеся плоды. Плоды содержали большое число семян (см. рис. 11). Шесть растений с плодами на побегах были оставлены зимовать на участке, чтобы на следующий год оценить морозостойкость их корней и жизнеспособность семян.

На основании полученных в 2023 г. данных был подготовлен фенологический спектр сезонного развития *S. viarum* Dunal. Продолжительность вегетации составила порядка 160 дней (см. табл. 2).

Согласно полученным результатам, вегетационный период исследуемых растений отличался значительной продолжительностью и проходил с третьей декады апреля до конца сентября (159 дней). Длительность данного периода могла бы быть больше в случае посева растений семенами. Цветение проходило практически непрерывно все лето – и лишь снижение температур к концу сезона замедлило этот процесс. Плодоношение растянулось с июля и вплоть до наступления первых заморозков (до середины октября).

The first buds on the experimental *S. viarum* plants appeared on June 7, i.e. 1.5 months after the seedlings were planted (see Fig. 5 (left)). The first flowers opened on June 19, and mass and abundant flowering was observed from July to August (see Fig. 5 (right)).

The plants were covered with flowers, around which numerous pollinators (bumblebees, butterflies, beetles, etc.) were circling. The end of flowering occurred in the first ten days of September. Thus, *S. viarum* was distinguished by an extended flowering



Рис. 6. Фаза бутонизации *Solanum viarum* Dunal (конец июня 2023 г.) (фото Л. Е. Демушкиной)

Fig. 6. *Solanum viarum* Dunal budding phase (late June 2023) (photo by L.E. Demushkina)



Рис. 7. Фаза плодоношения на разных стадиях созревания *Solanum viarum* Dunal (июль – август 2023 г.) (фото Л. Е. Демушкиной)

Fig. 7. *Solanum viarum* Dunal fruiting phase at different ripening stages (July-August 2023) (photo by L.E. Demushkina)

В ходе выращивания *S. viarum* Dunal проводили измерения и подсчеты вегетативных и генеративных частей растений. У взрослых плодоносящих растений число боковых побегов варьировало от 5 до 10 штук, длина листовых пластинок доходила до 17 см. Длина шипов на стеблях достигала до 7 мм, а на черешках и центральных жилках листовых пластинок – до 2 см. Все растения были чрезвычайно плодовиты. На одном побеге формировалось от 46 до 182 крупных плодов, что

disposed of, having previously collected all the available fruits. The fruits contained a large number of seeds (see Fig. 11). Six plants with fruits on the shoots were left to overwinter on the site in order to assess the frost resistance of their roots and the viability of the seeds the following year.

Based on the data obtained in 2023, a phenological spectrum of seasonal development of *S. viarum* Dunal was prepared. The duration of the growing season was about 160 days (see Table 2).



Рис. 8. Толщина стеблей *Solanum viarum* Dunal на интродукционном участке (фото Л. Е. Демушкиной)



Fig. 8. *Solanum viarum* Dunal stem thickness at the introduction site (photo by L.E. Demushkina)

period (about 3 months), synchronized with hot weather conditions (see Fig. 6).

The first fruits were recorded on July 3. These were large spherical berries with alternating dark and light green stripes. From this moment until the end of September, new fruits were formed (see Fig. 7). The height of *S. viarum* stems during fruiting varied from 120 to 165 cm, and the thickness of the stem was 1.8-3 cm (see Fig. 8).

From the second half of September, the milky-green fruits of *S. viarum* Dunal began to gradually turn yellow (see Fig. 9, 10). The plants became bare, shedding their leaves.

Observations of *S. viarum* plantings continued until the first autumn frosts, which began on October 17, 2023. Under the influence of low temperatures, most plants showed yellowing of the above-ground biomass, and necrosis appeared. Most of them had to be uprooted and

According to the obtained results, the vegetation period of the studied plants was distinguished by a significant duration and lasted from the third week of April to the end of September (159 days). The duration of this period could have been longer in the case of sowing the plants with seeds. Flowering took place almost continuously throughout the summer and only a decrease in temperatures towards the end of the season slowed down this process. Fruiting stretched from July until the onset of the first frosts (until mid-October).

During cultivation of *S. viarum* Dunal, vegetative and generative parts of plants were measured and counted. In adult fruit-bearing plants,



Рис. 9. Зрелые плоды *Solanum viarum* Dunal (слева) и растения с созревшими плодами (конец сентября 2023 г.) (справа) (фото Л. Е. Демушкиной)



Fig. 9. Ripe fruits of *Solanum viarum* Dunal (left) and plants with ripe fruits (late September 2023) (right). (photo by L.E. Demushkina)

в среднем составляло 114 плодов. Плоды были как мелкого (0,9 см), так и более крупного размера (3 и более см в диаметре). Средний вес плода достигал 8,2 г, при этом значения варьировали от 4,12 до 12,23 г. Число семян в плоде насчитывало от 201 до 572 штук (средний показатель 421 шт/плод). Таким образом, среднестатистическое растение может продуцировать порядка 48 тыс. семян за сезон. Данные о семенной продуктивности *S. viarum* Dunal представлены в табл. 3.

the number of lateral shoots varied from 5 to 10, the length of the leaf blade reached 17 cm. The length of the prickles on the stems reached 7 mm, and on the petioles and central veins of the leaf blades – up to 2 cm. All plants were extremely fertile. From 46 to 182 large fruits were formed on one shoot, which averaged 114 fruits. The fruits were both small (0.9 cm) and larger (3 cm or more in diameter). The average weight of the fruit reached 8.2 g, while the values vary from 4.12 to 12.23 g. The number of seeds in the fruit amounted to 201 to 572 pieces (the average figure is 421 pcs. / fruit). Thus, the average plant can produce about 48 thousand seeds per season. Data on seed productivity of *S. viarum* Dunal are presented in Table 3.

Such high seed productivity rates certainly indicate the enormous potential of the seed type reproduction in this plant, which dominates over vegetative reproduction. Seed viability tests showed that they were not viable at the time of collection in September 2023. Due to frosts that occurred in mid-October 2023, the seeds did not ripen, although they looked ripe and had a formed seed coat. A repeat test carried out 3 months later showed that seed viability had reached 53%. The seeds were stored at room temperature in a dry laboratory room all this time. Thus, the lack of heat in the autumn period is critical for the maturation of seed embryos.

In the spring of 2024, the viability of seeds left on the shoots of plants that had overwintered on the site was tested. The test showed that the seeds were completely non-viable. This indicates that the sum of active temperatures during the vegetation period of Pyatigorsk is insufficient to obtain viable seeds from *S. viarum*.

Observations of the process of spring awakening of renewal buds showed the absence of a viable root system in overwintered specimens.



Рис. 10. Урожай плодов в сентябре 2023 г. (фото Л. Е. Демушкиной)

Fig. 10. Fruit harvest in September 2023 (photo by L.E. Demushkina)

Такие высокие показатели семенной продуктивности безусловно свидетельствуют об огромном потенциале семенного типа размножения у этого растения, который доминирует над вегетативным. Тесты на жизнеспособность семян показали, что на момент их сбора в сентябре 2023 г. они были нежизнеспособны. Из-за заморозков, наступивших в середине октября 2023 г., семена не вызрели, хотя выглядели как зрелые и имели сформированную семенную кожуру. Повторно проведенная через 3 месяца проверка показала, что жизнеспособность семян достигла показателей в 53%. Семена все это время хранились при комнатной температуре в сухом помещении лаборатории. Таким образом, нехватка тепла в осенний период является критической для дозревания зародышей семян.

Весной 2024 г. была проведена проверка жизнеспособности семян, оставленных на побегах зимовавших на участке растений. Тест показал, что семена были полностью нежизнеспособны. Это свидетельствует, что сумма активных температур за вегетационный период г. Пятигорска недостаточна для получения жизнеспособных семян у паслена придорожного.

Наблюдения за процессом весеннего пробуждения почек возобновления показали отсутствие жизнеспособной корневой системы у перезимовавших экземпляров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в 2023–2024 гг. на карантинном интродукционном участке г. Пятигорска исследования сезонной динамики развития *Solanum viarum*



Рис. 11. Семена паслена придорожного (фото Л. Е. Демушкиной)

Fig. 11. *Solanum viarum* Dunal seeds (photo by L.E. Demushkina)

CONCLUSION

The studies of the seasonal dynamics of *Solanum viarum* Dunal development conducted in 2023–2024 at the quarantine introduction site in Pyatigorsk under controlled conditions showed that this aggressive rhizomatous perennial plant goes through its life cycle in one growing season as an annual plant, blooms abundantly and for a long time, forms a large

Табл. 2. Феноспектр сезонного развития *S. viarum* Dunal в условиях вегетационного опыта Пятигорского филиала ФГБУ «ВНИИКР»

Table 2. Phenospectrum of seasonal development of *S. viarum* Dunal in the conditions of vegetation experiment of Pyatigorsk branch of FGBU “VNIICR”

2023		месяц month							
фенофазы	enophases	Апрель April	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September	Октябрь October	
Высадка рассады	Planting of seedlings								
Вегетация	Vegetation								
Бутонизация	Budding								
Цветение	Flowering								
Плодоношение	Fruiting								
Отмирание	Dying off								

Табл. 3. Семенная продуктивность *S. viarum* Dunal

Table 3. Seed productivity of *S. viarum* Dunal

Год Year	Среднее кол-во плодов на 1 побег, шт Average number of fruits per shoot, pcs.	Диаметр плодов, см Fruit diameter, cm	Среднее кол-во семян в 1 плоде, шт Average number of seeds in 1 fruit, pcs.	Вес 1000 семян, г Weight of 1000 seeds, g
2023	114	0,9–3,3	421	4,47 ± 0,01

Dunal в контролируемых условиях показали, что этот агрессивный корневищный многолетник проходит свой жизненный цикл за один вегетационный сезон по типу однолетнего растения, обильно и продолжительно цветет, формирует большое число плодов (114 штук / 1 растение), отличается высокой семенной продуктивностью (48 тыс. семян / 1 растение) и вымерзает в зимний период. Несмотря на высокие показатели завязывания семян, недостаток тепла не позволяет семенам полностью вызреть. Вегетативное возобновление корневыми отпрысками на следующий год отсутствует.

На основании полученных данных были выявлены важнейшие биологические особенности паслена придорожного, подтверждающие его низкий фитосанитарный статус на сегодняшний день в случае непреднамеренной интродукции растений в условиях г. Пятигорска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ионова Е.В., Лиховидова В.А., Лобунская И.А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 6. С. 18–22. DOI 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22.
2. Куприянов А.Н. Теория и практика интродукции растений: учебное пособие. Кемерово: КРЭО «Ирбис». 2013. 160 с.
3. Методические рекомендации по экспертизе карантинных сорных растений. Быково, ФГБУ «ВНИИКР». 2014. С. 13–16.
4. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М., 1975. 28 с.
5. Akanda R.U., Mullahey J.J., Shilling D.G. Environmental factors affecting germination of tropical soda apple (*Solanum viarum*). *Weed Science*. 1996. 44(3). P. 570–574.
6. Bryson C.T., Byrd J.D. *Solanum viarum* (Solanaceae), new to Mississippi. *Sida*. 1994. 16. P. 382–385.
7. Chandra S.K. Invasive Alien Plants of Indian Himalayan Region- Diversity and Implication. *American Journal of Plant Sciences*. 2012. 3. P. 177–184.
8. Christians J.F., Maglio M. *Solanum viarum* Dunal (Solanaceae) dans le département du Gard (France): une espèce exotique nouvelle pour la flore de France continentale. *Bulletin de la Société Linnéenne de Lyon*. 2020. 89 (7-8), P. 196–204.
9. Coile N.C. Tropical soda apple *Solanum viarum* Dunal: The plant from hell. *Florida Botany Circular No. 27*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry, Gainesville, Florida, United State. 1993.
10. EPPO Technical Document No. 1085. Pest risk analysis for *Solanum viarum* EPPO, Paris, 2022.
11. Ferrell J.A., Mullahey J.J., Tropical Soda Apple (*Solanum viarum* Dunal) in Florida. Document SS- AGR-50, Agronomy Department, Florida Cooperative Extension Service, University of Florida [ed. By University of Florida]. Gainesville, Florida, USA: Florida Cooperative Extension Service. 2006.
12. Medal J., Overholt W., Charudattan W., Mullahey J., Gaskalla R., Diaz R., Cuda J. Tropical Soda Apple Management Plan. Gainesville, Florida, USA: University of Florida-IFAS, 2012. 87 p.
- number of fruits (114 pcs. / 1 plant), has high seed productivity (48 thousand seeds / 1 plant) and freezes out in winter. Despite the high rates of seed setting, the lack of heat does not allow the seeds to fully ripen. Vegetative renewal by root shoots the following year is absent.
- Based on the data obtained, the most important biological characters *Solanum viarum* were identified, confirming its low phytosanitary status today in the case of unintentional introduction of plants in the conditions of Pyatigorsk.

REFERENCES

1. Ionova E.V., Likhovidova V.A., Lobunskaya I.A. Drought and hydrothermal humidity factor as one of the criteria to estimate its intensity degree (literature review) [Zasukha i gidrotermicheskiy koeffitsiyent uvlazhneniya kak odin iz kriteriyev otsenki stepeni yeye intensivnosti (obzor literatury)]. *Grain Economy of Russia*. 2019; (6):18-22. (In Russ.) DOI 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22.
2. Kupriyanov A.N. Theory and practice of plant introduction: a tutorial. Kemerovo: KREO «Irbis». 2013. 160 p. (In Russ.)
3. Methodical recommendations for the examination of quarantine weeds. Bykovo, FGBU «VNIKR». 2014: 13–16. (In Russ.)
4. Methodology of phenological observations in botanical gardens of the USSR. Moscow, 1975. 28 p. (In Russ.)
5. Akanda R.U., Mullahey J.J., Shilling D.G. Environmental factors affecting germination of tropical soda apple (*Solanum viarum*). *Weed Science*. 1996. 44(3). P.570–574.
6. Bryson C.T., Byrd J.D. *Solanum viarum* (Solanaceae), new to Mississippi. *Sida*. 1994. 16. P. 382–385.
7. Chandra S.K. Invasive Alien Plants of Indian Himalayan Region- Diversity and Implication. *American Journal of Plant Sciences*. 2012. 3. P.177–184.
8. Christians J.F., Maglio M. *Solanum viarum* Dunal (Solanaceae) dans le département du Gard (France): une espèce exotique nouvelle pour la flore de France continentale. *Bulletin de la Société Linnéenne de Lyon*. 2020. 89 (7-8), P.196–204.
9. Coile N.C. Tropical soda apple *Solanum viarum* Dunal: The plant from hell. *Florida Botany Circular No. 27*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry, Gainesville, Florida, United State. 1993.
10. EPPO Technical Document No. 1085. Pest risk analysis for *Solanum viarum* EPPO, Paris, 2022.
11. Ferrell J.A., Mullahey J.J., Tropical Soda Apple (*Solanum viarum* Dunal) in Florida. Document SS- AGR-50, Agronomy Department, Florida Cooperative Extension Service, University of Florida [ed. By University of Florida]. Gainesville, Florida, USA: Florida Cooperative Extension Service. 2006.
12. Medal J., Overholt W., Charudattan W., Mullahey J., Gaskalla R., Diaz R., Cuda J. Tropical Soda Apple Management Plan. Gainesville, Florida, USA: University of Florida-IFAS, 2012. 87 p.

13. Mullahey J.J. Tropical soda apple (*Solanum viarum* Dunal), a biological pollutant threatening Florida. Castanea. 1996. P. 255–260.

14. Mullahey J.J., Nee M., Wunderlin R.P., Delaney K.R. Weed alert! Tropical soda apple (*Solanum viarum*): a new weed threat in subtropical regions. Weed Technology. 1993. 7(3). P. 783–786.

15. Mullahey J.J., Donn G. Shilling, P. Mislevy, R. A. Akanda. Invasion of Tropical Soda Apple (*Solanum viarum*) into the U.S.: Lessons Learned. Weed Technology. 1998. 12. P. 733–736.

16. Patterson D. T., McGowan M., Mullahey J. J., Westbrooks R. G. Effects of temperature and photoperiod on tropical soda apple (*Solanum viarum* Dunal) and its potential range in the U.S. Weed Science. 1997. 45(3). P. 404–408.

17. Wunderlin R.P., Hansen B.F., Delaney K.R., Nee M., Mullahey J.J. *Solanum viarum* and *S. tampicense* (Solanaceae): two weedy species new to Florida and the United States. SIDA, Contributions to Botany 15. 1993. 4. P. 605–11.

18. Климатические особенности г. Пятигорска [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA> (дата обращения: 20.05.2025).

19. EPPO Global Database. [Электронный ресурс]. URL: <https://gd.eppo.int/taxon/SOLVI/distribution>, (дата обращения: 01.06.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Демушкина Людмила Егоровна, младший научный сотрудник Пятигорского территориального отдела Южного филиала ФГБУ «ВНИИКР», Ставропольский край, г. Пятигорск;
ORCID ID: 0009-0004-7940-3917,
e-mail: demushkina.mila@yandex.ru

Кулакова Юлия Юрьевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник – начальник научно-методического отдела инвазивных видов растений ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, м. о. Раменский, Московская обл.;
ORCID ID: 0000-0002-9973-7584;
e-mail: thymus73@mail.ru

Кулаков Виталий Геннадьевич, старший научный сотрудник – начальник отдела организации МСИ ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, м. о. Раменский, Московская обл.; ORCID ID: 0000-0002-7090-3139,
e-mail: vitaliyk2575@mail.ru

13. Mullahey J.J. Tropical soda apple (*Solanum viarum* Dunal), a biological pollutant threatening Florida. Castanea. 1996. P.255–260.

14. Mullahey J.J., Nee M., Wunderlin R.P., Delaney K.R. Weed alert! Tropical soda apple (*Solanum viarum*): a new weed threat in subtropical regions. Weed Technology. 1993. 7(3). P.783–786.

15. Mullahey J.J., Donn G. Shilling, P. Mislevy, R. A. Akanda. Invasion of Tropical Soda Apple (*Solanum viarum*) into the U.S.: Lessons Learned. Weed Technology. 1998. 12. P.733–736.

16. Patterson D. T., McGowan M., Mullahey J. J., Westbrooks R. G. Effects of temperature and photoperiod on tropical soda apple (*Solanum viarum* Dunal) and its potential range in the U.S. Weed Science. 1997. 45(3). P. 404–408.

