

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-32-39>
УДК:635.25:631.524.86

С.А. Ветрова^{1*}, М.М. Марчева¹,
Т.М. Середин¹, А.В. Солдатенко¹,
И.А. Енгалычева¹, Л.В. Кривенков¹,
В.Б. Логунова¹, К.И. Дацюк¹, М.В. Каракай²

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБУ ФНЦО)
143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИССОК, Селекционная, д.14

²Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»)
140150, Россия, Московская область, Раменский район, пгт. Быково, д. 32

*Автор для переписки: lana-k2201@mail.ru

Вклад авторов: Ветрова С.А.: концепция, администрирование, планирование и проведение исследования, анализ данных, написание рукописи, иллюстрирование, редактирование рукописи. Марчева М.М.: обзор литературы, планирование и проведение исследования, написание рукописи, редактирование рукописи. Солдатенко А.В. и Середин Т.М.: научное руководство исследований, администрирование, редактирование рукописи. Енгалычева И.А.: концепция, проведение исследования, редактирование рукописи. Кривенков Л.В.: концепция, редактирование рукописи. Логунова В.Б.: редактирование рукописи. Дацюк К.И.: анализ литературных данных, написание рукописи. Каракай М.В.: анализ литературных данных, проведение исследований.

Конфликт интересов. Солдатенко А.В. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2017 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Финансирование исследований. Исследования выполнены по Государственному заданию FGGF-2025-0003, FGGF-2024-0010.

Для цитирования: Ветрова С.А., Марчева М.М., Середин Т.М., Солдатенко А.В., Енгалычева И.А., Кривенков Л.В., Логунова В.Б., Дацюк К.И., Каракай М.В. Выделение источников устойчивости лука репчатого (*Allium cepa* L.) к возбудителям фузариозной и бактериальной гнили. *Овощи России*, 2025;(5):32-39.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-32-39>

Поступила в редакцию: 27.09.2025

Принята к печати: 25.10.2025

Опубликована: 28.10.2025

Svetlana A. Vetrova^{1*}, Margarita M. Marcheva¹, Timofey M. Seredin¹, Alexey V. Soldatenko¹, Irina A. Engalycheva¹, Leonid V. Krivenkov¹, Valentina V. Logunova¹, Kseniya I. Datsyuk¹, Milena V. Karakay²

¹Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Vegetable Center» (FSBSI FSVC)
14, Selectsionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

²Federal State Budgetary Institution «All-Russian Plant Quarantine Centre» (FGBU VNIIKR)
32, Pogranichnaya str., Bykovo, Ramensky district, Moscow region, Russia, 140150

*Corresponding Author: lana-k2201@mail.ru

Authors' Contribution: Vetrova S.A.: concept, administration, planning and conducting the study, data analysis, manuscript writing, illustrations, manuscript editing. Marcheva M.M.: literature review, planning and conducting the study, manuscript writing, manuscript editing. Soldatenko A.V. and Seredin T.M.: research supervision, administration, manuscript editing. Engalycheva I.A.: concept, conducting the study, manuscript editing. Krivenkov L.V.: concept, manuscript editing. Logunova V.V.: manuscript editing. Datsyuk K.I.: literature analysis, manuscript writing. Karakay M.V.: literature analysis, conducting the study.

Funding. The research was carried out under State Contracts FGGF-2025-0003 and FGGF-2024-0010.

Conflict of interest. Soldatenko A.V. has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2017, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

For citation: Vetrova S.A., Marcheva M.M., Seredin T.M., Soldatenko A.V., Engalycheva I.A., Krivenkov L.V., Logunova V.V., Datsyuk K.I., Karakay M.V. Identifying sources of resistance to fusarium and bacterial rot in onions (*Allium cepa* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2025;(5):32-39. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-32-39>

Received: 27.09.2025

Accepted for publication: 25.10.2025

Published: 28.10.2025

Check for updates

Выделение источников устойчивости лука репчатого (*Allium cepa* L.) к возбудителям фузариозной и бактериальной гнили



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В селекции лука репчатого приоритетным направлением является создание межлинейных гибридов на основе цитоплазматической мужской стерильности, для получения которых необходимо создать фонд инбредных линий, характеризующихся высокой комбинационной способностью по комплексу хозяйственно ценных признаков, устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам. Наиболее вредоносными болезнями лука репчатого являются фузариоз и бактериоз с потерей урожая от 40 % и более.

Цель исследований – провести оценку родительских линий и гибридных комбинаций на их основе по устойчивости к аборигенным штаммам возбудителей фузариозной и бактериальной гнили.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2022–2024 годах в ФГБНУ ФНЦО в Одинцовском районе Московской области. Проанализировано 12 селекционных линий и девять гибридных комбинаций лука репчатого. Лук репчатый выращивали через рассаду в селекционном и гибридном питомниках согласно общепринятым методикам. Оценку устойчивости исследуемых образцов к фузариозу и бактериозу проводили с применением фитопатологических методов селекций.

Результаты. Установлено, что в условиях вегетации Московской области основу пато-комплекса смешанной гнили лука составляли *Fusarium* spp. и *Pseudomonas* spp., в условиях хранения – *Fusarium* spp., *Penicill* spp., *Botrytis* spp., *Aspergillus* spp., *Pseudomonas* spp. Иммунологическая оценка родительских линий по устойчивости к фузариозной и бактериальной гнили позволила выделить две материнские стерильные линии «А» и пять отцовских fertильных линий «С» с невысоким индексом поражения в условиях естественного инфекционного фона ($I=0,5-1,5$). Включение данных линий в селекционный процесс позволило получить две гибридные комбинации (10/22 и 20/22) с групповой устойчивостью к аборигенным штаммам фузариоза (*F. acuminatum* и *F. annulatum*) с $Vn=0,472$ мм³, две (7/22 и 10/22) – с групповой устойчивостью к возбудителям бактериальной гнили с $Vn=0,514$ мм³. Источниками устойчивости к высокоагрессивным штаммам *P. marginalis* являются гибридные комбинации 3/22 и 4/22 ($Vn=40-472$ мм³), *P. fluorescens* – 7/22 и 22/22 ($Vn=0,371$ мм³). В комбинациях 11/22, 19/22 и 10/22 отмечено сверхдоминирование относительно лучшего родителя по сохранности луковиц во время хранения (эффект гетерозиса 8,3-30,5%). Перспективные устойчивые линии и гибридные комбинации включены в селекционную программу по созданию отечественных конкурентоспособных гетерозисных гибридов лука репчатого.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лук репчатый (*Allium cepa* L.), родительские линии, гибрид, устойчивость, бактериоз, фузариоз

Identifying sources of resistance to fusariosis and bacterial rot in onions (*Allium cepa* L.)

