

О.А. Брагина ✉

М.Д. Говердовская

И.А. Лыско

Л.В. Есаулова

Федеральный научный центр риса,
Краснодар, Россия

✉ olesya.bragina.1984@mail.ru

Поступила в редакцию: 07.08.2025

Одобрена после рецензирования: 11.10.2025

Принята к публикации: 26.10.2025

© Брагина О.А., Говердовская М.Д.,
Лыско И.А., Есаулова Л.В.

Olesya A. Bragina ✉

Maria D. Goverdovskaya

Irina A. Lysko

Lubov V. Esaulova

Federal Scientific Center of Rice,
Krasnodar, Russia

✉ olesya.bragina.1984@mail.ru

Received by the editorial office: 07.08.2025

Accepted in revised: 11.10.2025

Accepted for publication: 26.10.2025

© Bragina O.A., Goverdovskaya M.D.,
Lysko I.A., Esaulova L.V.

Пирикулярриоз риса: мониторинг, прогноз распространения в Краснодарском крае

РЕЗЮМЕ

Пирикулярриоз (возбудитель — аскомицетный гриб *Pyricularia oryzae* Cav.) — самая опасная и вредоносная болезнь риса, широко распространенная в большинстве рисосеющих регионов мира, включая Россию. В течение 10 лет (2013–2022 гг.) проводили мониторинг состояния посевов риса в рисосеющих хозяйствах Краснодарского края. На инфекционном участке при искусственном заражении были изучены иммунологические свойства 13 158 сортообразцов, переданных селекционерами ФГБНУ «Федеральный научный центр риса» и УНУ «Коллекции генетических ресурсов риса, овощных и бахчевых культур». Оценку устойчивости осуществляли по 10-балльной шкале Международного института риса (IRRI) с применением методов визуальной и иммунологической диагностики, а также фитопатологического наблюдения. Установлены диапазоны и оптимальные значения экологических факторов, способствующих различным стадиям жизненного цикла *Pyricularia oryzae*. Показано, что для эффективного прорастания конидий, формирования апрессориев и проникновения патогена в ткани растения ключевое значение имеют температура в пределах 25–28 °C, относительная влажность воздуха (выше 89%) и продолжительное увлажнение листовой поверхности (не менее 6 часов). Анализ показал, что среди изученных сортообразцов устойчивыми к пирикулярриозу являются 11,3% образцов, среднеустойчивыми — 38,4%, восприимчивыми — 50,3%. В работе представлена количественная прогнозная модель, отражающая трансформацию сортового состава риса, классифицированного по уровню устойчивости к грибу *Pyricularia oryzae*, которая служит научной основой для разработки адаптивной селекционной стратегии. Особое значение в этой стратегии принадлежит селекции устойчивых сортов, обеспечивающих встроенную защиту, снижающую потребность в химических фунгицидах и способствующую получению стабильного урожая. Перспективным направлением является создание генотипов, несущих R-гены широкого спектра устойчивости.

Ключевые слова: пирикулярриоз риса, мониторинг, сортообразец, устойчивость, патоген, инфекционный питомник, конидии

Для цитирования: Брагина О.А., Говердовская М.Д., Лыско И.А., Есаулова Л.В. Пирикулярриоз риса: мониторинг, прогноз распространения в Краснодарском крае. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 138–146.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-138-146>

Rice pyriculariasis: monitoring, prognosis of its spread in the Krasnodar Territory