17. Wunderlin R.P., Hansen B.F., Delaney K.R., Nee M., Mullahey J.J. *Solanum viarum* and *S. tampicense* (Solanaceae): two weedy species new to Florida and the United States. SIDA, Contributions to Botany 15. 1993. 4. P. 605–11.

18. Climatic features of Pyatigorsk [Electronic resource]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA> (last accessed: 20.05.2025).

19. EPPO Global Database. [Electronic resource]. URL: <https://gd.eppo.int/taxon/SOLVI/distribution>, (last accessed: 01.06.2025).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Liudmila Demushkina, Junior Researcher, Pyatigorsk territorial department of the Southern branch of FGBU “VNIICR”, Stavropol Krai, Pyatigorsk;
ORCID 0009-0004-7940-3917,
e-mail: demushkina.mila@yandex.ru.

Yuliana Kulakova, PhD in Biology, Leading Researcher, Head of Research and Methodology Department of Invasive Plant Species, FGBU “VNIICR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia;
ORCID 0000-0002-9973-7584; e-mail: thymus73@mail.ru.

Vitaly Kulakov, Senior Researcher – Head of Interlaboratory Comparisons Department, FGBU “VNIICR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia;
ORCID 0000-0002-7090-3139,
e-mail: vitaliyk2575@mail.ru.

Молекулярно-генетические методы, применяемые для детекции карантинных объектов. Инновации, вызовы и перспективы

* НИКИТИНСКИЙ Д.А.¹, НИКИТИНСКАЯ Е.В.²

ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), р. п. Быково, г. о. Раменский, Московская обл., Россия, 140150

¹ ORCID: 0009-0009-1679-9893,
e-mail: denpreffect@gmail.com

² ORCID: 0009-0002-0991-9841,
e-mail: nikitinskajacat@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Карантинные объекты представляют глобальную угрозу для сельского хозяйства, вызывая потери урожая до 30% ежегодно. В связи с климатическими изменениями и развитой международной торговлей, появлением новых крупных поставщиков семенного и посадочного материала, а также готовой продукции требуется своевременно реагировать на новые вызовы – совершенствовать существующие подходы и разрабатывать новые решения для обеспечения продовольственной безопасности, анализа фитосанитарных рисков максимально точными и быстрыми методами. Традиционные методы детекции, такие как микробиологический посев и серологические тесты, требуют значительных временных затрат (до 14 дней) и часто недостаточно специфичны. Молекулярно-генетические подходы, основанные на анализе ДНК/РНК, позволяют решить эти проблемы, обеспечивая раннее обнаружение патогенов до появления симптомов, дифференциацию штаммов на уровне генома, мониторинг резистентности к антибиотикам и пестицидам, возможность оценки эффективности средств защиты, обнаружение латентных патогенов при отсутствии внешних проявлений. Современные молекулярно-генетические технологии революционизируют диагностику карантинных организмов, бактерий, грибов, оомицетов и вирусов. В статье представлен анализ методов, включая метод полимеразной цепной реакции (ПЦР), изотермическую амплификацию (LAMP), секвенирование нового поколения (NGS) и CRISPR-системы, с акцентом на их уникальные преимущества, существующие ограничения и практическое применение. Особое внимание уделено интеграции этих технологий в фитосанитарный мониторинг для предотвращения распространения карантинных и сельскохозяйственно значимых организмов. Практические результаты, получаемые с использованием молекулярно-генетических методов, демонстрируют, что комбинация методов значительно повышает точность диагностики, а развитие

Molecular genetic methods used for detection of quarantine pests. Innovations, challenges and prospects.

* DENIS A. NIKITINSKY¹,
EKATERINA V. NIKITINSKAYA²

All-Russian Plant Quarantine Center
(FGBU “VNIIEKR”), Bykovo, Ramenskoye,
Moscow Oblast, Russia, 140150

¹ ORCID: 0009-0009-1679-9893,
e-mail: denpreffect@gmail.com

² ORCID: 0009-0002-0991-9841,
e-mail: nikitinskajacat@yandex.ru

ABSTRACT

Quarantine pests pose a global threat to agriculture, causing annual crop losses of up to 30%. Due to climate change and developed international trade, the emergence of new large suppliers of seeds and planting material, as well as finished products, it is necessary to promptly respond to new challenges – to improve existing approaches and develop new solutions to ensure food security, analyze pest risks with the most accurate and rapid methods. Traditional detection methods, such as microbiological culture and serological tests, require significant time (up to 14 days) and are often not specific enough. Molecular genetic approaches based on DNA / RNA analysis can solve these problems, providing early detection of pathogens before symptoms appear, differentiation of strains at the genome level, monitoring resistance to antibiotics and pesticides, the ability to assess the effectiveness of protective equipment, and detection of latent pathogens in the absence of external manifestations. Modern molecular genetic technologies are revolutionizing the diagnosis of quarantine pests, bacteria, fungi, oomycetes and viruses. The article presents an analysis of methods, including the polymerase chain reaction (PCR), isothermal amplification (LAMP), next-generation sequencing (NGS) and CRISPR systems, with an emphasis on their unique advantages, existing limitations and practical applications. Particular attention is paid to the integration of these technologies into phytosanitary monitoring to prevent the spread of quarantine and agriculturally significant organisms. Practical results obtained using molecular genetic methods demonstrate that a combination of methods significantly improves the accuracy of diagnostics, and the

портативных платформ расширяет возможности полевых исследований.

Ключевые слова. Карантинные организмы, фитопатогены, ПЦР, LAMP, CRISPR-Cas, NGS, диагностика.

ВВЕДЕНИЕ



Непрерывный рост населения Земли и постоянно возрастающее потребление сельскохозяйственной продукции ставит перед производителями серьезные глобальные задачи. Использование интенсивного метода развития сельского хозяйства ограничено недостатком доступных посевных площадей во всем мире.

На территории РФ основными причинами снижения посевных площадей в последние десятилетия являются в первую очередь экономические факторы (ограничение финансирования, реорганизация коллективных хозяйств, нехватка квалифицированных кадров), перевод площадей в другие категории землепользования, недостаточные мероприятия по борьбе с эрозией почв. Принятая программа по возвращению залежных земель в севооборот показывает высокую эффективность применяемых государством мер регулирования, способствует возвращению залежных земель в севооборот (Barsukova et al., 2021).

Повышению урожайности находящихся в севообороте земель уделяется значительное внимание. Непрерывно разрабатываются новые высокоурожайные культуры, обладающие рядом целевых свойств, таких как устойчивость к засухе, температурам и фитопатогенам. Использование экстенсивного метода развития дает значительный прирост и является основным инструментом для увеличения объемов производства готовой продукции. Основным вызовом для хозяйств, вне зависимости от применяемого метода землепользования, являются патогенные для растений бактерии, вирусы, грибы и оомицеты. Своевременная диагностика и принятие эффективных мер для борьбы с фитопатогенами требуют серьезных затрат и высокой квалификации. Несмотря на значительные усилия, в настоящее время фитопатогены продолжают являться основной угрозой для сельскохозяйственной отрасли. Ежегодно из-за фитопатогенов и вредителей растений теряется до 40% готовой продукции экономически значимых культур (FAO, 2019).

Заболееваемость растений, связанная с погодными условиями и общим фитосанитарным состоянием посевов, может составлять до 80% от всей популяции, при этом урожайность – снижаться более чем на 80%. Чаще всего подобные цифры являются исключением из правил, но даже значительно меньшие значения потерь приводят к катастрофическим последствиям (Назаров и др., 2020).

Тем не менее, по оценкам, указанным в FAO за 2017 г., потери от фитопатогенов ежегодно превышают 220 млрд долларов США (FAO, 2017).

development of portable platforms expands the possibilities of field research.

Key words. Quarantine pests, phytopathogens, PCR, LAMP, CRISPR-Cas, NGS, diagnosis.

INTRODUCTION

The continuous growth of the world's population and the ever-increasing consumption of agricultural products pose serious global challenges for producers. The use of intensive agricultural development methods is limited by the lack of available sown areas worldwide. In the Russian Federation, the main reasons for the decline in sown areas in recent decades are primarily economic factors (limited funding, reorganization of collective farms, lack of qualified personnel), the transfer of areas to other land use categories, and insufficient measures to prevent soil erosion. The adopted program for the return of fallow lands to crop rotation demonstrates the high efficiency of regulatory measures applied by the state, and contributes to the return of fallow lands to crop rotation (Barsukova et al., 2021).

Considerable attention is paid to increasing the productivity of crop rotation lands. New high-yielding crops with some target properties, such as resistance to drought, temperatures and phytopathogens, are continuously developed. The use of an extensive development method provides a significant increase and is the main tool for increasing the volume of finished product production. The main challenge for farms, regardless of the land use method used, are plant-pathogenic bacteria, viruses, fungi and oomycetes. Timely diagnosis and effective measures to control phytopathogens require significant costs and high qualifications. Despite significant efforts, phytopathogens currently continue to be the main threat to the agricultural sector. Up to 40% of finished products of economically significant crops are lost annually due to phytopathogens and plant pests (FAO, 2019). Plant diseases associated with weather conditions and the general phytosanitary condition of crops can be up to 80% of the entire population, while yields can decrease by more than 80%. Most often, such figures are an exception to the rule, but even significantly lower loss values lead to catastrophic consequences (Nazarov et al., 2020).

Nevertheless, according to estimates provided by the FAO for 2017, losses due to phytopathogens exceed US\$220 billion annually (FAO, 2017).

The spread of phytopathogenic organisms is actively facilitated by the globalization of world trade relations, which expands the geography of the presence of invasive pathogens and leads to a significant

Распространению фитопатогенных организмов активно способствует глобализация мировых торговых взаимоотношений, что расширяет географию присутствия инвазивных патогенов и приводит к существенному увеличению последствий заражения и, как следствие, увеличивает потери урожая. Культуры, обладающие высокими потребительскими качествами, вытесняют менее привлекательные, что приводит к сокращению семенного фонда и еще больше увеличивает скорость распространения фитопатогенов.

Необходимо использование комплексной стратегии и современных методов для уменьшения последствий воздействия фитопатогенов, которые помогут предупредить болезни, контролировать качество посадочного материала, эффективность и своевременность использования препаратов и методов, направленных на борьбу с возбудителями болезней и переносчиками.

Чтобы соответствовать целям эффективности, достаточности и безопасности, применяемые методы должны соответствовать критериям специфичности, точности, повторяемости, скорости, доступности и обладать необходимой чувствительностью. Методы должны обеспечивать возможность детекции организмов практически во всех возможных видах образцов, включая растения, почвы, посадочный материал, экстракты и жидкости (Marc Venbrux et al., 2023). Дополнительное практическое требование, предъявляемое к методам детекции, – способность работать с образцами, собранными за некоторое время до исследования и перенесшими транспортировку.

Визуальные, оптические, магнитные и спектральные методы для точного определения фитопатогенов

Для поиска и идентификации традиционно используется визуальный метод обнаружения фитопатогенов. Этот метод имеет как ряд преимуществ, так и ряд существенных недостатков. Несомненным преимуществом является стоимость метода и его относительная простота. Но целый ряд существенных недостатков заставляет использовать более точные методики детекции. К недостаткам можно отнести необходимость практического опыта наблюдателя и глубины знаний в области фитопатологии, возможные ошибки при определении и невозможность определения болезней, не проявляющих себя в момент осмотра (скрытые, латентные заболевания) (Riley et al., 2002). Достаточно простым, но значительно более быстрым решением являются оптические методы. При планировании мероприятий по борьбе с фитопатогенами принято считать, что равномерное внесение препаратов на единицу площади обеспечивает наибольшую эффективность. Оптический метод, напротив, основан на неравномерности проявлений заболеваний и влияния факторов окружающей среды на здоровье растений. Оптические и спектральные методы мониторинга позволяют достаточно точно определять изменения, вызванные заболеваниями, и оптимизировать использование средств для борьбы с ними. Возможность использования для обработки данных такого мониторинга, специализированных программ позволяет быстро анализировать значительные площади посевов, обнаруживать очаговые проявления

increase in the consequences of infection and, as a result, increases crop losses. Crops with high consumer qualities displace less attractive ones, which leads to a reduction in the seed fund and further increases the rate of spread of phytopathogens.

It is necessary to use an integrated strategy and modern methods to reduce the effects of phytopathogens, which will help prevent diseases, control the quality of planting material, the effectiveness and timeliness of the use of drugs and methods aimed at controlling pathogens and vectors.

To meet the objectives of efficiency, adequacy and safety, the methods used should meet the criteria of specificity, accuracy, repeatability, speed, availability and have the necessary sensitivity. The methods should be able to detect pests in almost all possible types of samples, including plants, soils, planting material, extracts and liquids (Marc Venbrux et al, 2023). An additional practical requirement for detection methods is the ability to work with samples collected some time before the study and having undergone transportation.

Visual, optical, magnetic and spectral methods for accurate detection of phytopathogens

The visual detection method is traditionally used for searching and identifying phytopathogens. This method has both advantages and significant disadvantages. The undoubted advantage is the cost and its relative simplicity. However, some significant disadvantages force the use of more accurate detection methods. The disadvantages include the need for the observer's practical experience and profound phytopathology knowledge, possible errors in detection and the impossibility of detecting diseases that do not manifest themselves at the time of inspection (hidden, latent diseases) (Riley et al., 2002). Optical methods are a fairly simple but much faster solution. When planning measures to control phytopathogens, it is generally accepted that uniform application of preparations per unit area provides the greatest efficiency. The optical method, on the contrary, is based on the unevenness of disease manifestations and the influence of environmental factors on plant health. Optical and spectral monitoring methods allow for fairly accurate determination of changes caused by diseases and optimization of the use of means to control them. The ability to use specialized software to process the data from such monitoring allows for rapid analysis of large areas of crops, detection of focal manifestations of diseases, and timely action to prevent the development of diseases (Anne-Katrin Mahlein, 2016). The article by Martinelli in 2015 and Zubler and Yoon in 2020 present data on objective monitoring of the condition of plants exposed to external factors, such as diseases and adverse environmental factors. The spectral characteristics of plants differ significantly from those of healthy plants, making it possible to use the method to detect phytopathogens (Martinelli

заболеваний и своевременно принимать меры для предотвращения развития заболеваний (Anne-Katrin Mahlein, 2016). В статье Martinelli за 2015 г. и Zubler and Yoon за 2020 г. приводятся данные объективного мониторинга состояния растений, находящихся под воздействием внешних факторов, таких как заболевания и неблагоприятные факторы окружающей среды. Спектральные характеристики растений значительно отличаются от характеристик здоровых растений и позволяют применять метод для выявления фитопатогенов (Martinelli et al., 2015; Zubler and Yoon, 2020). Ранее в исследовании Tanner была описана реакция растений на стрессы в виде изменения характера движений, а также изменение содержания хлорофилла в больных растениях, детектируемое тепловым излучением. Современные датчики позволяют активно использовать спектральные методы для определения изменений в электромагнитном излучении, отражаемом или испускаемом живыми организмами (Tanner et al., 2022). Благодаря развитию искусственного интеллекта и возможности его обучения в реальных условиях спектральный анализ получил новые возможности развития. Значительно повысилась точность за счет обучения программ на географически схожих или идентичных площадях, а также увеличились масштабы обследуемых территорий за счет увеличения скорости обработки данных. Практика использования беспилотных летательных аппаратов показывает, что метод эффективен и позволяет экономить значительные финансовые средства благодаря своевременности детекции и минимизации влияния человеческого фактора на точность мониторинга и получаемые результаты. Накопленные базы данных на сегодняшний день позволяют достаточно быстро внедрять метод на различных территориях и быстро специализировать методику для конкретной местности.

Иммунологические или серологические методы

Для определения сложнокультивируемых и некультивируемых организмов были разработаны серологические методы. Бактерии, грибы и вирусы можно обнаруживать без культивирования благодаря использованию моноклональных и поликлональных антител. Продуцируемые микроорганизмами антигенные молекулы могут быть использованы для специфической реакции «антиген – антитело». Связывание антител с антигенами определяется косвенно, с помощью специфических антител, которые конъюгированы с флуорофором или наночастицами. Наиболее часто используемый метод иммуноферментного анализа (ИФА) стал таким популярным благодаря достаточно высокой точности. Реже используются блоттинг и серологически специфическая электронная микроскопия (SSEM). Достоверность и точность иммуноферментного анализа зависит от многих факторов: условий хранения антител, свежести исследуемой пробы и специфических особенностей исследуемого организма. Системы, основанные на использовании поликлональных антител, получившие изначально широкое распространение, часто давали ложноположительные результаты, поэтому возникла необходимость в совершенствовании

et al., 2015; Zubler and Yoon, 2020). Earlier, Tanner's study described the response of plants to stress in the form of changes in the nature of movements, as well as changes in the chlorophyll content of diseased plants, detected by thermal radiation. Modern sensors make it possible to actively use spectral methods to determine changes in electromagnetic radiation reflected or emitted by living organisms (Tanner et al., 2022). Thanks to the development of artificial intelligence and the ability to train it in real conditions, spectral analysis has received new development opportunities. Accuracy has increased significantly due to training programs on geographically similar or identical areas, and the scale of the surveyed areas has increased due to increased data processing speed. The practice of using unmanned aerial vehicles shows that the method is effective and allows saving significant financial resources due to the timeliness of detection and minimization of the influence of the human factor on the accuracy of monitoring and the results obtained. The accumulated databases today make it possible to quickly implement the method in various territories and quickly specialize the methodology for a specific area.