ABSTRACT

Relevance. In onion breeding, the priority is the development of interline hybrids based on cytoplasmic male sterility. To obtain these hybrids, it is necessary to develop a pool of inbred lines characterized by high combining ability across a range of economically valuable traits and resistance to biotic and abiotic factors. The most damaging diseases of onions are Fusarium wilt and bacterial wilt, which can cause yield losses of 40% or more.

The aim of the research. To evaluate parental lines and hybrid combinations based on them for resistance to native strains of Fusarium and bacterial rot pathogens.

Materials and Methods. The study was conducted from 2022 to 2024 at the FSBSI FSVC in the Odintsovo District of the Moscow Region. Twelve onion breeding lines and nine hybrid combinations were analyzed. The onions were grown from seedlings in breeding and hybrid nurseries according to generally accepted methods. The resistance of the studied samples to Fusarium and bacterial rot was assessed using phytopathological selection methods.

Results. It was established that under the vegetation conditions of the Moscow region, the basis of the pathocomplex of mixed rot of onions consisted of *Fusarium* spp. and *Pseudomonas* spp., while under storage conditions – *Fusarium* spp., *Penicill* spp., *Botrytis* spp., *Aspergillus* spp., *Pseudomonas* spp. Immunological assessment of parental lines for resistance to fusarium and bacterial rot allowed us to isolate two maternal sterile lines «A» and five paternal fertile lines «C» with a low damage index under natural infectious background conditions ($I=0,5-1,5$). Inclusion of these lines in the selection process made it possible to obtain two hybrid combinations (10/22 and 20/22) with group resistance to native strains of fusarium (*F. acuminatum* and *F. annulatum*) with $Vn=0,472$ mm³; two (7/22 and 10/22) – with group resistance to bacterial rot pathogens with $Vn=0,514$ mm³. The sources of resistance to highly aggressive strains of *P. marginalis* are hybrid combinations 3/22 and 4/22 ($Vn=40-472$ mm³), *P. fluorescens* – 7/22 and 22/22 ($Vn=0,371$ mm³). In the 11/22, 19/22, and 10/22 combinations, overdominance was observed relative to the best parent in terms of bulb survival during storage (heterosis effect of 8,3-30,5%). Promising resistant lines and hybrid combinations have been included in the breeding program for the development of domestic competitive heterotic onion hybrids.

KEYWORDS:

onion, *Allium cepa* L., parental lines, hybrid, resistance, bacteriosis, fusarium

Введение

Лук репчатый (*Allium cepa* L.) занимает одно из ведущих мест среди овощных культур по распространению и хозяйственному значению в Российской Федерации и в зарубежных странах. Лук репчатый является незаменимым компонентом в рациональном питании человека и употребляется как в свежем, так и в переработанном виде. Питательная ценность лука определяется наличием в его составе незаменимых аминокислот, сахаров, белков, солей кальция, калия, фосфора, железа, цинка, натрия, витаминов А, В₁, В₂, РР, большого количества аскорбиновой кислоты. Благодаря ряду нутриентов, входящих в его состав, лук обладает бактерицидным действием, подавляющим размножение возбудителей болезней человека [1-4].

В связи с интенсификацией отрасли овощеводства потребительский спрос на новые высокопродуктивные сорта и гибриды лука репчатого, как в личных подсобных хозяйствах, так и в промышленном секторе, постоянно растет. С начала 2000-х годов в селекции лука репчатого приоритетным направлением является создание высокоурожайных, устойчивых к абиотическим и биотическим стрессорам межлинейных гибридов на основе цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС), что служит резервом повышения продуктивности, а также обеспечивает защиту авторских прав оригинара [5]. Однако в государственном реестре селекционных достижений гибридные сорта лука репчатого отечественной селекции занимают незначительную долю (19 %) от числа зарегистрированных (всего 208 гибридов), уступая иностранным гибридам по занимаемым площадям [6]. Производители овощной продукции отдают предпочтение иностранным гибридам, которые зачастую являются восприимчивыми к аборигенным расам фитопатогенов и для реализации своего продуктивного потенциала требуют включения в технологический процесс многочисленных обработок пестицидами. При употреблении в пищу таких овощей, в организм человека вместе с полезными веществами поступают нитраты и пестициды, которые негативно влияют на продолжительность жизни, провоцируют болезни эндокринной системы, легких, сердца, снижают иммунитет. Получение высоких стабильных урожаев лука репчатого с минимальной пестицидной нагрузкой для круглогодичного потребления в пищу, возможно при условии возделывания конкурентоспособных гетерозисных гибридов, устойчивых к болезням вегетации и хранения, при минимальном экономически оправданном применении пестицидов [7]. Для получения таких гибридов необходимо создать фонд инбредных линий – родительских компонентов, полученных на основе перспективных сортовых и гибридных популяций, характеризующихся высокой комбинационной способностью по комплексу хозяйственно ценных признаков, в том числе устойчивостью к экономически значимым болезням вегетации и хранения.

Наиболее вредоносной и экономически значимой болезнью на луке репчатом как в условиях РФ, так и во многих странах мира, где сосредоточено производство лука, является фузариоз [4,7,8]. Различные виды патогенных грибов из рода *Fusarium* spp. способны поражать растения лука на разных стадиях онтогенеза, вызывая фузариозное увядание во время вегетации и фузариозную гниль при хранении [9,10]. При сильном развитии болезни во время вегетации отмечается хлороз, угнетение и отмирание листьев, ткань сочных чешуй луковиц становится мягкой, водянистой. При развитии болезни в период хранения пораженная луковица

полностью сгнивает или мумифицируется [11,12]. Сообщается, что потери урожая от фузариозного увядания во время вегетации составляют от 3% до 35% в зависимости от условий окружающей среды, сорта и количества инокулята. Наибольший ущерб от фузариоза наблюдается при хранении товарных луковиц и севка – до 40 и более % [13]. Наиболее распространенными и вредоносными возбудителями фузариозной гнили зарубежом являются *F. oxysporum* var. *serae*, *F. proliferatum*, *F. cultorum*, *F. solani*, *F. redolens* и др. [14, 15]. Коллективом ученых ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) было установлено, что в патокомплекс фузариозной гнили луковиц во время хранения в условиях Московской области входят четыре вида *Fusarium*: *F. annulatum*, *F. oxysporum*, *F. acuminatum* и *F. solani*. Впервые была продемонстрирована высокая агрессивность штаммов *F. annulatum* и *F. acuminatum* в отношении лука и способность вызывать фузариозную гниль на данной культуре [7].

Еще одной, не менее вредоносной болезнью лука репчатого, наносящей колоссальный ущерб при выращивании культуры и сохранении полученного урожая, является бактериоз [16]. Во время вегетации растений бактериальная гниль проявляется в виде хлороза листьев и цветоносов с размягчением и мацерацией ткани в области шейки с дальнейшим распространением на ткани луковицы [11, 12]. Во время хранения развитие болезни происходит от центра или периферии луковицы, в виде мокрой гнили с резким запахом на отдельных чешуях до загнивания всей луковицы, иногда без проявления внешних симптомов. На сегодняшний день известно, что 12 бактериальных патогенов, могут вызывать гниль луковиц на разных этапах онтогенеза. К числу наиболее вредоносных бактериальных патогенов относятся *Burkholderia cepacia*, *Pseudomonas marginalis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Enterobacter cloacae*, *Xanthomonas axonopodidis* pv. *Allii*, *Pectobacterium carotovorum*, *Dickeya chrysanthemi*, *Pantoea ananatis* и некоторые штаммы *Pantoea* [17]. В публикациях зарубежных исследователей сообщается, что очень часто во время хранения мягкая гниль луковиц бывает вызвана совокупным действием трех бактерий *Ps. marginalis*, *Ps. fluorescens* и *Pantoea agglomerans*, причем *Ps. marginalis* вызывает мягкую гниль на отдельных частях лука как при температуре 4°C, так и при температуре 25°C и является послеморождением патогеном, который не вызывает развитие бактериоза в полевых условиях на вегетирующих растениях, но представляет угрозу для свежих овощей, хранящихся при низкой температуре [18, 19].

Цель исследований – провести оценку родительских линий и гибридных комбинаций на их основе по устойчивости к аборигенным штаммам возбудителей фузариозной и бактериальной гнили.

Материалы и методы исследований

Объект исследований – лук репчатый. Материал исследований – вегетирующие растения и луковицы 12 селекционных линий (3 стерильных линии «А», 9 фертильных линий «С») и 9 гибридных комбинаций. Всего за годы исследований проанализировано около 150 вегетирующих растений и 500 луковиц после хранения.

Исследования проводили в 2022–2024 годах на базе лабораторий селекции и семеноводства луковых культур и молекуллярно-иммунологических исследований ФГБНУ ФНЦО в Одинцовском районе Московской области. Лук репчатый выращивали через рассаду в селекционном и гибрид-

ном питомниках в 2022 и 2023 годах на опытном поле основного севооборота согласно общепринятым методикам и технологическим картам, разработанным в ФГБНУ ФНЦО [12,20].

Почва опытного участка дерново-подзолистая тяжелосуглинистая с мощностью пахотного горизонта 20–23 см. Характеризуется следующими агрохимическими показателями: рНКCl – 5,6–6,1, содержание гумуса – 1,8–2,0%, подвижный фосфор (P_2O_5) – 420–480 мг/кг, обменный калий (K_2O) – 165 мг/кг, сумма обменных оснований (S) – 18,9 мг-экв./100 г.

Посев семян на рассаду проводили в третьей декаде марта в кассеты 8×8, посадку рассады – в открытый грунт во второй декаде мая. Рассаду высаживали на грядах по трехстрочной схеме 40+40+60 (рис. 1). При данной схеме на 1 м² размещается 42 растения. Площадь делянки под образцами варьировала в зависимости от наличия посадочного материала и составляла от 1 до 3 м² в двукратной повторности. Уборку лука проводили во второй декаде августа с учетом урожайности, массы товарной луковицы, поражения болезнями. Луковицы хранили с третьей декады августа по третью декаду апреля в пластиковых ящиках при температуре 2...6°C и относительной влажности воздуха 70%.

Мониторинг развития фузариоза и бактериоза проводили во время вегетации растений путем маршрутного обследования посадок лука и после хранения методом визуального осмотра луковиц изучаемых образцов. Поражение (I) вегетирующих растений и луковиц оценивали в соответствии с модифицированной семибалльной шкалой: 0 – отсутствие симптомов; 0,5 – поражено до 5% поверхности; 1 – поражено до 6-20%; 2 – поражено 21-50%; 3 – поражено 51-70%; 4 – поражено более 70% всей поверхности; 5 – луковица мумифицирована, листья полностью высохшие. В пределах каждого селекционного образца рассчитывали распространность (P, %) болезни по следующей формуле:

$$P = \frac{\text{число пораженных растений} (n)}{\text{общее число учетных растений} (N)} \times 100$$

При дифференциации селекционного материала по группам устойчивости использовали следующую градацию в зависимости от распространенности болезни в образце: У – устойчивые (P=0%), ОУ – относительно устойчивые (P=1–20%), СВ – средневосприимчивые (P=21–50%) и В – восприимчивые (P=51–100%).

Иммунологическую оценку устойчивости образцов к фузариозу и бактериозу проводили в 2023 и 2024 годах в пятикратной повторности, для чего использовали высокогрессивные типированные изоляты грибов (*Fusarium acuminatum* и *Fusarium annulatum*) и бактерий (*Pseudomonas marginalis* и *Pseudomonas fluorescens*) из коллекции лаборатории молекулярно-иммунологических исследований ФГБНУ ФНЦО. Для заражения использовали две наружные сочные чешуи, которые, не разделяя между собой, разрезали на одинаковые кусочки или целые луковицы. С внутренней стороны кусочка удаляли тонкую прозрачную чешую, создавая при этом раневую поверхность. Разделенные кусочки помещали в пластиковые контейнеры, затем (при заражении изолятами грибов) на внутреннюю поверхность кусочков раскладывали мицелиальные блоки десятисуточной культуры возбудителя на среде Чапека (в контроле – стерильный агаровый блок), увлажняли стерильной водой. Заражение штаммами бактерий осуществляли путем нанесения 10 мкл двухсуточной культуры бактериальной суспензии плотностью 1-2×10⁶ клеток/мл. Учет зоны поражения делали на шесть и 12 сутки после заражения, с измерением диаметра, глубины и расчетом объема зоны поражения (V_п, см³), который является наиболее информативным критерием оценки агрессивности патогенов и уровня устойчивости генотипов. По среднему значению объема зоны поражения гибридные комбинации дифференцировали на устойчивые ($V_{\text{п}} < 50$ мм³); относительно-устойчивые ($V_{\text{п}} = 50-1000$ мм³); средневосприимчивые ($V_{\text{п}} = 1001-3000$ мм³) и восприимчивые ($V_{\text{п}} \geq 3000$ мм³).