Immunological or serological methods

Serological methods have been developed to detect difficult-to-cultivate and non-culturable organisms. Bacteria, fungi, and viruses can be detected without culturing using monoclonal and polyclonal antibodies. Antigenic molecules produced by microorganisms can be used for a specific antigen-antibody reaction. Binding of antibodies to antigens is determined indirectly using specific antibodies conjugated to a fluorophore or nanoparticles. The most commonly used method is enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA), which has become so popular due to its relatively high accuracy. Less commonly used are blotting and serologically specific electron microscopy (SSEM). The reliability and accuracy of ELISA depends on many factors: storage conditions of antibodies, freshness of the sample, and specific features of the organism being studied. Systems based on the use of polyclonal antibodies, which were initially widely used, often gave false-positive results, so there was a need to improve the method. Monoclonal antibodies specific to individual parts of antigen macromolecules – epitopes – have significantly increased the accuracy of tests. Today, there are systems that use both monoclonal and polyclonal antibodies. Both individual tests and ready-made commercial kits for detecting groups of organisms are used. The use of polyclonal antibodies allows detecting multiple epitopes, unlike monoclonal ones, and therefore this approach seems economically justified, despite the existing disadvantages. In addition, the sensitivity of polyclonal antibodies is higher than that of monoclonal ones. The sensitivity of ELISA tests is increased by additional thermal preparation of the sample or by treatment with an enzyme that destroys bacterial cell walls by

метода. Моноклональные антитела, специфичные к отдельным частям макромолекул антигена – эпитопам, позволили значительно повысить точность тестов. На сегодняшний день существуют системы, использующие и моноклональные, и поликлональные антитела. Применяются как отдельные тесты, так и готовые коммерческие наборы для детекции групп организмов. Использование поликлональных антител позволяет детектировать множество эпитопов, в отличие от моноклональных, и поэтому такой подход выглядит экономически оправданным, несмотря на существующие недостатки. Кроме того, чувствительность поликлональных антител выше, чем у моноклональных. Чувствительность ИФА-тестов повышают за счет дополнительной термической подготовки образца или за счет обработки ферментом, разрушающим клеточные стенки бактерий гидролизом пептидогликана – лизоцимом (Martinelli et al., 2015; Mehetre et al., 2021). Существует еще ряд методов, приводящих к увеличению чувствительности теста с помощью предварительного обогащения (инкубация для повышения концентрации патогена). Дополнительное разделение с применением магнитных частиц, покрытых специфичными к мишени антителами, дополнительно очищает пробу и также увеличивает точность (Kohn, 1999; Välimaa et al., 2015). ИФА-метод нашел широкое применение в клинической диагностике из-за сравнительно невысокой стоимости и высокой скорости исследования. Ниже подробно рассмотрим методы, которые используются для исследования растений.

Исследования на основе использования аптамеров

Одной из самых удачных альтернатив применению антител и ПЦР в диагностике патогенов принято считать использование аптамеров. ПЦР – достаточно точный и быстрый метод детекции, но при исследовании загрязненных образцов возможно снижение чувствительности и ингибирование реакции. Использование аптамеров в качестве альтернативы позволяет повысить чувствительность по сравнению с антителами за счет более высокой плотности иммобилизации, простоты введения меток и низкой стоимости синтеза. Синтезированные аптамеры могут быть нацелены на целые организмы, на определенные токсины и прочие специфичные, продуцируемые целевыми организмами биомолекулы. Возможно одновременно использовать несколько мишеней из-за высокой специфичности аптамеров, что позволяет значительно увеличить точность исследования. Аптамеры, представляющие собой сравнительно короткие олигонуклеотиды размером от 10 до 100 букв, проще специализировать к анализу целых организмов, чем к отдельным биомолекулам. Так как использование аптамеров основано на том же принципе, что и использование антител, они могут быть применены для анализа (ИФА). К недостатку систем детекции, основанных на использовании аптамеров, можно отнести чувствительность к вязкости, изменению кислотности и температуры. Активно ведутся разработки систем детекции патогенов растений на основе аптамеров, но на данный момент они применяются не так часто как ИФА или ПЦР (Колесников и др., 2012).

hydrolysis of peptide glycan – lysozyme (Martinelli et al., 2015; Mehetre et al., 2021). There are other methods that increase the sensitivity of the test using preliminary enrichment (incubation to increase the concentration of the pathogen). Additional separation using magnetic particles coated with target-specific antibodies further purifies the sample and also increases accuracy (Kohn, 1999; Välimaa et al., 2015). The ELISA method has found wide application in clinical diagnostics due to its relatively low cost and high speed of research. Below we will consider in detail the methods used for plant research.

Aptamer-based detection systems

One of the most successful alternatives to the use of antibodies and PCR in pathogen diagnostics is considered to be the use of aptamers. PCR is a fairly accurate and fast detection method, but when studying contaminated samples, sensitivity may decrease and the reaction may be inhibited. The use of aptamers as an alternative allows for increased sensitivity compared to antibodies due to higher immobilization density, ease of labeling, and low cost of synthesis. Synthesized aptamers can be targeted at whole organisms, certain toxins, and other specific biomolecules produced by target organisms. It is possible to use several targets simultaneously due to the high specificity of aptamers, which allows for a significant increase in the accuracy of the study. Aptamers, which are relatively short oligonucleotides ranging from 10 to 100 letters in length, are easier to specialize in the analysis of whole organisms than in individual biomolecules. Since the use of aptamers is based on the same principle as the use of antibodies, they can be used for analysis (ELISA). The disadvantage of detection systems based on the use of aptamers is their sensitivity to viscosity, changes in acidity and temperature. Aptamer-based plant pathogen detection systems are being actively developed, but at the moment they are not used as often as ELISA or PCR (Kolesnikov et al., 2012).

Nucleic acid detection assays

The use of modern equipment for first- and next-generation sequencing has made it possible to read the nucleotide sequences of many bacteria, viruses, fungi, and oomycetes. The data obtained is accumulated, and based on a large number of sequences studied, global databases with free access have been created. There are also highly specialized databases focused on target pest groups. Having free access to such databases allows us to constantly improve the storage facilities themselves, data processing methods, expand the databases at the expense of users, and create software to simplify the work of creating microorganism detection systems based on targets focused on nucleic acid sequences – DNA and RNA.

This method has many advantages, but also some disadvantages: it is quite difficult to determine the concentration of the microorganisms being

Анализы на основе детекции нуклеиновых кислот

Использование современного оборудования для секвенирования первого и следующего поколения позволило прочитать нуклеотидные последовательности множества бактерий, вирусов, грибов и оомицетов. Полученные данные аккумулируются, и на основе большого количества исследованных последовательностей созданы общемировые базы со свободным доступом. Также существуют узкоспециализированные базы данных, ориентированные на целевые группы организмов. Наличие свободного доступа к таким базам позволяет постоянно совершенствовать сами хранилища, методы обработки данных, расширять базы за счет пользователей и создавать программное обеспечение для упрощения работы по созданию систем детекции микроорганизмов, основанных на мишенях, ориентированных на последовательности нуклеиновых кислот – ДНК и РНК.

У данного метода множество преимуществ, но есть и некоторые недостатки: достаточно сложно определить концентрацию исследуемых микроорганизмов, невозможно в рамках данной методики определить количество жизнеспособных и нежизнеспособных микроорганизмов в образце. Основной причиной является разная скорость нарастания флуоресценции для различных микроорганизмов в сочетании с разными определяемыми участками и то, что нуклеиновые кислоты нежизнеспособных микроорганизмов способны сохранять длительное время без существенных изменений в образце (Lievens and Tomma, 2005; Lopes et al., 2009; Narayanasamy, 2011).

Классическая ПЦР и ее варианты

Принцип ПЦР был открыт в 1980 г. За разработанный в 1983 г. метод через 10 лет его автор К. Мюллис был удостоен Нобелевской премии. В основе метода классической ПЦР лежит принцип чтения нуклеиновых кислот. Подбираются праймеры из искусственно синтезированной последовательности нуклеотидов таким образом, чтобы в результате реакции можно было достоверно амплифицировать целевой фрагмент ДНК. Каждый из праймеров комплементарен одной из цепей двуцепочечной матрицы и определяет начало и конец амплифицируемого участка. Недорогой, быстрый и достаточно точный метод основан на воспроизведении целевого участка в термоциклере по заданной программе с использованием фермента ДНК-полимеразы. Очень важна точность подбора праймеров, имеющих, как правило, размер от 15 до 40 п.н. и специально подобранных так, чтобы соответствовать участкам ДНК-мишени. Обнаружение участка целевого размера подтверждает наличие мишени в образце.

Реакция проходит в три этапа:

1. Денатурация. В процессе реакции денатурации две цепи ДНК, связанные водородными связями и являющиеся комплементарными друг другу, разделяют на пару одноцепочечных полинуклеотидных молекул за счет нагревания до температур в диапазоне от 94 до 96 °C.

2. Отжиг. На втором этапе происходит связывание синтезированных праймеров с полученными одноцепочечными ДНК. На этом этапе температуры в амплификаторе снижаются до 45–60 °C.

studied, it is impossible to determine the number of viable and non-viable microorganisms in the sample within the framework of this method. The main reason is the different rate of fluorescence increase for different microorganisms in combination with different areas being determined and the fact that nucleic acids of non-viable microorganisms can persist for a long time without significant changes in the sample (Lievens and Tomma, 2005; Lopes et al., 2009; Narayanasamy, 2011).

Classical PCR and its variants

The principle of PCR was discovered in 1980. For the method developed in 1983, its author K. Mullis was awarded the Nobel Prize 10 years later. The classical PCR method is based on the principle of reading nucleic acids. Primers are selected from an artificially synthesized nucleotide sequence in such a way that the target DNA fragment can be reliably amplified as a result of the reaction. Each of the primers is complementary to one of the strands of the double-stranded matrix and determines the beginning and end of the amplified region. An inexpensive, fast and fairly accurate method is based on reproducing the target region in a thermal cycler according to a given program using the DNA polymerase enzyme. The accuracy of primer selection is very important; as a rule, they are from 15 to 40 bp in size and are specially selected to correspond to the target DNA regions. Detection of a region of the target size confirms the presence of the target in the sample.

The reaction has three stages:

1. Denaturation. In the denaturation reaction, two DNA strands, linked by hydrogen bonds and complementary to each other, are separated into a pair of single-stranded polynucleotide molecules by heating to temperatures in the range of 94 to 96 °C.

2. Annealing. At the second stage, the synthesized primers bind to the obtained single-stranded DNA. At this stage, the temperature in the amplifier is lowered to 45–60 °C.

3. Synthesis. The final stage involves the synthesis of a new DNA chain at a temperature of 72 °C. Synthesis begins from the primer along the DNA chain.

Then all three stages (cycles) are repeated.

At each cycle, the target site is doubled, thus generating the reaction product (Antonova et al., 2011).

When performing classical PCR, the presence or absence of the target site can be assessed by performing electrophoresis in an agarose gel due to the separation of reaction products. The two main disadvantages of the method are the duration of electrophoresis and the possibility of cross-contamination of reagents and materials with amplification products (Maurer, 2011, Kralik, Ricchi, 2017). Despite the additional time required for electrophoresis, the method is faster than traditional cultivation. Ready results can be obtained within a few hours.

The sensitivity and specificity of PCR are assessed separately for each new primer system. Due

3. Синтез. На последнем этапе происходит синтез новой цепи ДНК при температуре 72 °С. Синтез начинается от праймера вдоль цепи ДНК.

Затем все три этапа (цикла) повторяются.

На каждом цикле происходит удвоение целевого участка, таким образом нарабатывается продукт реакции (Антонова и др., 2011).

При проведении классической ПЦР можно оценить наличие или отсутствие целевого участка с помощью проведения электрофореза в агарозном геле за счет разделения продуктов реакции. Двумя основными недостатками метода считаются длительность проведения электрофореза и возможность перекрестного загрязнения реактивов и материалов продуктами амплификации (Mauger, 2011; Kralik, Ricchi, 2017). Несмотря на дополнительное время на проведение электрофореза, метод является более быстрым, чем традиционное культивирование. Готовые результаты могут быть получены в течение нескольких часов.

Чувствительность и специфичность ПЦР оценивается в каждой новой праймерной системе отдельно. Из-за того что при проведении классической ПЦР может возникнуть ингибирование реакции, в некоторых случаях возможны ложноотрицательные результаты. К недостаткам метода относят: невозможность различить жизнеспособные и нежизнеспособные клетки, невозможность одновременного поиска нескольких патогенов и, что самое важное, невозможность амплифицировать целевые участки, общие для всех РНК-вирусов. По этой причине возникла необходимость усовершенствования метода для идентификации патогенов растений (Lopes et al., 2009).

ПЦР в реальном времени

ПЦР в реальном времени, ПЦР-РВ (qPCR), использует те же самые подходы, что и в классической ПЦР. Целевой участок амплифицируется за счет изменения температуры рабочей смеси, включающей полимеразу и праймеры к целевому участку. Разница между этими методами заключается в том, что за счет добавления в реакцию красителя или зондов появляется возможность регистрировать его свечение в процессе проведения ПЦР. В отличие от классического метода, позволяющего оценивать результаты только по конечной точке, появляется возможность определить количество продукта после каждого цикла (Shen, 2019). В качестве красителя чаще всего используется SYBR green, надежный и доступный по стоимости. Также можно дополнительно оценить процесс, дополнив программу анализом кривых плавления. Принципы и методы подбора праймеров для проведения ПЦР-РВ, а также методы оценки подобранных праймеров на сегодняшний день широко известны и активно применяются в области детекции фитопатогенов, например для определения патогенов злаковых культур (Slovareva et al., 2024). Значительным преимуществом данного метода является возможность применения мультиплексной реакции, основанной на добавлении к праймерам флуоресцентных зондов. Постановка мультиплексной реакции позволяет детектировать одновременно несколько организмов, разделять близкородственные виды и/или штаммы. Для проведения мультиплексной реакции существует ряд

то the fact that inhibition of the reaction may occur during classical PCR, false negative results are possible in some cases. The disadvantages of the method include: the inability to distinguish between viable and non-viable cells, the inability to simultaneously search for several pathogens and, most importantly, the inability to amplify target regions common to all RNA viruses. For this reason, there was a need to improve the method for identifying plant pathogens (Lopes et al., 2009).

Real-time PCR

Real-time PCR, qPCR, uses the same approaches as classical PCR. The target region is amplified by changing the temperature of the working mixture, which includes polymerase and primers to the target region. The difference between these methods is that by adding a dye or probes to the reaction, it becomes possible to record its glow during the PCR process. Unlike the classical method, which allows you to evaluate the results only at the end point, it becomes possible to determine the amount of product after each cycle (Shen, 2019). SYBR green is most often used as a dye, it is reliable and affordable. You can also further evaluate the process by supplementing the program with melting curve analysis. The principles and methods of selecting primers for real-time PCR, as well as the methods for evaluating the selected primers, are now widely known and are actively used in the field of phytopathogen detection, for example, to determine pathogens of cereal crops (Slovareva et al. 2024). A significant advantage of this method is the ability to use a multiplex reaction based on the addition of fluorescent probes to primers. Setting up a multiplex reaction allows you to simultaneously detect several organisms, separate closely related species and / or strains. There are limitations for carrying out a multiplex reaction: in the amplified region, the objects of study must have differences in nucleotide composition or length. Probes, due to their greater specificity compared to SYBR Green and other dyes, release a fluorophore only when binding to the target fragment. TaqMan probes are most often used to create multiplex systems. Modern devices allow you to simultaneously determine 4-6 glow variants and record data in real time. For example, the method was adapted for the detection of *Erwinia amylovora* and allows for high-precision differentiation of several target objects with similar symptoms or having common host plants (Svircev et al. 2009).

The main obstacle to the use of probes is their cost and complexity of selection. The more probes are added to the test tube, the higher the probability of a non-specific reaction (Mirmajlessi et al., 2015). Another important advantage of the method is the ability to determine the number of amplified regions initially present in the sample. Their number in the sample is determined mathematically, based on the deviations of the obtained curve from the standard (reference

ограничений: на амплифицированном участке объекты исследования должны иметь различия в нуклеотидном составе или длине. Зонды за счет большей специфичности по сравнению с SYBR Green и другими красителями высвобождают флюорофор только при связывании с целевым фрагментом. Чаще всего для создания мультиплексных систем применяются зонды TaqMan. Современные приборы позволяют одновременно определять 4–6 вариантов свечения и в режиме реального времени фиксировать данные. Например, метод был адаптирован для детекции *Erwinia amylovora* и позволяет с высокой точностью дифференцировать сразу несколько целевых объектов со сходными симптомами или имеющих общие растения-хозяева (Svircev et al. 2009).

Главным препятствием для использования зондов является их стоимость и сложность подбора. Чем больше зондов добавляется в пробирку, тем выше вероятность неспецифической реакции (Mirzajlessi et al., 2015). Еще одним важным преимуществом метода является возможность определения количества амплифицируемых участков, находящихся в образце изначально. Их число в образце определяется математически, основываясь на отклонениях полученной кривой от стандартной (эталонной кривой). Точность расчетов подтверждается классическими методами разведений (Simon G. et al., 2002; Shen, 2019; Rajagopal et al., 2019).

Цифровая ПЦР

Рассмотренная ранее количественная ПЦР является достаточно совершенным методом, но существует его модернизированная версия, получившая название «цифровая капельная ПЦР» (ddPCR). Этот метод за счет разведений, разделяющих образец на большое количество отдельных образцов (около 20 000 капель), позволяет сделать анализ более точным по сравнению с обычной ПЦР (Hindson et al., 2011; Zhao et al., 2016). Для разделения реакционной смеси, также называемой эмульсионной цифровой ПЦР, используется принцип создания монодисперсных капель вода/масло. Для получения капель можно использовать принцип Т-образной инъекции, метод струй или метод использующий для разделения образца шарики гидрогеля (Лебедева и др., 2024). Метод получил свое название за счет детекции наличия или отсутствия сигнала, результаты которого схожи с двоичным кодом. Разведение образца должно быть подобрано таким образом, чтобы в ячейке оказалась одна ДНК-матрица. Если ДНК-матрица оказалась в ячейке не одна, то результаты могут быть скорректированы статистическим методом Пуассона (Hayden et al., 2013). Добавление интеркалирующих красителей и флуоресцентных зондов позволяет определять наличие и интенсивность реакции. Флуоресценция фиксируется при последовательном пропускании капель через микрофлюидную систему прибора (Hoshino and Inagaki, 2012; Chen et al., 2021).

Существенными преимуществами метода являются: экономичный расход реактивов и малое количество поступающего на исследование образца, устойчивость к примесям, которые потенциально могут ингибировать реакцию ПЦР, отсутствие необходимости стандартной кривой для проведения количественного анализа (Taylor et al., 2017).

curve). The accuracy of the calculations is confirmed by classical dilution methods (Simon G. et al. 2002; Shen, 2019; Rajagopal et al., 2019).

Digital PCR

The previously discussed quantitative PCR is a fairly advanced method, but there is a modernized version called digital droplet PCR (ddPCR). This method, due to dilutions that divide the sample into a large number of individual samples (about 20,000 droplets), allows for more accurate analysis compared to conventional PCR (Hindson et al., 2011; Zhao et al., 2016). To separate the reaction mixture, also called emulsion digital PCR, the principle of creating monodisperse water/oil droplets is used. To obtain droplets, you can use the T-shaped injection principle, the jet method, or a method using hydrogel beads to separate the sample (Lebedeva et al., 2024). The method got its name due to the detection of the presence or absence of a signal, the results of which are similar to a binary code. The sample dilution should be selected in such a way that one DNA matrix is in the cell. If there is more than one DNA template in the cell, the results can be corrected using the Poisson statistical method (Hayden et al., 2013). The addition of intercalating dyes and fluorescent probes allows one to determine the presence and intensity of the reaction. Fluorescence is recorded by sequentially passing droplets through the microfluidic system of the device (Hoshino and Inagaki, 2012; Chen et al., 2021).