Математическую обработку результатов исследований проводили по Б.А. Доспехову (1985) [20] с использованием пакета прикладных программ Microsoft Exsel.



Рис. 1. Селекционный и гибридный питомники лука репчатого, 2022 год
Fig. 1. Selection and hybrid nurseries of onions, 2022



Результаты исследований

Фитопатологический мониторинг распространенности болезней во время вегетации растений лука репчатого. В результате проведенного мониторинга распространенности болезней на вегетирующих растениях лука репчатого в годы исследований показано, что из 21 проанализированного образца – пять (24%) вошли в группу устойчивых, в которых отсутствовали растения с симптомами развития болезней (рис. 2). Устойчивые популяции были выделены среди отцовских линий «С» (№№ 64, 213 и 1006) и гибридных комбинаций (№№ 2/22, 3/22), что составило 33 % и 22% соответственно внутри отдельных выборок исследованных образцов.

Наиболее многочисленной была группа относительно устойчивых образцов (38 % от числа проанализированных), в которых распространенность болезней в среднем составляла 9-15%, с большой вариабельностью индекса поражения – $I=0,5-2,5$ балла. Относительной устойчивостью к болезням вегетации характеризовались: две линии «А» – №№ 1008 и 1009 (67% от числа проанализированных в выборке); две линии «С» – №№ 67, 220 (22% от числа проанализированных); четыре гибридные комбинации – №№ 10/22, 19/22, 20/22, 22/22 (44% от числа проанализированных). Средневосприимчивые образцы к болезням вегетации

составляли 29% от общей совокупности проанализированных и были выделены во всех выборках линий и гибридных комбинаций. Распространенность развития болезней в этой группе в среднем составляла 35%, а индекс развития на растениях варьировал в пределах $I=0,5-3,5$ балла. К средневосприимчивым отнесли одну линию «А» – № 1000; три линии «С» – №№ 6, 19, 51; две гибридные комбинации – №№ 4/22 и 11/22. В группу восприимчивых вошли два образца: линия «С» – № 66 и гибридная комбинация № 7/22 с распространенностью болезней 53 % и 61% и индексом поражения 3,1 и 2,1 балла соответственно.

Симптомы развития болезней на инфицированных патогенами растениях в зависимости от степени поражения проявлялись в виде усыхания кончиков листьев, белесых продолговатых некрозов, хлороз и полегание всех листьев с размягчением тканей, хлороз и размягчение тканей в области шейки луковицы, растрескивание луковиц в области донца, угнетенные растения со слаборазвитой корневой системой (рис. 3). В результате фитопатологической экспертизы растений с зарегистрированными симптомами было выявлено, что в большинстве случаев в пораженных тканях растений одновременно присутствовали несколько видов возбудителей (смешанная инфекция). Основу патогенного комплекса болезней вегетации составляли грибы рода *Fusarium* spp. и бактерии рода *Pseudomonas* spp.

Фитопатологический мониторинг распространенности болезней во время хранения лука репчатого. На длительное хранение отбирали и закладывали луковицы без внешних симптомов поражения диагностированными болезнями. После хранения во время весеннего анализа повторно проводили мониторинг распространенности болезней в пределах каждого образца. В результате выделены устойчивые образцы: среди отцовских линий «С» – № 213, которая также характеризовалась устойчивостью и к болезням вегетации; среди гибридных комбинаций – № 10/22 – относительно устойчивая к болезням вегетации. В этих образцах не обнаружены пораженные болезнями хранения луковицы. Большинство родительских линий (56% – 100% от числа проанализированных) и гибридных комбинаций (78% от числа проанализированных) по средним данным за два года исследований характеризовались относительной устойчивостью при хранении, с распространенностью болезней 2,1-20,0% в зависимости от образца (рис. 4). В группу средневосприимчивых вошли три отцовские линии «С» и одна гибридная комбинация с распространенностью болезней в среднем по выборке 41,5% и 25 % соответственно (рис. 4, табл. 1).

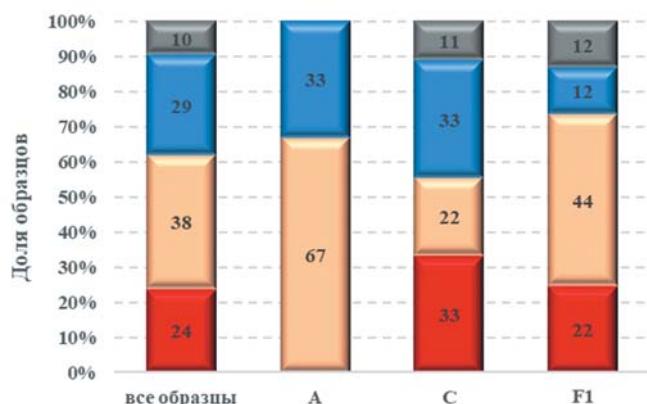


Рис. 2. Распределение всей совокупности проанализированных образцов и в пределах отдельных выборок родительских линий и гибридных комбинаций лука репчатого по группам устойчивости к болезням во время вегетации растений (среднее за 2022-2023 годы)

Fig. 2. Distribution of the entire set of analyzed samples and within individual samples of parental lines and hybrid combinations of onions by disease resistance groups during plant vegetation (average for 2022-2023)



Рис. 3. Симптомы проявления болезней на растениях лука репчатого во время вегетации (2023 год)
Fig. 3. Symptoms of diseases on onion plants during the growing season (2023)

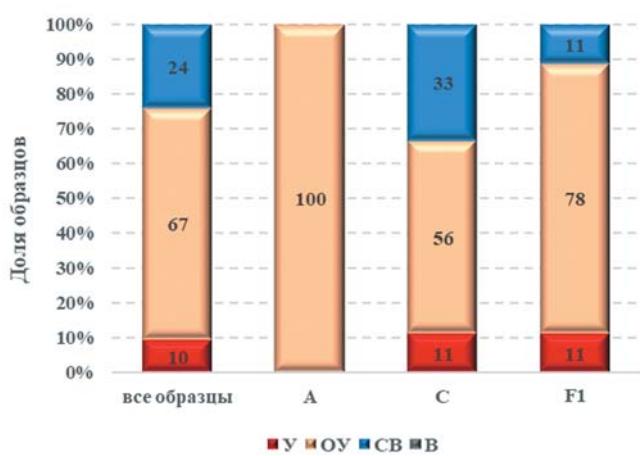


Рис. 4. Распределение всей совокупности проанализированных образцов и в пределах отдельных выборок родительских линий и гибридных комбинаций лука репчатого по группам устойчивости к болезням во время хранения луковиц (среднее за 2023-2024 годы)

Fig. 4. Distribution of the entire set of analyzed samples and within individual samples of parental lines and hybrid combinations of onions by groups of resistance to diseases during bulb storage (average for 2023-2024)

В представленной в таблице 1 выборке гибридных комбинаций, средние значения распространенности болезней хранения большинства из них, занимают промежуточное значение по отношению к материнскому или отцовскому компоненту в зависимости от доминирования устойчивости или восприимчивости. В группе устойчивых и относительно устойчивых комбинаций наследование признака определялось в основном устойчивостью материнского компонента, а восприимчивых – восприимчивостью отцовской линии. В комбинациях №№ 11/22, 19/22 и 10/22 отмечено сверхдоминирование относительно лучшего родителя по сохранности луковиц во время хранения, в комбинациях №№ 2/22 и 22/22 – положительный гипотетический эффект гетерозиса по данному признаку.

При визуальной диагностике симптоматики развития болезней на луковицах во время хранения учитывали совокупность следующих признаков: локализация симптомов, наличие, цвет и плотность спороношения, консистенция и цвет пораженной ткани. Установлено, что в 30% случаев симптомы болезни проявлялись в виде поражения всей луковицы, в остальных случаях – отдельных ее частей: донца, шейки, центральной части (рис. 5). У половины проанализированных луковиц развитие болезни начиналось от донца с потемнения ткани, размягчения сочных чешуй и образования между ними полостей, в некоторых случаях – наличия белого или бело-розового плотного налета спороношения. Симптомы гнили в области шейки в основном наблюдали только при разрезе луковицы. Проявлялись они в виде побурения и усыхания ткани внешних сочных чешуй и были зарегистрированы у 15% больных луковиц. У отдельных луковиц признаки поражения гнилью зарегистрированы в центральной части без дальнейшего распространения. Вектор направления развития сухой гнили был направлен как правило от внешних к внутренним чешуям, однако у части луковиц гниль начинала развиваться на внутренних чешуях, поврежденная ткань размягчалась и имела рассыпчатую структуру либо становилась водянистой, а внешняя сочная чешуя поражалась последней. В данном случае в составе патокомплекса доминировали возбудители бактериальных гнилей.

В результате фитопатологической экспертизы луковиц с признаками поражения болезнями при хранении было выявлено, что в большинстве случаев на пораженных луковицах одновременно присутствовали несколько видов возбудителей. Основу патогенного комплекса болезней хранения составляли грибы из родов: *Fusarium* spp., *Penicillium* spp., *Botrytis* spp., *Aspergillus* spp., а также бактериальные гнили. При этом доминирующими и наиболее вредоносными в составе фитокомплекса были грибы из рода *Fusarium* spp. и бактерии *Pseudomonas* spp., как и во время вегетации растений.

Таблица 1. Дифференциация родительских линий и гибридных комбинаций лука репчатого по группам устойчивости к болезням хранения (фузариоз и бактериоз) (среднее за 2023-2024 годы)
Table 1. Differentiation of parental lines and hybrid combinations of onions by groups of resistance to storage diseases (fusarium and bacteriosis) (average for 2023-2024)

Стерильная линия ♀		Фертильная линия ♂			Гибридная комбинация ♀ × ♂				
шифр	распространенность болезней, %	группа устойчивости	шифр	распространенность болезней хранения, %	группа устойчивости	шифр	распространенность болезней хранения, %	группа устойчивости	гипотетический эффект гетерозиса по сохранности, %
1000	15,9	ОУ	66	41,9	СВ	4/22	29,1	СВ	-0,3
1000	15,9	ОУ	64	7,3	ОУ	3/22	18,8	ОУ	-8,1
1000	15,9	ОУ	67	9,5	ОУ	2/22	12,3	ОУ	0,5
1000	15,9	ОУ	213	0	У	20/22	7,5	ОУ	0
1008	19	ОУ	220	8,7	ОУ	22/22	12	ОУ	2,1
1008	19	ОУ	51	41,2	СВ	11/22	8,8	ОУ	30,5
1008	19	ОУ	1006	15,6	ОУ	7/22	20,0	ОУ	-3,2
1009	12,7	ОУ	19	30,7	СВ	19/22	2,1	ОУ	25
1009	12,7	ОУ	6	2,6	ОУ	10/22	0	У	8,3



Рис. 5. Локализация симптомов поражения луковиц лука репчатого возбудителями болезней хранения (2024 год)
Fig. 5. Localization of symptoms of damage to onion bulbs by pathogens of storage diseases (2024)

Иммунологическая оценка гибридных комбинаций на устойчивость к фузариозу и бактериозу в условиях *in vitro*. Поскольку в результате фитопатологической экспертизы во время вегетации растений и хранения луковиц было

установлено, что наиболее распространенными и вредоносными болезнями являются фузариоз и бактериоз, была проведена иммунологическая оценка гибридных комбинаций по устойчивости в условиях *in vitro* к высокоаггрессивным в отношении лука репчатого штаммам *F. acuminatum*, *F. annulatum*, *P. marginalis* и *P. fluorescens* (коллекционные штаммы лаборатории молекулярно-иммунологических исследований).