The significant advantages of the method are: economical consumption of reagents and a small amount of sample received for study, resistance to impurities that can potentially inhibit the PCR reaction, no need for a standard curve for quantitative analysis (Taylor et al., 2017).

Isothermal amplification of nucleic acids

Diagnostic solutions used to detect pathogens using molecular methods are in high demand, but there is an even greater need for solutions that can be used in non-laboratory settings, in fields, and in protected soil conditions. The effectiveness of plant disease control directly depends on the ability to diagnose on-site and its speed. The use of isothermal amplification of nucleic acids allows us to reduce the requirements for DNA quality and conduct research without the use of bulky amplifiers used for qPCR. In the field, it is enough to use heating elements, simple devices that are much less bulky than an amplifier (Ivanov et al., 2021; Lau and Botella, 2017).

The use of the isothermal amplification method, despite the existing limitations, allows you to quickly and accurately identify phytopathogens, which helps not only to control them, but also prevents the spread of pests.

LAMP isothermal amplification

The principle of loop-mediated isothermal amplification (LAMP) has found wide application in

Изотермическая амплификация нуклеиновых кислот

Диагностические решения, используемые для детекции патогенов молекулярными методами, широко востребованы, но еще более острая необходимость возникает в решениях, которые можно применять во внелабораторных условиях, на полях и в условиях защищенного грунта. От возможности диагностики на месте и ее скорости напрямую зависит эффективность борьбы с болезнями растений. Использование изотермической амплификации нуклеиновых кислот позволяет снизить требования к качеству ДНК и проводить исследования без использования громоздких амплификаторов, используемых для qPCR. В полевых условиях достаточно применять нагревательные элементы, простые устройства, гораздо менее громоздкие, чем амплификатор (Иванов и др., 2021; Lau and Botella, 2017).

Использование метода изотермической амплификации, несмотря на существующие ограничения, позволяет быстро и точно определять фитопатогены, что помогает не только бороться с ними, но и предупреждает распространение вредных организмов.

LAMP изотермическая амплификация

Принцип петлевой изотермической амплификации (LAMP) нашел широкое применение в сельском хозяйстве и медицине как надежный и достаточно чувствительный полевой и лабораторный метод (Зубик и др., 2021). Для пробоподготовки, также как и для других рассмотренных методов, образец должен быть отобран, гомогенизирован и лизирован для высвобождения ДНК. Гомогенизация вполне успешно может проходить в полевых условиях с помощью механического разрушения клеток в образце. После чего желательно дополнительно лизировать клетки для увеличения итоговой концентрации нуклеиновых кислот. Применение готовых коммерческих наборов позволяет получить ДНК, пригодную для реакции в течении часа, сама реакция тоже занимает около часа, что является достаточно быстрым и приемлемым для анализа растений на фитопатогены в полевых условиях (Ivanov et al., 2021). Основное отличие состоит в том, что при использовании метода LAMP требуется четыре праймера: два праймера, в результате реакции образующие петлю (что дало название этому методу), и пара праймеров, которые будут использоваться для вытеснения получаемых цепей, а также полимеразы. Например, **Bst ДНК-полимераза** – большой фрагмент ДНК-полимеразы *Bacillus stearothermophilus* (полипептид размером 67 кДа). Фермент обладает 5'-3' полимеразной активностью, но не имеет 5'-3' и 3'-5' экзонуклеазных активностей. За счет сильной вытесняющей активности Bst ДНК-полимераза может быть использована для проведения изотермальной амплификации, в том числе петлевой изотермальной амплификации LAMP. Полимераза, благодаря полимеразной активности, формирует одноцепочечную ДНК. За счет комплиментарности внутренних праймеров образуется петлевая структура, по форме напоминающая гантель. Вновь образованные структуры в форме гантели служат удобным объектом для проведения амплификации. Результатом процесса амплификации являются длинные контиги, которые позволяют идентифицировать

agriculture and medicine as a reliable and sufficiently sensitive field and laboratory method (Zubik A. et al., 2021). For sample preparation, as well as for other methods considered, the sample must be collected, homogenized and lysed to release DNA. Homogenization can be quite successfully carried out in the field by mechanically destroying the cells in the sample. After which, it is advisable to additionally lyse the cells to increase the final concentration of nucleic acids. The use of ready-made commercial kits allows you to obtain DNA suitable for the reaction within an hour, the reaction itself also takes about an hour, which is fast enough and acceptable for analyzing plants for phytopathogens in the field (Ivanov et al., 2021). The main difference is that the LAMP method requires four primers: two primers that form a loop in the reaction (which gives the method its name), a pair of primers that will be used to displace the resulting strands, and a polymerase. For example, **Bst DNA polymerase** is a large fragment of *Bacillus stearothermophilus* DNA polymerase (a 67 kDa polypeptide). The enzyme has 5'-3' polymerase activity, but lacks 5'-3' and 3'-5' exonuclease activities. Due to its strong displacement activity, Bst DNA polymerase can be used to perform isothermal amplification, including looped isothermal amplification (LAMP). The polymerase, due to its polymerase activity, forms single-stranded DNA. Due to the complementarity of internal primers, a loop structure is formed, resembling a dumbbell. The newly formed dumbbell-shaped structures serve as a convenient object for amplification. The result of the amplification process are long contigs, which allow for the identification of microorganisms and the detection of pathogens (Craw and Balachandran, 2012; Becherer et al., 2020). The reaction is carried out at a constant temperature of 60–65 °C, usually for 30 to 40 min, and varies slightly depending on the primers used and the size of the region. Also, the analysis time can be reduced by selecting two additional primers for the dumbbell loops, creating additional sites for the polymerase to work. The results of the loop amplification are assessed using traditional electrophoresis, the fluorescence method of dyes, probes, or by assessing turbidity (Mori et al., 2001; Craw and Balachandran, 2012).

Recombinase polymerase amplification

Recombinase polymerase amplification (RPA) is another alternative to classical PCR developed in the UK. This method involves the use of DNA recombinase, primers, single-stranded DNA binding proteins, and strand-displacing polymerase (Piepenburg et al., 2006). The main advantage of the method is that the reaction occurs at temperatures of 37–42 °C. Formally, the reaction can be carried out at normal ambient temperature, but this will require significantly more time. Another significant advantage is the ability to detect not only DNA but also RNA when adding reverse transcriptase directly to the reaction mixture, eliminating the need for cDNA synthesis. The ability

микроорганизмы и определить патогены (Craw and Balachandran, 2012; Becherer et al., 2020). Реакция проводится при постоянной температуре 60–65 °C, как правило от 30 до 40 мин, и незначительно варьируется в зависимости от используемых праймеров и размера участка. Также время анализа может быть уменьшено при подборе двух дополнительных праймеров для петель гантели, создавая дополнительные участки работы полимеразы. Результаты проведенной петлевой амплификации оцениваются с использованием традиционного электрофореза, методом флуоресценции красителей, зондов или с помощью оценки мутности (Mori et al., 2001; Craw and Balachandran, 2012).

Рекомбиназная полимеразная амплификация

Рекомбиназная полимеразная амплификация (RPA) представляет собой еще одну альтернативу классической ПЦР, разработанную в Великобритании. Это метод, который включает использование ДНК-рекомбиназы, праймеров, белков, связывающих одноцепочечную ДНК, и полимеразы, смещающей цепочки (Piepenburg et al., 2006). Основным преимуществом метода является протекание реакции при температурах 37–42 °C. Формально можно проводить реакцию и при нормальной температуре окружающей среды, но для этого потребуются значительно больше времени. Еще одним существенным преимуществом является возможность при добавлении обратной транскриптазы непосредственно в реакционную смесь детектировать не только ДНК, но и РНК, что избавляет от необходимости синтеза кДНК. Возможность работы с РНК очень важна при работе с растительным материалом. В процессе амплификации рекомбиназы взаимодействуют с праймерами, совмещаясь с целевой последовательностью. При обнаружении целевого участка связанные праймер и рекомбиназа соединятся с комплементарным участком. Полимераза при смещении цепи наращивает гибридный праймер. Процесс протекает в двух направлениях, за счет чего происходит быстрая амплификация целевого участка (Li et al., 2018; Lobato and O'Sullivan, 2018). Амплификация происходит очень быстро и достаточное количество продукта может быть наработано в течение 20 мин. Для оценки результата по конечной точке традиционно используется метод электрофореза в агарозном геле. Также можно использовать флуоресцентные зонды для оценки в реальном времени (Li et al., 2018; Lobato and O'Sullivan, 2018).

Гибридизационные матрицы

В основе метода гибридизации лежит связывание одноцепочечной ДНК/РНК с комплементарной последовательностью (зондом) по принципу Уотсона-Крика (А-Т, G-С). Если используются зонды, подобранные таким образом, чтобы связываться с целевым участком патогена, то флуорофор высвобождается, позволяя определить наличие патогена или его отсутствие, если реакция не происходит.

Известны несколько типов методов, использующих указанные принципы гибридизации.

Саузерн-блоттинг (ДНК) – детекция специфических фрагментов ДНК после электрофореза.

to work with RNA is very important when working with plant material. During the amplification process, recombinases interact with primers, combining with the target sequence. Upon detection of the target region, the bound primer and recombinase will combine with the complementary region. The polymerase extends the hybridized primer during strand displacement. The process occurs in two directions, resulting in rapid amplification of the target region (Li et al., 2018; Lobato and O'Sullivan, 2018). The amplification occurs very quickly and a sufficient amount of product can be produced within 20 min. Agarose gel electrophoresis is traditionally used to evaluate the endpoint result. Fluorescent probes can also be used for real-time evaluation (Li et al., 2018; Lobato and O'Sullivan, 2018).

Hybridization matrices

The hybridization method is based on the binding of single-stranded DNA/RNA to a complementary sequence (probe) according to the Watson-Crick principle (A-T, G-C). If probes are selected in such a way as to bind to the target site of the pathogen, the fluorophore is released, allowing the presence of the pathogen to be determined or its absence if the reaction does not occur.

There are several types of methods using the above hybridization principles.

Southern blotting (DNA) is the detection of specific DNA fragments after electrophoresis. Northern blotting (RNA) is the analysis of gene expression via RNA. Dot blotting is the point application of samples to a membrane without electrophoresis. Microarrays (DNA chips) allow high-throughput analysis of thousands of genes simultaneously.

But the most interesting for the purposes of working with plant material are hybridization matrices. The matrix is a solid-phase support (for example, a nylon membrane or a glass chip) onto which probes are applied. This design allows for the simultaneous detection of many pathogens, the possibilities are practically unlimited (Thies, 2015).

Array-based methods, such as the Luminex system, a high-tech platform for the simultaneous detection of multiple biomolecules (DNA, RNA, proteins, antibodies) in a single sample, involve the immobilization of multiple probes to capture specific sequences on a solid support. The system is based on a combination of hybridization arrays and coded bead cytometry (Narayananamy, 2011). These assays use the principle of reverse hybridization, in which the target DNA is labeled instead of the probes. The target can be labeled using enzymes, radioisotopes, or fluorescence. The sample DNA is isolated and amplified with universal genes, and the recognized regions are labeled using one of the specified methods. The amplification products are then hybridized on a solid support with oligonucleotides. The amplicon-labeled regions indicate the sequences of which pathogens were detected in the sample.

Нозерн-блоттинг (РНК) – анализ экспрессии генов через РНК. Дот-блоттинг – точечное нанесение образцов на мембрану без электрофореза. Микрочипы (ДНК-чипы) позволяют осуществлять высокопроизводительный анализ тысяч генов одновременно.

Но наиболее интересными для целей работы с растительным материалом являются гибридационные матрицы. Матрица – твердофазная подложка (например, нейлоновая мембрана или стеклянный чип), на которую нанесены зонды. Такая конструкция позволяет одновременно обнаруживать множество патогенов, возможности практически не ограничены (Thies, 2015).

Методы, основанные на матрицах, например система LumineX – высокотехнологичная платформа для одновременного детектирования множества биомолекул (ДНК, РНК, белков, антител) в одном образце, предполагают иммобилизацию множества зондов для захвата специфичных последовательностей на твердой подложке. В основе системы лежит комбинация гибридационных матриц и цитометрии с кодированными микросферами (Narayananasamy, 2011). В таких анализах используется принцип обратной гибридизации, при котором помечаются не зонды, а целевая ДНК мишень. Мишень может быть помечена с помощью ферментов, радиоизотопов или флуоресценции. ДНК образца выделяется и амплифицируется с универсальными генами, распознанные участки помечаются одним из указанных способов. Затем продукты амплификации на твердой подложке гибридизуются с олигонуклеотидами. Меченные ампликоном участки указывают последовательности, какие патогены определились в образце.

Системы обнаружения на основе CRISPR-Cas

Системы детекции, основанные на пришедшем из геномного редактирования методе CRISPR-Cas, обладают высокой чувствительностью и специфичностью. В основе принципа работы системы обнаружения на основе CRISPR-Cas лежит способность Cas нуклеаз направленно расщеплять нуклеиновые кислоты. Принцип геномного редактирования, основанный на системе CRISPR-Cas, активно применяется для редактирования организмов в различных целях (Волков и др., 2022; Doudna and Charpentier, 2014). Наиболее широкое применение метод нашел в редактировании с/х культур для придания растениям новых свойств, таких как устойчивость к температурным изменениям, вредителям, засухе, повышение сроков хранения плодов, увеличению урожайности, улучшению органолептических свойств готовой продукции и других полезных характеристик. Уникальная специфичность и простота применения приводят к тому, что CRISPR-Cas все чаще используется для применения системы в области детекции фитопатогенов (Kaminski et al., 2021; Huang et al., 2022). Существует целый ряд подходов для разработки систем детекции, использующих различные Cas наборы. В процессе выделяется ДНК, специфичные Cas наборы связываются с целевыми участками ДНК. Подобранные эффекторный и адаптационный модуль внедряют в массив новые спейсеры и расщепляют целевую мишень. Чаще всего первый модуль состоит из нуклеаз, способных расщепить мишень, а второй состоит из белков Cas1 и Cas2.

CRISPR-Cas-based detection systems

Detection systems based on the CRISPR-Cas technique, which came from genome editing, have high sensitivity and specificity. The operating principle of the CRISPR-Cas-based detection system is based on the ability of Cas nucleases to specifically cleave nucleic acids. The principle of genome editing based on the CRISPR-Cas system is actively used to edit organisms for various purposes (Volkov et al., 2022; Doudna and Charpentier, 2014). The method has found the widest application in editing agricultural crops to impart new properties to plants, such as resistance to temperature changes, pests, drought, increasing the shelf life of fruits, increasing yields, improving the organoleptic properties of finished products and other useful characteristics. The unique specificity and ease of use lead to the fact that CRISPR-Cas is increasingly used for the application of the system in the field of detection of phytopathogens (Kaminski et al., 2021; Huang et al., 2022). There are some approaches to the development of detection systems using different Cas sets. In the process, DNA is isolated, specific Cas sets bind to target DNA regions. The selected effector and adaptation modules introduce new spacers into the array and cleave the target. Most often, the first module consists of nucleases capable of cleaving the target, and the second consists of Cas1 and Cas2 proteins. When the target is destroyed, it becomes possible to detect the emitted signal, the presence of which indicates the presence of pathogen DNA. Detection can be done using a fluorescence, electrochemical, colorimetric or visual method (Wang et al., 2020). A sufficiently detailed review of various methodologies based on CRISPR-Cas technology cannot be included within the scope of this review article. Some of the methods are well presented and described in detail in works on the analysis of diagnostic systems (Kaminski et al., 2021). The need for preliminary amplification to increase the sensitivity of diagnostics at low DNA concentrations in the sample or the possibility of avoiding an additional step at concentration values close to 6×10^5 is also described in detail. Human matrix, genomic and micro RNA also do not require additional amplification.

CRISPR-Cas-based techniques are sensitive and specific enough for use in the field. The method does not require the use of complex equipment, which further reduces the cost of the study, allowing it to be carried out in 2 hours (Wang et al., 2020). The possibility of multiplexing and the above-mentioned advantages make CRISPR-Cas a **promising technology** for rapid, accurate and inexpensive detection of phytopathogens, especially in conditions where speed and ease of analysis are important (farms, quarantine services, field studies).

Nucleic acid sequencing methods

One of the most accurate and popular methods for screening and accurate detection of microorganism DNA today is rightfully the method of nucleic

При разрушении целевой мишени появляется возможность детектировать испускаемый сигнал, наличие которого говорит о присутствии ДНК патогена. Для детекции может быть применен флуоресцентный метод, электрохимический, колориметрический или визуальный (Wang et al., 2020). Достаточно подробный обзор различных методологий, базирующихся на технологии CRISPR-Cas, не может быть вменен в рамки этой обзорной статьи. Часть методов хорошо представлена и подробно описана в работах по анализу диагностических систем (Kaminski et al., 2021). Также подробно описывается необходимость предварительной амплификации для повышения чувствительности диагностики при малых концентрациях ДНК в образце или возможность избежать дополнительного этапа при значениях концентрации близких к 6×10^5 . Матричная, геномная и микроРНК человека также не требуют дополнительной амплификации.

Методики, основанные на применении CRISPR-Cas, достаточно чувствительны и специфичны для применения в полевых условиях. Метод не требует использования сложного оборудования, что дополнительно снижает стоимость исследования, позволяя проводить его за 2 ч (Wang et al., 2020). Возможность мультиплексирования и выше перечисленные преимущества делают CRISPR-Cas **перспективной технологией** для быстрой, точной и дешевой детекции фитопатогенов, особенно в условиях, где важны скорость и простота анализа (фермерские хозяйства, карантинные службы, полевые исследования).

Методы секвенирования нуклеиновых кислот

Одним из самых точных и востребованных методов для скрининга и точной детекции ДНК микроорганизмов сегодня по праву является метод секвенирования нуклеиновых кислот. С помощью секвенирования целевых последовательностей и сравнения полученных последовательностей нуклеиновых кислот с эталонными последовательностями, например с последовательностями, размещенными в базе NCBI, можно достоверно детектировать полученный микроорганизм (Barghouthi, 2011; Beye et al., 2017). Таким образом, в отличие от ПЦР, секвенирование не только определяет наличие мишени косвенным методом, но и позволяет находить новые и измененные участки. Секвенирование – значительно более точный метод идентификации микроорганизмов по сравнению с традиционными визуальными методами, основанными на определении морфологии объекта и фенотипировании (Reller et al., 2007; Tewari et al., 2011). Использование секвенирования сводит к минимуму влияние человеческого фактора на результаты определения. Стоимость одного исследования неуклонно снижается на протяжении всей истории использования метода. А простота интерпретации данных позволяет оперировать все большими объемами информации и открывает перед нами новые возможности.

Самое большое применение в диагностике патогенов нашло секвенирование первого поколения – секвенирование по Сэнгеру. Методика обеспечивает достаточно высокую скорость и при низкой стоимости предъявляет не очень высокие требования

acid sequencing. By sequencing target sequences and comparing the obtained nucleic acid sequences with reference sequences, for example, with sequences posted in the NCBI database, it is possible to reliably detect the obtained microorganism (Barghouthi, 2011; Beye et al., 2017). Thus, unlike PCR, sequencing determines not only the presence of the target by an indirect method, but also allows you to find new and modified areas. Sequencing is a much more accurate method for identifying microorganisms compared to traditional visual methods based on determining the morphology of the object and phenotyping (Reller et al., 2007; Tewari et al., 2011). The use of sequencing minimizes the influence of the human factor on the results of the determination. The cost of one study has been steadily decreasing throughout the history of the method's use. And the simplicity of data interpretation allows us to operate with ever larger volumes of information and opens up new opportunities for us.

The most widely used method in pathogen diagnostics is first-generation sequencing – Sanger sequencing. The method provides a fairly high speed and, at a low cost, does not impose very high requirements on the sample being studied. Sanger sequencing allows generating relatively long reads of up to 1.5–2 thousand letters, but with a limited amount of generated data. Second-generation sequencers (for example, Illumina and IonTorrent) generate relatively short reads (150–600 nucleotides), but with a huge throughput and a large amount of data obtained. Generating long reads on second-generation sequencers is a technically challenging task; most sequencers work well with lengths of up to 200 nucleotides; longer reads lead to a decrease in the quality of the obtained data.

There are a number of promising domestic developments in the field of NGS sequencing, but such solutions have not yet been widely adopted. Third-generation sequencers, such as minION, GridION, and PromethION from Oxford Nanopore or PacBio sequencing sequencers from Pacific Biosciences, allow you to obtain individual molecules at the output and generate ultra-long reads quite quickly. Sequencing using PacBio devices is a highly accurate system, but the cost of the equipment is quite high, as is the cost of organizing a specialized laboratory. Nanopore sequencing can be a promising solution for detecting phytopathogens. The portable MinION system is easy to use and requires virtually no initial investment (Loit et al., 2019). The cost of one study is nevertheless significantly higher than the cost of Sanger sequencing due to the cost of consumables. Also, there is a domestic device on the Russian market – Nanoporus, which is not inferior in quality and provides full compatibility with MinION flow cells, adapter and Flongle flow cells. The interface displays the number of readings, their length, the percentage of working pores and additional statistics. The data obtained on Nanoporus allows you to determine the sequence of nucleic acids (DNA, RNA), as well as obtain information about modifications.

к исследуемому образцу. Секвенирование по Сенгеру позволяет генерировать относительно длинные считывания до 1,5–2 тыс. букв, но с ограниченным количеством генерируемых данных. Секвенаторы же второго поколения (например, Illumina и IonTorrent) генерируют относительно короткие считывания (150–600 нуклеотидов), но с огромной пропускной способностью и большим количеством получаемых данных. Генерирование на секвенаторах второго поколения длинных прочтений – технически сложная задача, большинство секвенаторов хорошо работают с длинами до 200 нуклеотидов, более длинные прочтения приводят к снижению качества получаемых данных.

Существует ряд перспективных отечественных разработок в области секвенирования NGS, но массовое распространение такие решения пока не получили. Секвенаторы третьего поколения, такие как minION, GridION и PromethION от Oxford Nanopore или секвенаторы PacBio sequencing от компании Pacific Biosciences, позволяют получать на выходе отдельные молекулы и генерировать сверхдлинные считывания достаточно быстро. Секвенирование с использованием приборов PacBio является высокоточной системой, но стоимость оборудования достаточно высока, как и стоимость организации специализированной лаборатории. Нанопоровое секвенирование может быть перспективным решением для детекции фитопатогенов. Портативная система MinION удобна в использовании и практически не требует первоначальных вложений (Loit et al., 2019). Стоимость одного исследования тем не менее значительно выше, чем стоимость секвенирования по Сенгеру за счет стоимости расходных материалов. Также на рынке РФ появился отечественный прибор – Нанопорус, не уступающий по качеству и обеспечивающий полную совместимость с проточными ячейками MinION, адаптером и проточными ячейками Flongle. Интерфейс отображает количество прочтений, их длину, процент работающих пор и дополнительную статистику. Данные, полученные на Нанопорусе, позволяют определить последовательность нуклеиновых кислот (ДНК, РНК), а также получить информацию о модификациях.

Метагеномное секвенирование Shot-Gun

Метагеномика предполагает использование параллельного секвенирования коротких фрагментов нуклеиновых кислот методом дробовика (Shot-gun) всех микроорганизмов в пробе одновременно (Venbrux et al., 2023). Метод дробовика нашел широкое применение в медицине (чтение полных геномов, экзомов, микробиомов, анализ биологических жидкостей), в последнее время чаще используется в ветеринарии (чтение микробиомов, анализ биологических жидкостей). Данный метод позволяет эффективно выявлять патогенные бактерии, грибы и вирусы (Nikitinskaya et al., 2025). В рамках метода сначала выделяется вся присутствующая в пробе ДНК, далее она обрабатывается фрагментазой для получения более мелких цепочек нуклеотидов. Также для фрагментации могут применяться приборы, использующие ультразвук. Излишне длинные и слишком короткие фрагменты отбрасываются. После этого происходит параллельное секвенирование наработанного материала (Sharpton, 2014).

Shot-Gun Metagenomic Sequencing

Metagenomics involves the use of parallel sequencing of short fragments of nucleic acids using the shot-gun method, all microorganisms in a sample simultaneously (Venbrux et al., 2023). The shot-gun method has found wide application in medicine (reading of complete genomes, exomes, microbiomes, analysis of biological fluids), and has recently been used more often in veterinary medicine (reading of microbiomes, analysis of biological fluids). This method allows for the effective detection of pathogenic bacteria, fungi, and viruses (Nikitinskaya et al., 2025). Within the framework of the method, all DNA present in the sample is first isolated, then it is treated with fragmentase to obtain smaller nucleotide chains. Devices using ultrasound can also be used for fragmentation. Excessively long and too short fragments are discarded. After that, parallel sequencing of the accumulated material occurs (Sharpton, 2014). Due to the fact that each such region is read multiple times, it becomes possible (with multiple overlap) to assemble contigs – long sections of DNA. The resulting metagenome of the sample is used to identify organisms and / or to analyze functional genes (Quince et al., 2017). The use of the metagenomic sequencing method allows you to obtain high-quality contigs due to the overlap and multiple reading of all fragments. The resulting contigs make it possible to assemble and analyze the genomes or sections of the genomes of new plants that were previously absent from the databases; high-quality contigs and a large number of reads allow you to identify bacteria, fungi, oomycetes and viruses down to the subspecies, strain; there is no need to sequence each organism separately – all organisms are detected simultaneously; the ability to analyze seed and planting material for latent infections is especially relevant; it is not necessary to rely on external manifestations and signs of diseases; you can track the state of target organisms in samples (Piombo et al., 2021). In the case of virus analysis, it is quite difficult to create test systems based on amplicons, so Shot-Gun sequencing helps to avoid additional labor-intensive studies and detect new viruses (Adams et al., 2009; Roossinck et al., 2009). The use of metagenomics can be of particular importance for screening seed and planting material. The method allows one to determine the pathogenic load in seed, planting material, fruits, and soil and water samples. This allows one to determine the suitability of seeds and material for use, select the best samples, determine the routes of spread of phytopathogens, and identify diseases in the absence of external manifestations. Today, the scope of metagenomics has expanded significantly, but this method is rarely used in the field of identifying plant pathogens. Along with the traditional reasons mentioned by Sharpton (the need to obtain a large number of coatings, high cost, the need for additional expensive equipment to get rid of the DNA of the plant being studied, the difficulty of detecting pathogen species present in small concentrations),

За счет того, что каждый такой участок многократно считывается, появляется возможность (с многократным перекрытием) собрать контиги – продолжительные участки ДНК. Полученный метагеном образца используется для идентификации организмов и/или для анализа функциональных генов (Quince et al., 2017). Использование метагеномного метода секвенирования позволяет получать контиги высокого качества, за счет перекрытия и многократного прочтения всех фрагментов. Полученные контиги дают возможность собирать и анализировать геномы или участки геномов новых растений, до этого момента отсутствующих в базах данных; высокое качество контигов и большое количество прочтений позволяют идентифицировать бактерии, грибы, оомицеты и вирусы до подвида, штамма; не требуется секвенировать отдельно каждый организм – все организмы детектируются одновременно; особенно актуальна возможность анализа семенного и посадочного материала на скрытые инфекции; не обязательно опираться на внешние проявления и признаки заболеваний; можно отслеживать состояние целевых организмов в образцах (Piombo et al., 2021). В случае анализа на вирусы достаточно затруднительно создавать тестовые системы на основании ампликонов, поэтому секвенирование методом Shot-Gun помогает избежать дополнительных трудоемких исследований и обнаруживать новые вирусы (Adams et al., 2009; Roossinck et al., 2009). Особую значимость использование метагеномики может иметь для скрининга семенного и посадочного материала. Метод позволяет определить патогенную нагрузку в семенном, посадочном материале, плодах и образцах почв и воды. Это позволяет определить пригодность семян и материала для использования, выбрать лучшие образцы, определить пути распространения фитопатогенов, выявить заболевания при отсутствии внешних проявлений. На сегодняшний день сферы использования метагеномики значительно расширились, но в области выявления патогенов растений данный метод используется нечасто. Наряду с традиционными причинами, о которых упоминает Sharpton (необходимость получения большого количества покрытий, высокая стоимость, необходимость в дополнительном дорогостоящем оборудовании для избавления от ДНК самого исследуемого растения, сложность обнаружения видов патогенов, присутствующих в небольших концентрациях), существенно влияет на использование метода нехватка доступных эталонных геномов (Sharpton, 2014). На самом деле уже сегодня большое количество прочтений в большинстве случаев не является критичным показателем, стоимость секвенирования значительно снизилась и сравнима со стоимостью исследования другими молекулярными методами, появились более совершенные наборы для выделения ДНК и синтеза кДНК, а мировые базы геномов постоянно расширяются и дополняются. Наряду с использованием в медицине метагеномика прочно входит в практику обнаружения фитопатогенов, болезней животных и научных исследований во многих областях.

Секвенирование отдельных участков

Секвенирование отдельных участков, обладающих достаточной вариабельностью для определения

the use of the method is significantly affected by the lack of available reference genomes (Sharpton, 2014). In fact, today a large number of reads in most cases is not a critical indicator, the cost of sequencing has significantly decreased and is comparable to the cost of research using other molecular methods, more advanced kits for DNA extraction and cDNA synthesis have appeared, and the world's genome databases are constantly expanding and supplemented. Along with its use in medicine, metagenomics is firmly entering the practice of detecting phytopathogens, animal diseases and scientific research in many areas.

Sequencing of individual regions

Sequencing of individual regions with sufficient variability to identify the target organism is one of the most popular methods for detecting phytopathogens. The principle of the method is based on the fact that microorganisms have variable regions along with conservative ones. Having detected such variable regions and selected oligonucleotides for the adjacent conservative regions, we can amplify the target fragments. Having an insignificant size compared to the genome, such regions allow us to distinguish microorganisms to the genus, to the species, significantly saving resources. The barcoding method allows us to reliably differentiate microorganisms based on existing databases (Hugerth and Andersson, 2017; Bush et al., 2019). There are universal regions suitable for sequencing by the barcoding method. For prokaryotic organisms, the 16S rDNA region is used, its size is suitable for reading by devices that provide a reading length of 500 nucleotides. For fungi and oomycetes, the internal transcribed spacer ITS rRNA is most often sequenced (Abdelfattah et al., 2018; Piombo et al., 2021). Modern databases provide accurate identification of organisms by comparing the obtained reading with the same reference from the database. However, there are closely related organisms that require reading additional regions, since they cannot be identified by reading the considered standard targets.

Biosensor systems

Biosensors are devices that use enzymes, antibodies, DNA, or even whole cells as a detection element. The elements bind either to cells and cell fragments, or to nucleic acids, or to the resulting amplification products present in solution in combination with a signal transduction mechanism. A biosensor system, including electrochemical sensors, mass sensors, or optical sensors, converts the detected signal into selective quantitative or semi-quantitative analytical information. Due to their low cost, simplicity, and speed of operation, biosensors are widely used in medicine (Fang and Ramasamy, 2015; Hameed et al., 2018; Bridle and Desmulliez, 2021). The main disadvantages of biosensor systems are the instability of materials in the field and insufficient standardization. Various methods can be used to detect plant pathogens, for example, immunosensors with antibodies

целевого организма, является одним из самых популярных методов детекции фитопатогенов. Принцип метода основан на том, что микроорганизмы обладают вариабельными участками наряду с консервативными. Обнаружив такие вариабельные участки и подобрав к граничащим с ними консервативным участкам олигонуклеотиды, мы можем амплифицировать целевые фрагменты. Обладая незначительным размером по сравнению с геномом, такие участки позволяют различить микроорганизмы до рода, до вида, значительно экономя ресурсы. Метод баркодирования позволяет достоверно дифференцировать микроорганизмы, опираясь на имеющиеся базы данных (Hugerth and Andersson, 2017; Bush et al., 2019). Существуют универсальные участки, подходящие для секвенирования методом баркодирования. Для прокариотических организмов используется участок 16S рДНК, его размеры подходят для чтения приборами, обеспечивающими длину прочтения от 500 нуклеотидов. Для грибов и оомицетов чаще всего секвенируют внутренний транскрибируемый спейсер ITS рДНК (Abdelfattah et al., 2018; Piombo et al., 2021). Современные базы данных обеспечивают точное определение организмов при сравнении полученного прочтения с таким же эталонным из базы данных. Но есть близкородственные организмы, которые требуют прочтения дополнительных участков, так как не могут быть определены прочтением рассмотренных стандартных мишеней.

Биосенсорные системы

Биосенсоры – это устройства, использующие ферменты, антитела, ДНК или даже целые клетки как элемент детекции. Элементы связываются либо с клетками и фрагментами клеток, либо с нуклеиновыми кислотами, либо с полученными продуктами амплификации, присутствующими в растворе в сочетании с механизмом преобразования сигнала. Биосенсорная система, включающая электрохимические датчики, датчики массы или оптические датчики, преобразует распознаваемый сигнал в селективную количественную или полуколичественную аналитическую информацию. Благодаря невысокой стоимости, простоте и скорости работы биосенсоры активно применяются в медицине (Fang and Ramasamy, 2015; Hameed et al., 2018; Bridle and Desmulliez, 2021). Основными недостатками систем биосенсоров являются нестабильность материалов в полевых условиях и недостаточная стандартизация. Для обнаружения патогенов растений могут использоваться различные методы, например для детекции вирусов (TMV, PVY) – иммуносенсоры с антителами, для детекции бактериальных патогенов – ДНК-гибридизационные сенсоры, для детекции грибковых патогенов применяются ферментные биосенсоры на основе хитиназы (Buja et al., 2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ежегодные потери урожая из-за фитопатогенов (бактерий, вирусов, грибов, нематод и др.) оцениваются в диапазоне от 20 до 40% глобального производства сельскохозяйственных культур, что в денежном эквиваленте составляет **сотни миллиардов долларов**. Потери в Азии и Африке значительно выше из-за ограниченного применения методов ранней диагностики, малого числа специалистов и слабого

are used to detect viruses (TMV, PVY), DNA hybridization sensors are used to detect bacterial pathogens, and chitinase-based enzyme biosensors are used to detect fungal pathogens (Buja et al., 2021).

RESULTS AND DISCUSSION

Annual crop losses due to phytopathogens (bacteria, viruses, fungi, nematodes, etc.) are estimated to range from 20 to 40% of global agricultural production, which in monetary terms amounts to **hundreds of billions of dollars**. Losses in Asia and Africa are significantly higher due to the limited use of early diagnostic methods, a small number of specialists, and weak use of pesticides. In North America and Europe, losses are lower and amount to 15 to 30%, but due to the higher cost of finished agricultural products, they exceed them in monetary terms. This situation leads to the threat of famine in developing countries and contributes to the global growth in the cost of agricultural products. An obvious way to reduce losses is early diagnostics of pathogenic microorganisms. The most effective in terms of the methods considered is monitoring of seed and planting material, as well as selective monitoring of outwardly healthy plants that do not show signs of infection. In addition, it is possible to indirectly assess the effectiveness of the drugs and methods used to control phytopathogens. This will increase the effectiveness of measures and reduce the burden of using chemical pesticides. Correctly selected and implemented methods for detecting phytopathogens are a significant part of a comprehensive approach to reducing the use of chemical pesticides, ensuring increased sustainability of agriculture. Another important method for reducing losses is the use of phytosanitary measures in organized monitoring of imported and exported products. The use of only one of the methods for detecting phytopathogens will not be effective enough and may lead to unnecessary costs. The only possible solution is a combination of field control methods, laboratory methods and remote sensing methods.

Concluding observations

An analysis of modern diagnostic methods for plant pathogens, including viruses, bacteria, fungi and oomycetes, demonstrates significant advances in molecular genetic technologies. Traditional methods such as microbiological culture and serological tests, although still important, are gradually giving way to more accurate, rapid and sensitive approaches based on nucleic acid analysis. Methods such as PCR, isothermal amplification (LAMP), next-generation sequencing (NGS) and CRISPR systems are revolutionizing diagnostics by enabling early detection of pathogens, differentiation of strains and detection of latent infections.

The use of modern molecular methods has undeniable advantages. One of the most important criteria is the early detection of pathogens before the appearance of visible symptoms, which is especially important for preventing the spread of diseases.