В результате было показано, что в среднем наибольшей агрессивностью в отношении изученных образцов характеризовался штамм *F. annulatum*, со средним показателем объема зоны поражения в анализируемой выборке гибридных комбинаций – 2004 мм³. При инокуляции штаммом *F. acuminatum*, средний объем зоны поражения составлял 1736 мм³, а бактериальными штаммами *P. marginalis* и *P. fluorescens* – 1096 мм³ и 1407 мм³ соответственно. Иммунологическая оценка выявила значительные межпопуляционные различия по степени поражения высокоаггрессивными штаммами микромицетов и бактерий (рис. 6). В результате искусственного заражения штаммами Fusarium по устойчивости выделили гибридные комбинации №№ 10/22, 20/22 и 22/22 с минимальным объемом зоны поражения луковиц – 20-811 мм³, у которых при инокуляции мицелиальными блоками развитие фузариоза происходило

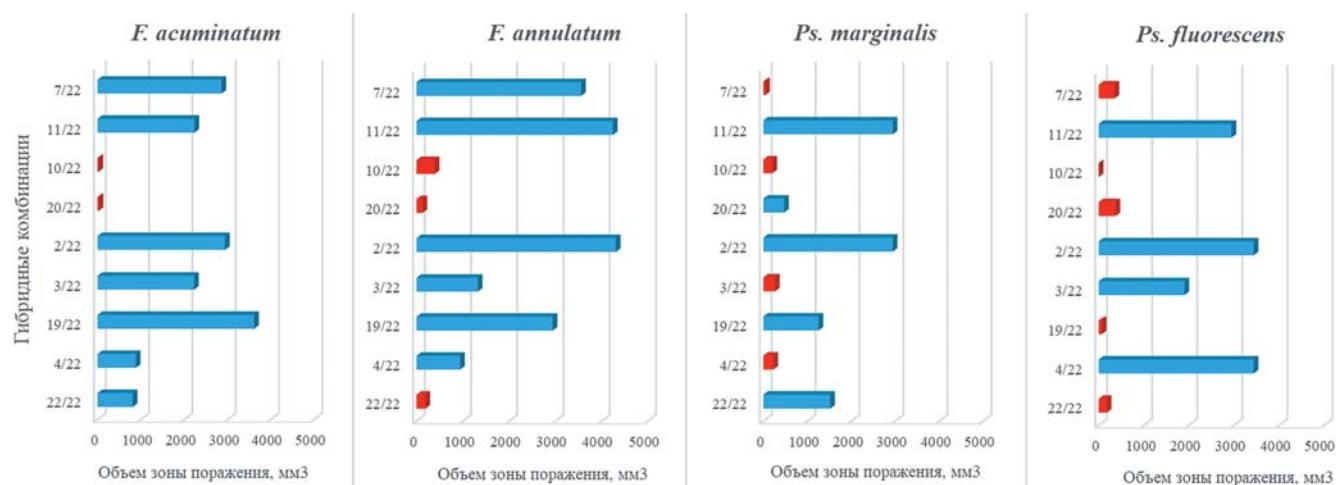


Рис. 6. Иммунологическая оценка гибридных комбинаций лука репчатого в условиях *in vitro* по устойчивости к агрессивным штаммам возбудителей фузариоза и бактериоза
Fig. 6. Immunological evaluation of hybrid combinations of onions in vitro for resistance to aggressive strains of fusarium and bacteriosis pathogens

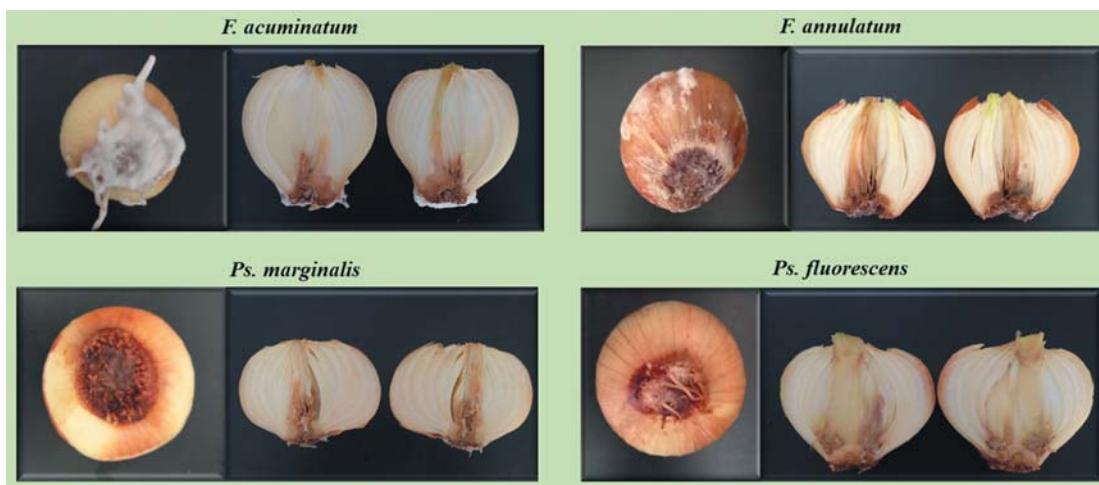


Рис. 7. Симптомы развития фузариоза и бактериоза при заражении целых луковиц идентифицированными штаммами патогенов в условиях *in vitro*
Fig. 7. Symptoms of fusarium and bacteriosis development during infection of whole bulbs with identified pathogen strains in vitro

Таблица 2. Группа устойчивости изученных гибридных комбинаций лука репчатого при искусственном заражении и на естественном фоне

Table 2. Resistance group of the studied hybrid combinations of onions under artificial infection and under natural conditions

Гибридная комбинация	Искусственное заражение в условиях <i>in vitro</i>				Естественный фон <i>in vivo</i>	
	<i>F. acuminatum</i>	<i>F. annulatum</i>	<i>Ps. marginalis</i>	<i>Ps. fluorescens</i>	вегетация растений	хранение луковиц
10/22	У	ОУ	ОУ	У	ОУ	У
20/22	У	У	ОУ	ОУ	ОУ	ОУ
22/22	ОУ	ОУ	СВ	ОУ	ОУ	ОУ
4/22	ОУ	ОУ	ОУ	В	СВ	СВ
3/22	СВ	СВ	ОУ	СВ	У	ОУ
19/22	В	СВ	СВ	У	ОУ	ОУ
7/22	СВ	В	У	ОУ	В	СВ
11/22	СВ	В	СВ	СВ	СВ	ОУ
2/22	СВ	В	СВ	В	У	ОУ

очень медленно, по сравнению с другими образцами. При заражении бактериальным штаммом *P. marginalis* выделили гибридные комбинации №№ 7/22, 10/22, 20/22, 3/22 и 4/22 с объемом зоны поражения – 40-472 мм³, а штаммом *P. fluorescens* – №№ 7/22, 10/22, 20/22, 19/22 и 22/22, с объемом поражения 0-371 мм³. При искусственном заражении симптомы развития фузариоза и бактериоза на инокулированных частях растений были идентичны тем, что наблюдали на естественном фоне при хранении (рис. 7).