использования пестицидов. В Северной Америке и Европе потери ниже и составляют от 15 до 30%, но из-за более высокой стоимости готовой сельскохозяйственной продукции превосходят их в денежном выражении. Такая ситуация приводит к угрозе голода в развивающихся странах и способствует общему росту стоимости сельскохозяйственной продукции. Очевидным способом для снижения потерь является ранняя диагностика патогенных микроорганизмов. Наиболее эффективным в разрезе рассмотренных методов представляется мониторинг семенного и посадочного материала, а также выборочный мониторинг внешне здоровых растений, не проявляющих признаков инфекции. Дополнительно можно косвенно оценить эффективность используемых препаратов и методов, применяемых для борьбы с фитопатогенами. Это позволит повысить эффективность мероприятий и снизить нагрузку от использования химических пестицидов. Правильно подобранные и реализуемые методы детекции фитопатогенов составляют значимую часть комплексного подхода сокращения использования химических пестицидов, обеспечивая повышение устойчивости сельского хозяйства. Также немаловажным методом снижения потерь является применение фитосанитарных мер при организованном мониторинге импортируемой и экспортируемой продукции. Применение только одного из методов детекции фитопатогенов не будет достаточно эффективным и может привести к излишним затратам. Единственным возможным решением представляется комбинация полевых методов контроля, лабораторных методов и методов дистанционного зондирования.

ВЫВОДЫ

Анализ современных методов диагностики патогенов растений, включая вирусы, бактерии, грибы и оомицеты, демонстрирует значительный прогресс в области молекулярно-генетических технологий. Традиционные методы, такие как микробиологический посев и серологические тесты, хотя и остаются важными, постепенно уступают место более точным, быстрым и чувствительным подходам, основанным на анализе нуклеиновых кислот. Методы, такие как ПЦР, изотермическая амплификация (LAMP), секвенирование нового поколения (NGS) и CRISPR-системы, революционизируют диагностику, позволяя выявлять патогены на ранних стадиях, дифференцировать штаммы и обнаруживать латентные инфекции.

Использование современных молекулярных методов имеет неоспоримые преимущества. Одним из важнейших критериев является раннее обнаружение патогенов еще до появления видимых симптомов, что особенно важно для предотвращения распространения заболеваний.

Высокая специфичность и чувствительность таких технологий, как NGS, qPCR и CRISPR, обеспечивают точность и воспроизводимость результатов даже при низких концентрациях патогенов.

Возможность создания и легкость применения мультиплексных систем, а также использование гибридационных матриц и NGS позволяет одновременно обнаруживать множество патогенов, что значительно повышает эффективность диагностики. Развитие портативных платформ, таких как LAMP

High specificity and sensitivity of technologies such as NGS, qPCR and CRISPR ensure the accuracy and reproducibility of results even at low concentrations of pathogens.

The possibility of creating and easy to use multiplex systems, as well as the use of hybridization matrices and NGS, allows for the simultaneous detection of many pathogens, which significantly increases the efficiency of diagnostics. The development of portable platforms such as LAMP and CRISPR expands the possibilities for field diagnostics, which is especially important for rapid response to threats. The possibility of field application of tests allows for the detection of phytopathogens directly on site, quickly and without sending them to a laboratory.

Limitations and Prospects:

The widespread use of molecular genetic methods in the detection of quarantine objects today still has a number of limitations. Sequencing of nucleic acids requires complex bioinformatics processing and the availability of reference sequences, as well as the ability to interpret the obtained data. Some methods, such as PCR, do not allow distinguishing viable microorganisms from non-viable ones. This can lead to false positive results.

Some methods, such as NGS and metagenomics, have become much more affordable, although they require specialized equipment and skills, which somewhat limits their mass application.

However, in the future, the mass integration of molecular genetic methods will lead to a significant increase in the accuracy and speed of diagnostics, and will allow timely detection of pathogenic organisms in seed and planting material. The mass use of these methods will further reduce their cost per sample. The development of the NGS method, including metagenomic sequencing, in diagnostics will contribute to further cost reduction, expansion and development of databases, and will open up new opportunities for monitoring plant diseases in real time. And the development of artificial intelligence will allow for quick and accurate interpretation of data. The requirements for server capacity and data storage will be reduced. The processes of developing diagnostic methods will be automated, which will save resources and reduce time costs.

CONCLUSION

Modern methods of plant pathogen diagnostics based on molecular genetic approaches are a powerful tool for controlling crop diseases. Their implementation in phytosanitary monitoring and integration with traditional methods will reduce economic losses associated with pathogens and contribute to sustainable agricultural development. However, for the widespread use of these technologies, the issues related to their cost, availability and data interpretation need to be addressed. Further research and

и CRISPR, расширяет возможности для полевой диагностики, что особенно важно для оперативно-го реагирования на угрозы. Возможность полевого применения тестов позволяет выявлять фитопатогены прямо на месте, быстро и без отправки в лабораторию.

Ограничения и перспективы

Широкое применение молекулярно-генетических методов в детекции карантинных объектов на сегодняшний день все же имеет ряд ограничений. Секвенирование нуклеиновых кислот требует сложной биоинформатической обработки и наличия референсных последовательностей, а также умения интерпретировать полученные данные. Некоторые методы, такие как ПЦР, не позволяют отличить жизнеспособные микроорганизмы от нежизнеспособных. Это может приводить к ложноположительным результатам.

Некоторые методы, такие как NGS и метагеномика, стали значительно доступнее по стоимости, хотя и требуют специализированного оборудования и навыков, что несколько ограничивает их массовое применение.

Однако в перспективе массовая интеграция молекулярно-генетических методов приведет к значительному повышению точности и скорости диагностики, позволит своевременно определять патогенные организмы в семенном и посадочном материале. Массовое применение данных методов еще больше снизит их стоимость в пересчете на образец.

Развитие метода NGS, в том числе метагеномного секвенирования, в диагностике будет способствовать дальнейшему снижению стоимости, расширению и развитию баз данных, откроет новые возможности для мониторинга заболеваний растений в реальном времени. А развитие искусственного интеллекта позволит быстро и точно интерпретировать данные. Снизятся требования к серверным мощностям и хранилищам данных. Автоматизируются процессы разработки диагностических методик, что позволит экономить ресурсы и снизит временные затраты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные методы диагностики патогенов растений, основанные на молекулярно-генетических подходах, представляя собой мощный инструмент для борьбы с заболеваниями сельскохозяйственных культур. Их внедрение в фитосанитарный мониторинг и интеграция с традиционными методами позволят снизить экономические потери, связанные с патогенами, и способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства. Однако для широкого применения этих технологий необходимо решить ряд проблем, связанных с их стоимостью, доступностью и интерпретацией данных. Дальнейшие исследования и разработки в этой области будут способствовать созданию более эффективных и доступных решений для защиты растений и обеспечения глобальной продовольственной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонова О.С., Рудницкая Г.Е., Тупик А.Н., Буляница А.Л., Евстапов А.А., Курочкин В.Е.

development in this area will contribute to the creation of more effective and affordable solutions for plant protection and global food security.

REFERENCES

1. Antonova O.S., Rudnitskaya G.E., Tupik A.N., Bulyanitsa A.L., Evstrapov A.A., Kurochkin V.E. "Polymerase chain reaction: Instrumental and methodological implementation. Review of analytical characteristics" [Polimeraznaya tsepnaya reaktsiya: Pribornaya i metodicheskaya realizatsiya. Obzor analiticheskikh kharakteristik] // Scientific instrument making. 2011. 21 (4), 5–21. (In Russ.)
2. Volkov A.A., Dolgova A.S., Dedkov V.G. "Molecular diagnostic platforms created on the basis of CRISPR-Cas systems" [Molekulyarnyye diagnosticheskiye platformy, sozdannyye na baze sistem CRISPR-Cas] // Infection and Immunity. 2022. 1, 9–20. URL: <https://doi.org/10.15789/2220-7619-SSV1843>. (In Russ.)
3. Zubik A., Rudnitskaya G.E., Evstrapov A. "Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) method in a microdevice format (review)" [Metod petlevooy izotermicheskoy amplifikatsii (LAMP) v formate mikroustroystva (obzor)] // SCIENTIFIC INSTRUMENTATION. 2021. 31(1):3–43. URL: <https://doi.org/10.18358/np-31-1-i343> (In Russ.)
4. Nazarov P. A., Baleev D. N., Ivanova M. I., Sokolova L. M., Karakozova M. V. "Infectious Plant Diseases: Etiology, Current Status, Problems and Prospects of Plant Protection" [Infektsionnyye bolezni rasteniy: etiologiya, sovremennoye sostoyaniye, problemy i perspektivy zashchity Rasteniy] // ACTA NATURAE. 2020. 12.3 (46). URL: <https://doi.org/10.32607/actanaturae.11026>. (In Russ.)
5. Kolesnikov A.V., Kozyr A.V., Shemyakin I.G. "Prospects for the use of aptamers in the diagnostics of bacterial infections" [Perspektivy primeneniya aptamerov v diagnostike bakterial'nykh infektsiy] // Molecular Genetics, Microbiology and Virology. 2012. 2b 1–6. (In Russ.)
6. Lebedeva Yu.L., Cherkashin E.A., Akimkin V.G. "MODERN DIGITAL PCR PLATFORMS" [SOVREMENNYE PLATFORMY TSIFROVOY PTSR] // Biotechnology, 2024, Vol. 40, No. 1, pp. 61–83. URL: <https://doi.org/10.56304/S023427582401006X>. (In Russ.)
7. Ivanov A. V., Safenkova I. V., Zherdev A. V., Dzantiev B. B. "Potential use of isothermal amplification assays for field diagnostics of plant pathogens." [Potentsial'noye ispol'zovaniye analizov izotermicheskoy amplifikatsii dlya polevoy diagnostiki patogenov rasteniy] // Plants (2021). 10 (11), 2424. URL: <https://doi.org/10.3390/plants10112424>. (In Russ.)
8. Abdelfattah A., Malacrinò A., Wisniewski M., Cacciola S. O., Schena L. Metabarcoding: A powerful tool to investigate microbial communities and shape future plant protection strategies // Biol. Control. 2018. 120, 1–10. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.07.009>.
9. Adams I. P., Glover R. H., Monger W. A., Mumford R., Jackeviciene E., Navalinskiene M., et al.

«Полимеразная цепная реакция: Приборная и методическая реализация. Обзор аналитических характеристик» // Научное приборостроение. 2011. 21 (4), 5–21.

2. Волков А.А., Долгова А.С., Дедков В.Г. «Молекулярные диагностические платформы, созданные на базе систем CRISPR-Cas» // Инфекция и иммунитет. 2022. 1, 9–20. URL: <https://doi.org/10.15789/2220-7619-CCB1843>.

3. Зубик А., Рудницкая Г.Е., Евстапов А. «Метод петлевой изотермической амплификации (LAMP) в формате микроустройства (обзор)» // НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. 2021. 31(1):3–43. URL: <https://doi.org/10.18358/nr-31-1-i343>

4. Назаров П. А., Балеев Д. Н., Иванова М. И., Соколова Л. М., Каракозова М. В. «Инфекционные болезни растений: этиология, современное состояние, проблемы и перспективы защиты Растений» // АСТА NATURAE. 2020. 12.3 (46). URL: <https://doi.org/10.32607/astanaturae.11026>.

5. Колесников А.В., Козырь А.В., Шемякин И.Г. «Перспективы применения аптамеров в диагностике бактериальных инфекций» // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. 2012. 26 1–6.

6. Лебедева Ю.Л., Черкашин Е.А., Акимкин В.Г. «СОВРЕМЕННЫЕ ПЛАТФОРМЫ ЦИФРОВОЙ ПЦР» // БИОТЕХНОЛОГИЯ, 2024, Т. 40, № 1, СТР. 61–83. URL: [HTTPS://DOI: 10.56304/S023427582401006X](https://doi.org/10.56304/S023427582401006X).

7. Иванов А. В., Сафенкова И. В., Жердев А. В., Дзантиев Б. Б. » Потенциальное использование анализов изотермической амплификации для полевой диагностики патогенов растений.» Растения (2021). 10 (11), 2424. URL: <https://doi.org/10.3390/plants10112424>.

8. Abdelfattah A., Malacrino A., Wisniewski M., Cacciola S. O., Schena L. Metabarcoding: A powerful tool to investigate microbial communities and shape future plant protection strategies // Biol. Control. 2018. 120, 1–10. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.07.009>.

9. Adams I. P., Glover R. H., Monger W. A., Mumford R., Jackeviciene E., Navalinskiene M., et al. Next-generation sequencing and metagenomic analysis: A universal diagnostic tool in plant virology // Mol. Plant Pathol. 2009. 10 (4), 537–545. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00545.x>.

10. Anne-Katrin Mahlein. Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping // Plant Disease. 2016. 241–251. URL: <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE>.

11. Antonet M. Svircev, Won-Sik Kim, Susan M. Lehman, Alan Castle. Erwinia amylovora: Modern Methods for Detection and Differentiation // Methods in molecular biology Methods in molecular biology (Clifton, N.J.). 2009. 508:115–29. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-59745-062-1_10.

12. Ascoli C. A., Aggeler B. Overlooked benefits of using polyclonal antibodies // BioTechniques 2018. 65 (3), 127–136. URL: <https://doi.org/10.2144/btn-2018-0065>.

13. Barghouthi S. A. A universal method for the identification of bacteria based on general PCR primers // Indian J. Microbiol. 2011. 51 (4), 430–444. URL: <https://doi.org/10.1007/s12088-011-0122-5>.

14. Barsukova G.N., Sheudzhn Z.R., Derevenets D.K. Reduction of the area of agricultural and arable land as a global trend of reducing part of resource potential of agricultural production // International agricultural

Next-generation sequencing and metagenomic analysis: A universal diagnostic tool in plant virology // Mol. Plant Pathol. 2009. 10 (4), 537–545. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00545.x>.

10. Anne-Katrin Mahlein. Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping // Plant Disease. 2016. 241–251. URL: <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE>.

11. Antonet M. Svircev, Won-Sik Kim, Susan M. Lehman, Alan Castle. Erwinia amylovora: Modern Methods for Detection and Differentiation // Methods in molecular biology Methods in molecular biology (Clifton, N.J.). 2009. 508:115–29. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-59745-062-1_10.

12. Ascoli C. A., Aggeler B. Overlooked benefits of using polyclonal antibodies // BioTechniques 2018. 65 (3), 127–136. URL: <https://doi.org/10.2144/btn-2018-0065>.

13. Barghouthi S. A. A universal method for the identification of bacteria based on general PCR primers // Indian J. Microbiol. 2011. 51 (4), 430–444. URL: <https://doi.org/10.1007/s12088-011-0122-5>.

14. Barsukova G.N., Sheudzhn Z.R., Derevenets D.K. Reduction of the area of agricultural and arable land as a global trend of reducing part of resource potential of agricultural production // International agricultural journal 2021. 6, 6–9. URL: <https://doi.org/10.22412/2588-0209-2021-10413>.

15. Becherer L., Borst N., Bakheit M., Frischmann S., Zengerle R., von Stetten F. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) – review and classification of methods for sequence-specific detection. Anal. Methods. 2020. 12 (6), 717–746. URL: <https://doi.org/10.1039/C9AY02246E>.

16. Bester R., Jooste A. E. C., Maree H. J., Burger J. T. Real-time RT-PCR high-resolution melting curve analysis and multiplex RT-PCR to detect and differentiate grapevine leafroll-associated virus 3 variant groups I, II, III and VI // Virol. J. 2012. 9 (1), 219. URL: <https://doi.org/10.1186/1743-422X-9-219>.

17. Beye M., Fahsi N., Raoult D., Fournier P.-E. Careful use of 16S rRNA gene sequence similarity values for the identification of mycobacterium species // New Microbes New Infect. 2017. 22, 24–29. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2017.12.009>.

18. Bridle H., Desmulliez M. Chapter 7–biosensors for the detection of waterborne pathogens, in Waterborne pathogens. 2021. 2nd ed. Ed. Bridle, H. (Academic Press), 189–235. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64319-3.00007-1>.

19. Buja I., Sabella E., Monteduro A. G., Chiriaco M. S., De Bellis L., Luvisi A., et al. Advances in plant disease detection and monitoring: From traditional assays to in-field diagnostics // Sensors. 2021. 21 (6). URL: <https://doi.org/10.3390/s21062129>.

20. Bush A., Compson Z. G., Monk W. A., Porter T. M., Steeves R., Emilson E., et al. Studying ecosystems with DNA metabarcoding: Lessons from bio-monitoring of aquatic macroinvertebrates // Front.

journal 2021. 6, 6-9. URL: <https://doi.org/10.22412/2588-0209-2021-10413>.

15. Becherer L., Borst N., Bakheit M., Frischmann S., Zengerle R., von Stetten F. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) – review and classification of methods for sequence-specific detection. *Anal. Methods*. 2020. 12 (6), 717–746. URL: <https://doi.org/10.1039/C9AY02246E>.

16. Bester R., Jooste A. E. C., Maree H. J., Burger J. T. Real-time RT-PCR high-resolution melting curve analysis and multiplex RT-PCR to detect and differentiate grapevine leafroll-associated virus 3 variant groups I, II, III and VI // *Virol. J.* 2012. 9 (1), 219. URL: <https://doi.org/10.1186/1743-422X-9-219>.

17. Beye M., Fahsi N., Raoult D., Fournier P.-E. Careful use of 16S rRNA gene sequence similarity values for the identification of mycobacterium species // *New Microbes New Infect.* 2017. 22, 24–29. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2017.12.009>.

18. Bridle H., Desmulliez M. Chapter 7–biosensors for the detection of waterborne pathogens, in *Waterborne pathogens*. 2021. 2nd ed. Ed. Bridle, H. (Academic Press), 189–235. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64319-3.00007-1>.

19. Buja I., Sabella E., Monteduro A. G., Chiriaco M. S., De Bellis L., Luvisi A., et al. Advances in plant disease detection and monitoring: From traditional assays to in-field diagnostics // *Sensors*. 2021. 21 (6). URL: <https://doi.org/10.3390/s21062129>.

20. Bush A., Compson Z. G., Monk W. A., Porter T. M., Steeves R., Emilson E., et al. Studying ecosystems with DNA metabarcoding: Lessons from biomonitoring of aquatic macroinvertebrates // *Front. Ecol. Evol.* 2019. 7. URL: <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00434>.

21. Chen B., Jiang Y., Cao X., Liu C., Zhang N., Shi D. Droplet digital PCR as an emerging tool in detecting pathogens nucleic acids in infectious diseases. // *Clinica Chimica Acta*. 2021. 517, 156–161. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cca.2021.02.008>.

22. Craw P., Balachandran W. Isothermal nucleic acid amplification technologies for point-of-care diagnostics: A critical review. *Lab // Chip*. 2021. 12 (14), 2469. URL: <https://doi.org/10.1039/c2lc40100b>.

23. Doudna J. A., Charpentier E. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9 // *Science*. 2014. 346 (6213), 1258096. URL: <https://doi.org/10.1126/science.1258096>.