В результате проведенной иммунологической оценки в условиях *in vitro* выделены гибридные комбинации №№ 10/22 и 20/22 с групповой устойчивостью к фузариозу и бактериозу, которые и в естественных условиях во время вегетации и хранения также характеризовались устойчивостью к болезням (табл. 2). Гибридная комбинация № 22/22 тоже заслуживает внимания, поскольку при искусственном заражении была продемонстрирована ее относительная устойчивость к высокоагрессивным штаммам, за исключением бактерии *P. marginalis*, которая, как уже было отмечено, является послесборочным патогеном, однако во время хранения данная гибридная комбинация по средним показателям за два года, также характеризовалась относительной устойчивостью к болезням.

Заключение

В результате проведенной поэтапной фитопатологической оценки селекционного материала лука репчатого во время вегетации и хранения установлено, что основными вредоносными фитопатогенами, входящими в состав современного патокомплекса экономически-значимых болезней этой культуры –

турь, являются грибы рода *Fusarium* и бактерии рода *Pseudomonas*. За годы исследований в выборке изученных образцов распространенность болезней в период вегетации составляла 9-61%, а в период хранения 2-40% с широким диапазоном вариации степени развития болезни – I=0,5-4 балла.

Иммунологическая оценка гибридных комбинаций по устойчивости в условиях *in vitro* к высокоагрессивным на луке репчатом штаммам показала, что в среднем наибольшей патогенностью в отношении изученных образцов среди микромицетов характеризовался штамм *F. annulatum*, со средним показателем объема зоны поражения в анализируемой выборке гибридных комбинаций – 2004 мм³, а из бактериальных штаммов – *P. fluorescens*, с зоной поражения 1407 мм³.

Таким образом, в результате совокупной оценки родительских линий по устойчивости к фузариозной и бактериальной гнили, с учетом показателей распространенности и индекса развития болезни на естественном инфекционном фоне, выделено две материнских стерильных линии «А» – №№ 1008, 1009 и пять отцовских фертильных линий «С» – №№ 64, 67, 213, 220, 1006. Среди гибридных комбинаций, полученных с участием этих линий, по результатам оценки устойчивости на естественном фоне и в условиях *in vitro*, выделены комбинации №№ 10/22 и 20/22 с групповой устойчивостью к фузариозу и бактериозу.

Отобранные линии и гибридные комбинации помимо устойчивости характеризуются комплексом хозяйствственно ценных признаков и включены в селекционную программу по созданию отечественных конкурентоспособных гетерозисных гибридов лука репчатого.

• Литература

1. Кривенков Л.В., Агафонов А.Ф., Логунова В.В., Середин Т.М. Состояние и основные направления селекции луковых культур ФГБНУ ФНЦО. *Овощи России*. 2021;(3):24-28.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-24-28>
<https://www.elibrary.ru/apnhgr>
2. Федоров Д.А. Разработка элементов интенсивной технологии выращивания российских F1 гибридов лука репчатого в условиях Московской области. М., 2015. 26 с. <https://www.elibrary.ru/wjuprb>
3. Буренин В.И., Шумилина В.В. Отдаленная гибридизация видов рода *Allium* L. *Овощи России*. 2016;(1):10-13.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-1-10-13>
<https://www.elibrary.ru/vmjwbt>
4. Ветрова С.А., Алёхина К.Г., Енгалычева И.А., Козарь Е.Г., Логунова В.В., Кривенков Л.В., Баранова Е.В. Состав патокомплекса болезней хранения лука репчатого и поиск источников устойчивости. *Таврический вестник аграрной науки*. 2024;1(37):21-38.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.15146428>
<https://www.elibrary.ru/bfkvyg>
5. Заячковский В.А., Ветрова С.А., Степанов В.А., Фильрозе Н.А. Отзывчивость сортов свёклы столовой на применение минеральных удобрений и биокомпоста. *Таврический вестник аграрной науки*. 2025;1(41):65-78.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.15146428>
<https://www.elibrary.ru/lwfpuiz>
6. Реестр селекционных достижений.
<https://gossortrf.ru/registry/> (Дата обращения 15.09.2025)

7. Vetrova S., Alyokhina K., Engalycheva I., Kozar E., Mukhina K., Sletova M., Krivenkov L., Tikhonova T., Kameneva A., Frolova S., Chizhik V., Martynov V. Identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with onion basal rot in the Moscow region of Russian Federation. *Journal of Fungi*. 2024;10(5):331. <https://doi.org/10.3390/jof10050331>
8. Summerell B.A. Resolving *Fusarium*: current status of the genus. *Annu. Rev. Phytopathol.* 2019;(57):323–339. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082718-100204>
9. Kalman B., Abraham D., Graph Sh., Perl-Treves R., Meller Harel Y., Degani O. Isolation and identification of *Fusarium* spp., the causal agents of onion (*Allium cepa*) basal rot in northeastern Israel. *Biology*. 2020;9(4):69. <https://doi.org/10.3390/biology9040069>
10. Sharma S., Cramer C.S. Selection progress for resistance to *Fusarium* basal rot in short-day onions using artificial inoculation mature bulb screening. *Horticulturae*. 2023;9(1). <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010099>
11. Ахатов А.К., Ганнибаль Ф.Б., Мешков Ю.И., Джалилов Ф.С., Чиков В.Н., Игнатов А.Н., Полищук В.П., Шевченко Т.П., Борисов Б.А., Стройков Ю.М., Белошапкина О.О. Болезни и вредители овощных культур и картофеля. М., 2013. 463 с. <https://www.elibrary.ru/ubbgid>
12. Пивоваров В.Ф., Ершов И.И., Агафонов А.Ф. Луковые культуры. М., 2001. 500 с. <https://elibrary.ru/wqdcmj>
13. Cramer C.S. Breeding and genetics of *Fusarium* basal rot resistance in onion. *Euphytica*. 2000;115(3):159–166. <https://doi.org/10.1023/A:1004071907642>
14. Stankovic S., Levic J., Petrovic T., Logrieco A., Moretti A. Pathogenicity and mycotoxin production by *Fusarium proliferatum* isolated from onion and garlic in Serbia. *Eur. J. Plant Pathol.* 2007, 118, 165–172. <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9126-8>
15. Haapalainen M., Kuivainen E., Iivonen S., Niemi M., Latvala S. Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* and *Fusarium proliferatum* isolates from symptomless onions (*Allium cepa* L.) and onions with *Fusarium* basal rot. *Plant Pathology*. 2023;72(6):1122–1135. <https://doi.org/10.1111/ppa.13718>
16. Mizue Tsuji, Ikuo Kadota. Identification and phylogenetic analysis of *Burkholderia cepacia* complex bacteria isolated from rot of onion bulbs in Tohoku region of Japan. *Journal of General Plant Pathology*. 2020;(86):376–386. <https://doi.org/10.1007/s10327-020-00937-z>
17. Schwartz H.F., Mohan K.S. Compendium of onion and garlic diseases and pests. American Phytopathological Society, 200. 136 p.
18. El-Hendawy H.H. Association of pectolytic fluorescent *Pseudomonas* with postharvest rots of onion. *Phytopathologia Mediterranea*. 2004;43(3):369–376. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-1762
19. Achbani E.H., Sadik S., El Kahkahi R., Benbouazza A., Mazouz H. First report on *Pseudomonas marginalis* bacterium causing soft. *Atlas Journal of Biology*. 2014;3(2):218–223. <https://doi.org/10.5147/ajb.2014.0136>
20. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М., 1985. 350 с.

• References

1. Krivenkov L.V., Agafonov A.F., Logunova V.V., Seredin T.M. The state and main directions of onion crop breeding of FSBSI FSVC. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(3):24–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-24-28> <https://www.elibrary.ru/apnhgr>
2. Fedorov D.A. Development of elements of intensive technology for growing Russian F₁ onion hybrids in the conditions of the Moscow region. М., 2015. 26 p. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/wjuprb>
3. Burenin V.I., Shumilina V.V. Distant hybridization of plants of *Allium* L. *Vegetable crops of Russia*. 2016;(1):10-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-1-10-13> <https://www.elibrary.ru/vmjwbt>
4. Vetrova S.A., Aliokhina K.G., Engalycheva I.A., Kozar E.G., Logunova V.V., Krivenkov L.V., Baranova E.V. Composition of the pathocomplex of onion storage diseases and the search for sources of resistance to them. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2024;1(37):21–38. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.15146428> <https://www.elibrary.ru/bfkvyg>
5. Zayachkovskiy V.A., Vetrova S.A., Stepanov V.A., Filroze N.A. Responsiveness of beetroot varieties to mineral fertilizers and biocompost. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2025;1(41):65–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.15146428> <https://www.elibrary.ru/lwfpuz>
6. Register of breeding achievements. <https://gossortrf.ru/registry/> (accessed 15.09.2025) (In Russ.)
11. Akhatov A.K., Hannibal F.B., Meshkov Yu.I., Jalilov F.S., Chizhov V.N., Ignatov A.N., Polishchuk V.P., Shevchenko T.P., Borisov B.A., Stroikov Yu.M., Beloshapkina O.O. Diseases and pests of vegetables and potato. М., 2013. 463 с. (in Russ.) <https://www.elibrary.ru/ubbgid>
12. Pivovarov V.F., Ershov I.I., Agafonov A.F. Onion crops. М., 2001. 500 p. (in Russ.) <https://elibrary.ru/wqdcmj>
20. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment with the basics of statistical processing of research results. М., 1985. 350 p. (in Russ.)

Об авторах:

Светлана Александровна Ветрова – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, <https://orcid.org/0000-0002-9897-0413>, SPIN-код: 9887-1667, автор для переписки, lana-k2201@mail.ru

Маргарита Михайловна Марчева – младший научный сотрудник лаборатории физиологических основ семеноведения овощных культур, <https://orcid.org/0000-0003-1674-6651>, SPIN-код: 1141-8090, margo.marcheva@yandex.ru

Тимофей Михайлович Середин – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства луковых культур, <https://orcid.org/0000-0002-9999-023X>, SPIN-код: 3330-9922, timofey-seredin@rambler.ru

Алексей Васильевич Солдатенко – доктор с.-х. наук, академик РАН, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-9492-6845>, SPIN-код: 7900-4819, alex-soldat@mail.ru

Ирина Александровна Енгальчева – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, зав. лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, <https://orcid.org/0000-0003-4843-111X>, SPIN-код: 2084-2830, engirina1980@mail.ru

Леонид Викторович Кривенков – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, зав. лаборатории селекции и семеноводства луковых культур, <https://orcid.org/0000-0001-8718-4508>, SPIN-код: 3572-2246, krivenkov76@mail.ru

Валентина Владимировна Логунова – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства луковых культур, <https://orcid.org/0000-0001-6561-9806> logunova.valentina77@gmail.com

Ксения Игоревна Дацук – младший научный сотрудник лаборатории физиологических основ семеноведения овощных культур, <https://orcid.org/0009-0007-4670-1442>, SPIN-код: 8907-0048, ks_datsuk@mail.ru

Милена Вячеславовна Каракай – агроном лаборатории бактериологии и анализа ГМО

<https://orcid.org/0009-0008-5140-6920>

About the Authors:

Svetlana A. Vetrova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory Molecular Immunological Research, <https://orcid.org/0000-0002-9897-0413>, SPIN-code: 9887-1667, Corresponding Author, lana-k2201@mail.ru

Margarita M. Marcheva – Junior Researcher of the Laboratory of Physiological Basis of Seed Science of Vegetable Crops, <https://orcid.org/0000-0003-1674-6651>, SPIN-code: 1141-8090, margo.marcheva@yandex.ru

Timofey M. Seredin – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory of Breeding and Seed Production of Onion Crops, <https://orcid.org/0000-0002-9999-023X>, SPIN-code: 3330-9922, timofey-seredin@rambler.ru

Alexey V. Soldatenko – Dr. Sci. (Agriculture), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-9492-6845>, SPIN-code: 7900-4819, alex-soldat@mail.ru

Irina A. Engalycheva – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Laboratory Molecular Immunological Research, <https://orcid.org/0000-0003-4843-111X>, SPIN-code: 2084-2830, engirina1980@mail.ru

Leonid V. Krivenkov – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Laboratory of Breeding and Seed Production of Onion Crops, <https://orcid.org/0000-0001-8718-4508>, SPIN-code: 3572-2246, krivenkov76@mail.ru

Valentina V. Logunova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory of Breeding and Seed Production of Onion Crops, <https://orcid.org/0000-0001-6561-9806>, logunova.valentina77@gmail.com

Kseniya I. Datsuk – Junior Researcher of the Laboratory of Physiological Basis of Seed Science of Vegetable Crops, <https://orcid.org/0009-0007-4670-1442>, SPIN-code: 8907-0048, ks_datsuk@mail.ru

Milena V. Karakay – the Agronomist of the Laboratory of Bacteriology and GMO Analysis, <https://orcid.org/0009-0008-5140-6920>