24. Duan Y., Zhou L., Hall D. G., Li W., Doddapaneni H., Lin H., et al. Complete genome sequence of citrus huanglongbing bacterium, ‘Candidatus liberibacter asiaticus’ obtained through metagenomics // *Mol. Plant-Microbe Interactions*®. 2009. 22 (8), 1011–1020. URL: <https://doi.org/10.1094/MPMI-22-8-1011>.

25. FAO. The future of food and agriculture: Trends and challenges // *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2017. p11–16.

26. FAO. New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. 2019. Available at: <https://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/>.

27. Ferone M., Gowen A., Fanning S., Scannell A. G. M. Microbial detection and identification methods: Bench top assays to omics approaches // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2020. 19 (6), 3106–3129. URL: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12618>.

28. Fang and Ramasamy. Current and prospective methods for plant disease detection // *Biosensors*. 2015. 5, 537–561. URL: <https://doi.org/10.3390/bios5030537>.

Ecol. Evol. 2019. 7. URL: <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00434>.

21. Chen B., Jiang Y., Cao X., Liu C., Zhang N., Shi D. Droplet digital PCR as an emerging tool in detecting pathogens nucleic acids in infectious diseases. // *Clinica Chimica Acta*. 2021. 517, 156–161. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cca.2021.02.008>.

22. Craw P., Balachandran W. Isothermal nucleic acid amplification technologies for point-of-care diagnostics: A critical review. *Lab // Chip*. 2021. 12 (14), 2469. URL: <https://doi.org/10.1039/c2lc40100b>.

23. Doudna J. A., Charpentier E. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9 // *Science*. 2014. 346 (6213), 1258096. URL: <https://doi.org/10.1126/science.1258096>.

24. Duan Y., Zhou L., Hall D. G., Li W., Doddapaneni H., Lin H., et al. Complete genome sequence of citrus huanglongbing bacterium, ‘Candidatus liberibacter asiaticus’ obtained through metagenomics // *Mol. Plant-Microbe Interactions*®. 2009. 22 (8), 1011–1020. URL: <https://doi.org/10.1094/MPMI-22-8-1011>.

25. FAO. The future of food and agriculture: Trends and challenges // *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2017. p11–16.

26. FAO. New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. 2019. Available at: <https://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/>.

27. Ferone M., Gowen A., Fanning S., Scannell A. G. M. Microbial detection and identification methods: Bench top assays to omics approaches // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2020. 19 (6), 3106–3129. URL: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12618>.

28. Fang and Ramasamy. Current and prospective methods for plant disease detection // *Biosensors*. 2015. 5, 537–561. URL: <https://doi.org/10.3390/bios5030537>.

29. Hameed S., Xie L., Ying Y. Conventional and emerging detection techniques for pathogenic bacteria in food science: A review // *Trends Food Sci. Technol.* 2018. 81, 61–73. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.020>.

30. Hayden R. T., Gu Z., Ingersoll J., Abdul-Ali D., Shi L., Pounds S., et al. Comparison of droplet digital PCR to real-time PCR for quantitative detection of cytomegalovirus. *J. Clin. // Microbiol.* 2013. 51 (2), 540–546. URL: <https://doi.org/10.1128/JCM.02620-12>.

31. Hindson B. J., Ness K. D., Masquelier D. A., Belgrader P., Heredia N. J., Makarewicz A. J., et al. High-throughput droplet digital PCR system for absolute quantitation of DNA copy number // *Anal. Chem.* 2011. 83 (22), 8604–8610. URL: <https://doi.org/10.1021/ac202028g>.

32. Hoshino T., Inagaki F. Molecular quantification of environmental DNA using microfluidics and digital PCR. *Syst. Appl // Microbiol.* 2012. 35 (6), 390–395. URL: <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2012.06.006>.

33. Hugerth L. W., Andersson A. F. Analysing microbial community composition through amplicon sequencing: From sampling to hypothesis testing //

29. Hameed S., Xie L., Ying Y. Conventional and emerging detection techniques for pathogenic bacteria in food science: A review // *Trends Food Sci. Technol.* 2018. 81, 61–73. URL: [https://doi.org/ 10.1016/j.tifs.2018.05.020](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.020).
30. Hayden R. T., Gu Z., Ingersoll J., Abdul-Ali D., Shi L., Pounds S., et al. Comparison of droplet digital PCR to real-time PCR for quantitative detection of cytomegalovirus. *J. Clin. Microbiol.* 2013. 51 (2), 540–546. URL: [https://doi.org/ 10.1128/JCM.02620-12](https://doi.org/10.1128/JCM.02620-12).
31. Hindson B. J., Ness K. D., Masquelier D. A., Belgrader P., Heredia N. J., Makarewicz A. J., et al. High-throughput droplet digital PCR system for absolute quantitation of DNA copy number // *Anal. Chem.* 2011. 83 (22), 8604–8610. URL: [https://doi.org/ 10.1021/ac202028g](https://doi.org/10.1021/ac202028g)
32. Hoshino T., Inagaki F. Molecular quantification of environmental DNA using microfluidics and digital PCR. *Syst. Appl. Microbiol.* 2012. 35 (6), 390–395. URL: [https://doi.org/ 10.1016/j.syapm.2012.06.006](https://doi.org/10.1016/j.syapm.2012.06.006).
33. Hugerth L. W., Andersson A. F. Analysing microbial community composition through amplicon sequencing: From sampling to hypothesis testing // *Front. Microbiol.* 2017. 8. URL: [https://doi.org/ 10.3389/fmicb.2017.01561](https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01561).
34. Ivanov A. V., Safenkova I. V., Zherdev A. V., Dzantiev B. B. The potential use of isothermal amplification assays for in-field diagnostics of plant pathogens // *Plants*. 2021. 10 (11), 2424. URL: [https://doi.org/ 10.3390/plants10112424](https://doi.org/10.3390/plants10112424).
35. Kaminski M. M., Abudayyeh O. O., Gootenberg J. S., Zhang F., Collins J. J. CRISPR-based diagnostics // *Nat. Biomed. Eng.* 2021. 5 (7). URL: [https://doi.org/ 10.1038/s41551-021-00760-7](https://doi.org/10.1038/s41551-021-00760-7).
36. Kohn B. LISTERIA detection by commercial immunomagnetic particle-based assays // *Encyclopedia of food microbiology*. Ed. Robinson, R. K. (Elsevier). 1999. 1222–1228. URL: [https://doi.org/ 10.1006/rwfm.1999.0960](https://doi.org/10.1006/rwfm.1999.0960).
37. Kralik P., Ricchi M. A basic guide to real time PCR in microbial diagnostics: Definitions, parameters, and everything // *Front. Microbiol.* 2017. 8. URL: [https://doi.org/ 10.3389/fmicb.2017.00108](https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00108).
38. Lau H. Y., Botella J. R. Advanced DNA-based point-of-Care diagnostic methods for plant diseases detection // *Front. Plant Sci.* 2017. 8. URL: [https://doi.org/ 10.3389/fpls.2017.02016](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02016)
39. Li J., Macdonald J., Von S. F. Review: A comprehensive summary of a decade development of the recombinase polymerase amplification // *Analyst*. 2018. 144 (1), 31–67. URL: [https://doi.org/ 10.1039/C8AN01621F](https://doi.org/10.1039/C8AN01621F).
40. Lievens and Thomma. Recent developments in pathogen detection arrays: Implications for fungal plant pathogens // *European Journal of Plant Pathology*. 2005. 113, 75–89. URL: [https://doi.org/ 10.1007/s10658-005-0425-5](https://doi.org/10.1007/s10658-005-0425-5).
41. Virol. Methods. 2014.204, 105–108. URL: [https://doi.org/ 10.1016/j.jviromet.2014.02.031](https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2014.02.031).
42. Liu H. Y., Hopping G. C., Vaidyanathan U., Ronquillo Y. C., Hoopes P. C., Moshirfar M. Polymerase chain reaction and its application in the diagnosis of infectious keratitis // *Med. Hypothesis Discovery Innovation Ophthalmol.* 2019. 8 (3), 152–155.
43. Liu J., Li C., Muhae-Ud-Din G., Liu T., Chen W., Zhang J., et al. Development of the Droplet Digital PCR to Detect the Teliospores of *Tilletia controversa* Kühn in the Soil with Greatly Enhanced Sensitivity // *Front. Microbiol.* 2020. 11, 4. URL: [https://doi.org/ 10.3389/fmicb.2020.00004](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00004).
44. Lobato I. M., O'Sullivan C. K. Recombinase polymerase amplification: Basics, applications and recent advances. *TrAC // Trends Anal. Chem.* 2018. 98, 19–35. URL: [https://doi.org/ 10.1016/j.trac.2017.10.015](https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.10.015).
45. Loit K., Adamson K., Bahram M., Puusepp R., Anslan S., Kiiker R., et al. Relative performance of MinION (Oxford nanopore technologies) versus sequel (Pacific biosciences) third-generation sequencing instruments in identification of agricultural and forest fungal pathogens // *Appl. Environ. Microbiol.* 2019. 85 (21), e01368–e01319. URL: [https://doi.org/ 10.1128/AEM.01368-19](https://doi.org/10.1128/AEM.01368-19).

in the Soil With Greatly Enhanced Sensitivity // *Front. Microbiol.* 2020. 11, 4. URL: [https://doi.org/ 10.3389/fmicb.2020.00004](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00004).

44. Lobato I. M., O'Sullivan C. K. Recombinase polymerase amplification: Basics, applications and recent advances. *TrAC // Trends Anal. Chem.* 2018. 98, 19–35. URL: [https://doi.org/ 10.1016/j.trac.2017.10.015](https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.10.015).

45. Loit K., Adamson K., Bahram M., Puusepp R., Anslan S., Kiiker R., et al. Relative performance of MinION (Oxford nanopore technologies) versus sequel (Pacific biosciences) third-generation sequencing instruments in identification of agricultural and forest fungal pathogens // *Appl. Environ. Microbiol.* 2019. 85 (21), e01368–e01319. URL: [https://doi.org/ 10.1128/AEM.01368-19](https://doi.org/10.1128/AEM.01368-19).

46. López M. M., Bertolini E., Olmos A., Caruso P., Gorri, M. T., Llop P., et al. Innovative tools for detection of plant pathogenic viruses and bacteria // *Int. Microbiol.* 2003. 6 (4), 233–243. URL: [https://doi.org/ 10.1007/s10123-003-0143-y](https://doi.org/10.1007/s10123-003-0143-y).

47. López M., Llop P., Olmos A., Marco-Noales E., Cambra M., Bertolini E. Are molecular tools solving the challenges posed by detection of plant pathogenic bacteria and viruses? // *Curr. Issues Mol. Biol.* 2009. 11, 13–46. URL: [https://doi.org/ 10.21775/cimb.011.013](https://doi.org/10.21775/cimb.011.013).

48. Mandal et al. Recent advances in molecular diagnostics of fungal plant pathogens: A mini-review // *World Journal of Microbiology and Biotechnology.* 2011. 27, 1773–1780. URL: [https://doi.org/ 10.1007/s11274-010-0636-8](https://doi.org/10.1007/s11274-010-0636-8).

49. Marc Venbrux, Sam Crauwels, Hans Rediers Current and emerging trends in techniques for plant pathogen detection *Front Plant Sci.* 2023 May 8;14:1120968. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1120968>

50. Martinelli et al. Advanced methods of plant disease detection. A review // *Agronomy for Sustainable Development.* 2015. 35, 1–25, URL: [https://doi.org/ 10.1007/s13593-014-0246-1](https://doi.org/10.1007/s13593-014-0246-1).

51. Maurer J. J. Rapid detection and limitations of molecular techniques // *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2011. 2 (1), 259–279. URL: [https://doi.org/ 10.1146/annurev.food.080708.100730](https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100730).

52. Mehetre G. T., Leo V. V., Singh G., Sorokan A., Maksimov I., Yadav M. K., et al. Current developments and challenges in plant viral diagnostics: A systematic review // *Viruses.* 2021. 13 (3), 412. URL: [https://doi.org/ 10.3390/v13030412](https://doi.org/10.3390/v13030412).

53. Mirmajlessi S. M., Loit E., Mänd M., Mansouripour S. M. Real-time PCR applied to study on plant pathogens: potential applications in diagnosis – a review // *Plant protection Science.* 2015. 15, 177–190. URL: [https://doi.org/ 10.17221/104/2014-PPS](https://doi.org/10.17221/104/2014-PPS).

54. Mori Y., Nagamine K., Tomita N., Notomi T. Detection of loop-mediated isothermal amplification reaction by turbidity derived from magnesium pyrophosphate formation // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2001. 289 (1), 150–154. URL: [https://doi.org/ 10.1006/bbrc.2001.5921](https://doi.org/10.1006/bbrc.2001.5921).

55. Narayanasamy P. // *Microbial plant pathogens-detection and disease diagnosis* (Springer Netherlands), 2011. pp 5–199. URL: [https://doi.org/ 10.1007/978-90-481-9735-4](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9735-4).

56. Nikitinskaya E., Nikitinskiy D., Ivanova E., Ignatov A. Detection of viral infection using new generation sequencing technology in poultry farms of the Russian Federation // *Veterinariya, Zootekhniya*

46. López M. M., Bertolini E., Olmos A., Caruso P., Gorri, M. T., Llop P., et al. Innovative tools for detection of plant pathogenic viruses and bacteria // *Int. Microbiol.* 2003. 6 (4), 233–243. URL: [https://doi.org/ 10.1007/s10123-003-0143-y](https://doi.org/10.1007/s10123-003-0143-y).

47. López M., Llop P., Olmos A., Marco-Noales E., Cambra M., Bertolini E. Are molecular tools solving the challenges posed by detection of plant pathogenic bacteria and viruses? // *Curr. Issues Mol. Biol.* 2009. 11, 13–46. URL: [https://doi.org/ 10.21775/cimb.011.013](https://doi.org/10.21775/cimb.011.013).

48. Mandal et al. Recent advances in molecular diagnostics of fungal plant pathogens: A mini-review // *World Journal of Microbiology and Biotechnology.* 2011. 27, 1773–1780. URL: [https://doi.org/ 10.1007/s11274-010-0636-8](https://doi.org/10.1007/s11274-010-0636-8).

49. Marc Venbrux, Sam Crauwels, Hans Rediers Current and emerging trends in techniques for plant pathogen detection *Front Plant Sci.* 2023 May 8;14:1120968. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1120968>

50. Martinelli et al. Advanced methods of plant disease detection. A review // *Agronomy for Sustainable Development.* 2015. 35, 1–25, URL: [https://doi.org/ 10.1007/s13593-014-0246-1](https://doi.org/10.1007/s13593-014-0246-1).

51. Maurer J. J. Rapid detection and limitations of molecular techniques // *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2011. 2 (1), 259–279. URL: [https://doi.org/ 10.1146/annurev.food.080708.100730](https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100730).

52. Mehetre G. T., Leo V. V., Singh G., Sorokan A., Maksimov I., Yadav M. K., et al. Current developments and challenges in plant viral diagnostics: A systematic review // *Viruses.* 2021. 13 (3), 412. URL: [https://doi.org/ 10.3390/v13030412](https://doi.org/10.3390/v13030412).

53. Mirmajlessi S. M., Loit E., Mänd M., Mansouripour S. M. Real-time PCR applied to study on plant pathogens: potential applications in diagnosis – a review // *Plant protection Science.* 2015. 15, 177–190. URL: [https://doi.org/ 10.17221/104/2014-PPS](https://doi.org/10.17221/104/2014-PPS).

54. Mori Y., Nagamine K., Tomita N., Notomi T. Detection of loop-mediated isothermal amplification reaction by turbidity derived from magnesium pyrophosphate formation // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2001. 289 (1), 150–154. URL: [https://doi.org/ 10.1006/bbrc.2001.5921](https://doi.org/10.1006/bbrc.2001.5921).

55. Narayanasamy P. // *Microbial plant pathogens-detection and disease diagnosis* (Springer Netherlands), 2011. pp 5–199. URL: [https://doi.org/ 10.1007/978-90-481-9735-4](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9735-4).

56. Nikitinskaya E., Nikitinskiy D., Ivanova E., Ignatov A. Detection of viral infection using new generation sequencing technology in poultry farms of the Russian Federation // *Veterinariya, Zootekhniya i Biotehnologiya.* 2024.10. URL: [https://doi.org/ 10.36871/vet.zoo.bio.202410014](https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202410014)

57. Piepenburg O., Williams C. H., Stemple D. L., Armes N. A. DNA Detection using recombination proteins // *PLoS Biol.* 2006. 4 (7), e204. URL: [https://doi.org/ 10.1371/journal.pbio.0040204](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040204).

58. Piombo E., Abdelfattah A., Droby S., Wisniewski M., Spadaro D., Schena L. Metagenomics approaches for the detection and surveillance

i Biotekhnologiya. 2024.10.URL:<https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202410014>

57. Piepenburg O., Williams C. H., Stemple D. L., Armes N. A. DNA Detection using recombination proteins // *PloS Biol.* 2006. 4 (7), e204. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040204>.

58. Piombo E., Abdelfattah A., Droby S., Wisniewski M., Spadaro D., Schena L. Metagenomics approaches for the detection and surveillance of emerging and recurrent plant pathogens // *Microorganisms*. 2021. 9 (1). URL: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010188>.

59. Postollec F., Falentin H., Pavan S., Combrisson J., Sohier D. Recent advances in quantitative PCR (qPCR) applications in food microbiology // *Food Microbiol.* 2011. 28 (5), 848–861. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.02.008>.

60. Quince C., Walker A. W., Simpson J. T., Loman N. J., Segata N. Shotgun metagenomics, from sampling to analysis // *Nat. Biotechnol.* 2017. 35 (9). URL: <https://doi.org/10.1038/nbt.3935>.

61. Rajagopal A., Yurk D., Shin C., Menge K., Jacky L., Fraser S., et al. Significant expansion of real-time PCR multiplexing with traditional chemistries using amplitude modulation // *Sci. Rep.* 2019. 9 (1). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37732-y>.

62. Reller L. B., Weinstein M. P., Petti C. A. Detection and identification of microorganisms by gene amplification and sequencing // *Clin. Infect. Dis.* 2007. 44 (8), 1108–1114. URL: <https://doi.org/10.1086/512818>.

63. Riley M., Williamson M., Maloy O. Plant disease diagnosis // *Plant Health Instructor*. 2002. URL: <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2002-1021-01>.

64. Roossinck M. J., Martin D. P., Roumagnac P. Plant virus metagenomics: Advances in virus discovery // *Phytopathology*®. 2015. 105 (6), 716–727. URL: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-14-0356-RVW>.

65. Schaad N. W., Frederick R. D., Shaw J., Schneider W. L., Hickson R., Petrillo M. D., et al. Advances in molecular-based diagnostics in meeting crop biosecurity and phytosanitary issues // *Annu. Rev. Phytopathol.* 2003. 41 (1), 305–324. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.41.052002.095435>.

66. Sharpton T. J. An introduction to the analysis of shotgun metagenomic data // *Front. Plant Sci.* 2014. 5. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00209>.

67. Shen C.-H. “Chapter 9—amplification of nucleic acids,” in *Diagnostic molecular biology*. Ed. Shen C.-H. (Academic Press). 2019. 215–247. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802823-0.00009-2>.

68. Simon G., Edwards, John O’Callaghan, Alan D.W.Dobson. PCR-based detection and quantification of mycotoxigenic fungi // *Mycological Research*. 2002. 106 (9), Pages 1005–1025. URL: <https://doi.org/10.1017/S0953756202006354>

69. Singh A., Jones S., Ganapathysubramanian B., Sarkar S., Mueller D., Sandhu K., et al. Challenges and opportunities in machine-augmented plant stress phenotyping. // *Trends Plant Sci.* 2021. 26 (1), 53–69. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.07.010>.

70. Slovareva O., Desyaterik A., Domoratskaya D. PCR IDENTIFICATION PSEUDOMONAS FUSCOVAGINAE, A PATHOGEN OF CEREAL CROPS // *Risovodstvo*. 2024. 23, 1(62), 27–35. URL: <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2024-62-1-27-35>

71. Tanner F., Tonn S., de Wit J., Van den Ackerveken G., Berger B., Plett D. Sensor-based phenotyping of above-ground plant-pathogen interactions // *Plant*

of emerging and recurrent plant pathogens // *Microorganisms*. 2021. 9 (1). URL: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010188>.

59. Postollec F., Falentin H., Pavan S., Combrisson J., Sohier D. Recent advances in quantitative PCR (qPCR) applications in food microbiology // *Food Microbiol.* 2011. 28 (5), 848–861. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.02.008>.

60. Quince C., Walker A. W., Simpson J. T., Loman N. J., Segata N. Shotgun metagenomics, from sampling to analysis // *Nat. Biotechnol.* 2017. 35 (9). URL: <https://doi.org/10.1038/nbt.3935>.

61. Rajagopal A., Yurk D., Shin C., Menge K., Jacky L., Fraser S., et al. Significant expansion of real-time PCR multiplexing with traditional chemistries using amplitude modulation // *Sci. Rep.* 2019. 9 (1). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37732-y>.

62. Reller L. B., Weinstein M. P., Petti C. A. Detection and identification of microorganisms by gene amplification and sequencing // *Clin. Infect. Dis.* 2007. 44 (8), 1108–1114. URL: <https://doi.org/10.1086/512818>.

63. Riley M., Williamson M., Maloy O. Plant disease diagnosis // *Plant Health Instructor*. 2002. URL: <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2002-1021-01>.

64. Roossinck M. J., Martin D. P., Roumagnac P. Plant virus metagenomics: Advances in virus discovery // *Phytopathology*®. 2015. 105 (6), 716–727. URL: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-14-0356-RVW>.

65. Schaad N. W., Frederick R. D., Shaw J., Schneider W. L., Hickson R., Petrillo M. D., et al. Advances in molecular-based diagnostics in meeting crop biosecurity and phytosanitary issues // *Annu. Rev. Phytopathol.* 2003. 41 (1), 305–324. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.41.052002.095435>.

66. Sharpton T. J. An introduction to the analysis of shotgun metagenomic data // *Front. Plant Sci.* 2014. 5. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00209>.

67. Shen C.-H. “Chapter 9—amplification of nucleic acids,” in *Diagnostic molecular biology*. Ed. Shen C.-H. (Academic Press). 2019. 215–247. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802823-0.00009-2>.

68. Simon G., Edwards, John O’Callaghan, Alan D.W.Dobson. PCR-based detection and quantification of mycotoxigenic fungi // *Mycological Research*. 2002. 106 (9), Pages 1005–1025. URL: <https://doi.org/10.1017/S0953756202006354>

69. Singh A., Jones S., Ganapathysubramanian B., Sarkar S., Mueller D., Sandhu K., et al. Challenges and opportunities in machine-augmented plant stress phenotyping. // *Trends Plant Sci.* 2021. 26 (1), 53–69. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.07.010>.

70. Slovareva O., Desyaterik A., Domoratskaya D. PCR IDENTIFICATION PSEUDOMONAS FUSCOVAGINAE, A PATHOGEN OF CEREAL CROPS // *Risovodstvo*. 2024. 23, 1(62), 27–35. URL: <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2024-62-1-27-35>

71. Tanner F., Tonn S., de Wit J., Van den Ackerveken G., Berger B., Plett D. Sensor-based phenotyping of above-ground plant-pathogen interactions // *Plant Methods*. 2022. 18 (1), 35. URL: <https://doi.org/10.1186/s13007-022-00853-7>.

Methods. 2022. 18 (1), 35. URL: <https://doi.org/10.1186/s13007-022-00853-7>.

72. Taylor S. C., Laperriere G., Germain H. Drop-let digital PCR versus qPCR for gene expression analysis with low abundant targets: From variable nonsense to publication quality data // *Sci. Rep.* 2017. 7 (1). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02217-x>.

73. Tewari D., Cieply S., Livengood J. Identification of bacteria recovered from animals using the 16S ribosomal RNA gene with pyrosequencing and Sanger sequencing // *J. Vet. Diagn. Invest.* 2011. 23 (6), 1104–1108. URL: <https://doi.org/10.1177/1040638711425583>.

74. Thies J. Chapter 6 – Molecular Approaches to Studying the Soil Biota. In Eldor Paul A. Ed // *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry (Fourth Edition)*. (Academic Press). 2015. 151–185. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415955-6.00006-2>.

75. Toh S. Y., Citartan M., Gopinath S. C. B., Tang T.-H. Aptamers as a replacement for antibodies in enzyme-linked immunosorbent assay // *Biosensors Bioelectron.* 2015. 64, 392–403. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.09.026>.

76. Välimaa A.-L., Tilsala-Timisjärvi A., Virtanen E. Rapid detection and identification methods for listeria monocytogenes in the food chain – a review // *Food Control* 2015. 55, 103–114. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.02.037>.

77. Wang X., Shang X., Huang X. Next-generation pathogen diagnosis with CRISPR/Cas-based detection methods // *Emerging Microbes Infect.* 2020. 9 (1), 1682–1691. URL: <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1793689>.

78. Ward E., Foster S. J., Fraaije B. A., McCartney H. A. Plant pathogen diagnostics: Immunological and nucleic acid-based approaches // *Ann. Appl. Biol.* 2004. 145 (1), 1–16. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00354.x>.

79. Zhao X., Lin C.-W., Wang J., Oh D. H. Advances in rapid detection methods for foodborne pathogens // *J. Microbiol. Biotechnol.* 2014. 24 (3), 297–312. URL: <https://doi.org/10.4014/jmb.1310.10013>.

80. Zhao Y., Xia Q., Yin Y., Wang Z. Comparison of droplet digital PCR and quantitative PCR assays for quantitative detection of *Xanthomonas citri* subsp. *Citri* // *PloS One*. 2016. 11 (7), e0159004. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159004>.

81. Zubler and Yoon. Proximal Methods for Plant Disease Detection Using Hyperspectral Imaging // *Mol Remote Sensing*. 2020. 12, 3539. URL: <https://doi.org/10.3390/rs12213539>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Никитинский Денис Александрович, младший научный сотрудник-начальник ЦКП «Молекулярная генетика» ФГБУ «ВНИИГР», р. п. Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; *ORCID: 0009-0009-1679-9893*, *e-mail: denpreffect@gmail.com*

Никитинская Екатерина Вадимовна, младший научный сотрудник ЦКП «Молекулярная генетика» ФГБУ «ВНИИГР», р. п. Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; *ORCID: 0009-0002-0991-9841*, *e-mail: nikitinskajacat@yandex.ru*

72. Taylor S. C., Laperriere G., Germain H. Drop-let digital PCR versus qPCR for gene expression analysis with low abundant targets: From variable nonsense to publication quality data // *Sci. Rep.* 2017. 7 (1). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02217-x>.

73. Tewari D., Cieply S., Livengood J. Identification of bacteria recovered from animals using the 16S ribosomal RNA gene with pyrosequencing and Sanger sequencing // *J. Vet. Diagn. Invest.* 2011. 23 (6), 1104–1108. URL: <https://doi.org/10.1177/1040638711425583>.

74. Thies J. Chapter 6 – Molecular Approaches to Studying the Soil Biota. In Eldor Paul A. Ed // *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry (Fourth Edition)*. (Academic Press). 2015. 151–185. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415955-6.00006-2>.

75. Toh S. Y., Citartan M., Gopinath S. C. B., Tang T.-H. Aptamers as a replacement for antibodies in enzyme-linked immunosorbent assay // *Biosensors Bioelectron.* 2015. 64, 392–403. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.09.026>.

76. Välimaa A.-L., Tilsala-Timisjärvi A., Virtanen E. Rapid detection and identification methods for listeria monocytogenes in the food chain – a review // *Food Control* 2015. 55, 103–114. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.02.037>.

77. Wang X., Shang X., Huang X. Next-generation pathogen diagnosis with CRISPR/Cas-based detection methods // *Emerging Microbes Infect.* 2020. 9 (1), 1682–1691. URL: <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1793689>.

78. Ward E., Foster S. J., Fraaije B. A., McCartney H. A. Plant pathogen diagnostics: Immunological and nucleic acid-based approaches // *Ann. Appl. Biol.* 2004. 145 (1), 1–16. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00354.x>.

79. Zhao X., Lin C.-W., Wang J., Oh D. H. Advances in rapid detection methods for foodborne pathogens // *J. Microbiol. Biotechnol.* 2014. 24 (3), 297–312. URL: <https://doi.org/10.4014/jmb.1310.10013>.

80. Zhao Y., Xia Q., Yin Y., Wang Z. Comparison of droplet digital PCR and quantitative PCR assays for quantitative detection of *Xanthomonas citri* subsp. *Citri* // *PloS One*. 2016. 11 (7), e0159004. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159004>.

81. Zubler and Yoon. Proximal Methods for Plant Disease Detection Using Hyperspectral Imaging // *Mol Remote Sensing*. 2020. 12, 3539. URL: <https://doi.org/10.3390/rs12213539>.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Denis Nikitinsky, Junior Researcher, Head of the Resource Sharing Center “Molecular Genetics”, FGBU “VNIIGR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; *ORCID: 0009-0009-1679-9893*, *e-mail: denpreffect@gmail.com*

Ekaterina Nikitinskaya, Junior Researcher, Specialist of the Resource Sharing Center “Molecular Genetics”, FGBU “VNIIGR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; *ORCID: 0009-0002-0991-9841*, *e-mail: nikitinskajacat@yandex.ru*

*Жить стоит лишь тогда, когда работаешь,
а если не работать, то не стоит и жить.*

Н. Н. Бурденко

Якову Борисовичу Мордковичу – 90 лет!

В 1962 г. (более 63 лет назад) в Центральную карантинную лабораторию (ЦКЛ) на должность агронома отдела токсикологии был принят выпускник Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева Яков Борисович Мордкович.

С тех пор менялись названия и статус ЦКЛ, теперь она стала Всероссийским центром карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»). Но Яков Борисович не менял ни место работы, ни выбранной специализации – обеззараживание подкарантинной продукции и подкарантинных объектов стало делом его жизни. Он и сейчас работает во Всероссийском центре карантина растений в должности ведущего научного сотрудника отдела обеззараживания.

Яков Борисович – талантливый ученый. Все разработки, связанные с совершенствованием технологии обеззараживания, испытания препаратов, внедрения методов контроля, обеспечения безопасности, осуществлялись при его активном участии.

Его перу принадлежат десятки руководств и инструкций, множество патентов, книг, сотни статей. Он участник ряда зарубежных экспедиций, в ходе которых в условиях морских перевозок проверялись режимы обеззараживания подкарантинных грузов.

С 1964 г. Яков Борисович преподает на курсах повышения квалификации специалистов в сфере карантинного фитосанитарного обеззараживания. Его ученики работают на всей территории Российской Федерации. Они по-прежнему обращаются к своему Учителю в случае каких-либо затруднений.

Яков Борисович одинаково увлекательно и доходчиво может рассказать и о серьезной научной проблеме, и о своих впечатлениях



о поездке в интересную страну. Пишет стихи, умеет быть душой коллектива. И не верится, что этому энергичному человеку уже 90 лет.

**Поздравляем Якова Борисовича
с юбилеем, желаем ему здоровья
и творческого долголетия!**

Коллектив ФГБУ «ВНИИКР»



Здесь может быть ваша статья!

Журнал «Фитосанитария. Карантин растений» приглашает авторов для публикации своих научных работ

Your article can be here!

The journal "Plant Health and Quarantine" invites authors to publish their research papers

Scan for further information →



Редакция журнала «Фитосанитария. Карантин растений» рада предложить вам возможность публикации ваших статей на страницах журнала. Наша цель – привлечение внимания к наиболее актуальным проблемам карантина растений специалистов сельского хозяйства и всех заинтересованных в этом людей.

В журнале рассматриваются основные направления развития науки и передового опыта в области карантина и защиты растений, публикуется важная информация о новых методах и средствах, применяемых как в России, так и за рубежом, а также о фитосанитарном состоянии территории Российской Федерации.

Мы доносим до широкого круга читателей объективную научно-просветительскую и аналитическую информацию: мнения ведущих специалистов по наиболее принципиальным вопросам карантина растений, данные о значимых новейших зарубежных и отечественных исследованиях, материалы тематических конференций.

Редакция журнала «Фитосанитария. Карантин растений» приглашает к сотрудничеству как выдающихся деятелей науки, так и молодых ученых, специалистов-практиков, работающих в области фитосанитарии, для обмена опытом, обеспечения устойчивого фитосанитарного благополучия и для новых научных дискуссий.

ЗАДАЧИ ЖУРНАЛА

- Изучение основных тенденций развития науки в области карантина растений
- Анализ широкого круга передовых технологий в области мониторинга и лабораторных исследований по карантину растений
- Обсуждение актуальных вопросов карантина растений

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫМ СТАТЬЯМ

К публикации принимаются статьи на двух языках: русском и английском, содержащие результаты собственных научных исследований, объемом до 15 страниц, но не менее 3 (при одинарном интервале и размере шрифта 12). Оптимальный объем статьи – от 1500 слов. Статьи большего объема могут быть приняты по согласованию с редакцией журнала.

СТРУКТУРА ПРЕДОСТАВЛЯЕМОЙ СТАТЬИ*

1. УДК, название статьи.
2. Инициалы, фамилия автора.
3. Место работы автора, город, страна, ORCID ID, адрес электронной почты.
4. Аннотация (краткое точное изложение содержания статьи, включающее фактические сведения и выводы описываемой работы): 200–250 слов, но не более 2000 знаков с пробелами.
5. Ключевые слова (5–10 слов, словосочетаний), наиболее точно отображающие специфику статьи.
6. Введение.
7. Материалы и методы.
8. Результаты и обсуждения.
9. Выводы/заключение.
10. Список литературы (т. е. список всей использованной литературы, ссылки на которую даются в самом тексте статьи): правила составления направляются автору по запросу.
11. Информация об авторах: приводится полная информация о каждом из авторов (место работы, город, страна, ORCID ID, адрес электронной почты).
12. Иллюстративные материалы (фотографии, рисунки) допускаются хорошей контрастности, с разрешением не ниже 300 точек на дюйм (300 dpi), оригиналы прикладываются к статье отдельными файлами в формате .tiff или .jpeg (иллюстрации, не соответствующие требованиям, будут исключены из статей, поскольку достоверное их воспроизведение типографским способом невозможно). Необходимо указать авторство каждой фотографии (Ф. И. О. фотографа или ссылку).
13. В редакцию необходимо предоставить две рецензии на статью («внешнюю» и «внутреннюю»).

** В таком же порядке и структуре предоставляется англоязычный перевод статьи.*

Работа должна быть предоставлена в редакторе WORD, формат DOC, шрифт Times New Roman, размер шрифта – 12, межстрочный интервал – одинарный, размер полей – по 2 см, отступ в начале абзаца – 1 см, форматирование по ширине. Рисунки, таблицы, схемы, графики и пр. должны быть обязательно пронумерованы, иметь источники и помещаться на печатном поле страницы. Название таблицы – над таблицей; название рисунка/графика – под рисунком/графиком.

БОЛЕЕ ПОДРОБНЫЕ УСЛОВИЯ ПУБЛИКАЦИИ СТАТЕЙ ВЫ МОЖЕТЕ УЗНАТЬ В НАШЕЙ РЕДАКЦИИ:

Адрес: 140150, Россия, Московская область, г. о. Раменский, р. п. Быково, ул. Пограничная, д. 32

Контактное лицо: Зиновьева Светлана Георгиевна

Телефон: +7 499 707-22-27, e-mail: zinoveva-s@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»)



– Научное и методическое обеспечение деятельности Россельхознадзора, его территориальных управлений и подведомственных ему учреждений в сфере карантина и защиты растений

– Установление карантинного фитосанитарного состояния подкарантинных материалов и территории Российской Федерации путем проведения лабораторных экспертиз и мониторингов

– Научное сотрудничество с национальными и международными организациями в области карантина растений

- Ведущее учреждение в Российской Федерации по синтезу и применению феромонов для выявления карантинных и некарантинных вредителей и борьбы с ними
- ФГБУ «ВНИИКР» – партнер международной программы по координации научных исследований в области карантина растений EUPHRESKO II (European PHYtosanitary RESearch COordination)
- В ФГБУ «ВНИИКР» создан и действует Технический комитет по стандартизации ТК 42 «Карантин и защита растений»
- Ведущее научно-методическое учреждение в составе Координационного совета по карантину растений государств – участников СНГ
- Сеть филиалов на территории Российской Федерации
- Головное научно-методическое учреждение по реализации Плана первоочередных мероприятий, направленных на гармонизацию карантинных фитосанитарных мер государств – членов Таможенного союза

140150, Россия,
Московская область,
г. о. Раменский, р. п. Быково,
ул. Пограничная, д. 32

Тел./факс:
8 (499) 707-22-27

e-mail: vniikr@fsvps.gov.ru
<http://www.vniikr.ru>