ABSTRACT

Blast (causative agent — ascomycete fungus *Pyricularia oryzae* Cav.) is the most dangerous and harmful disease of rice, widespread in most rice-growing regions of the world, including Russia. For 10 years (2013–2022), the condition of rice crops was monitored in rice-growing farms of the Krasnodar Territory. At the infection site, under artificial infection, the immunological properties of 13,158 variety samples transferred by breeders of the Federal Rice Research Center and the Collection of Genetic Resources of Rice, Vegetable and Melon Crops were studied. The resistance was assessed on a ten-point scale of the International Rice Institute (IRRI) using visual and immunological diagnostics, as well as phytopathological observation. The ranges and optimal values of environmental factors contributing to various stages of the *Pyricularia oryzae* life cycle were established. It has been shown that for the effective germination of conidia, the formation of apressoria and the penetration of the pathogen into plant tissues, the temperature in the range of 25–28 °C, relative humidity (above 89%) and prolonged moistening of the leaf surface (at least 6 hours) are of key importance. The analysis showed that among the studied variety samples, 11.3% are resistant to blast, 38.4% are moderately resistant, and 50.3% are susceptible. The paper presents a quantitative predictive model reflecting the transformation of the varietal composition of rice classified by the level of resistance to the fungus *Pyricularia oryzae*, which serves as a scientific basis for the development of an adaptive breeding strategy. Of particular importance in this strategy is the selection of resistant varieties that provide built-in protection, reducing the need for chemical fungicides and contributing to a stable yield. A promising direction is the creation of genotypes carrying R-genes of a wide range of resistance.

Key words: rice blast, monitoring, variety, resistance, pathogen, infectious nursery, conidia

For citation: Bragina O.A., Goverdovskaya M.D., Lysko I.A., Esaulova L.V. Rice pyriculariasis: monitoring, prognosis of its spread in the Krasnodar Territory. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 138–146 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-138-146>

Введение/Introduction

Рис (*Oryza sativa* L.) является одной из ключевых продовольственных культур, обеспечивающих основу питания более чем для половины населения планеты. Однако его продуктивность систематически снижается под воздействием биотических и абиотических стрессов.

Особое место среди биотических факторов занимает пирикулярриоз — грибковое заболевание, вызываемое *Pyricularia oryzae* Cav. (син. *Magnaporthe oryzae*), признанное наиболее вредоносным в рисосеющих регионах мира, включая юг России. Глобальные потери урожая от пирикулярриоза составляют 10–30% ежегодно, а в годы эпифитотий — до 100%.

Патоген поражает все надземные органы растения, формируя характерные ромбовидные пятна на листьях, узлах и метелках. Его жизненный цикл включает проникновение в ткани с помощью апрессориев, межклеточный рост мицелия и интенсивное спороношение, способствующее воздушно-капельному распространению инфекции.

Исследования по пирикулярриозу активно ведутся как в мировом, так и в отечественном научном сообществе. Ballini *et al.* (2008) провели крупномасштабный геномный метаанализ, выявив более 80 локусов устойчивости (QTL), что открыло новые перспективы для молекулярной селекции.

Klaubauf *et al.* (2014) на основе филогенетического анализа пересмотрели таксономию рода *Pyricularia*, что позволило более точно идентифицировать патогенные изоляты. Tosa Y. и Chuma I. (2014) детально описали механизмы специализации и патогенной адаптации штаммов *P. oryzae* к различным хозяевам, включая рис [1–3].

Важный вклад в изучение иммунитета риса внесли S.H. Ou (1971) и G.S. Khush (1989), заложившие основы генетики устойчивости. Было установлено, что R-гены, такие как *Pi-ta*, *Pi-b*, *Pi-km*, обеспечивают расовую специфичность сопротивления [5]. Однако их эффективность ограничена из-за быстрой эволюции патогена, что требует создания сортов с комплексной устойчивостью. Gómez-Ariza *et al.* (2007) показали, что премирование растений сахарозой может усиливать системную приобретенную устойчивость (SAR), что открывает путь к нетрадиционным методам защиты [5].

В России значительные исследования по иммунитету риса к пирикулярриозу проводятся в ФГБНУ «Федеральный научный центр риса». Работы О.А. Брагиной (2020 г.) подтвердили высокую вариабельность реакции сортов в зависимости от агроэкологических условий Краснодарского

края [6]. В то же время долгосрочные данные по динамике сортового состава и прогнозные модели на основе полиномиальной регрессии в условиях юга России ранее не разрабатывались.

Как показывают современные исследования, эффективная и устойчивая защита риса от болезней возможна только в рамках интегрированной системы фитосанитарного управления. Такой подход охватывает не только селекцию устойчивых сортов, но и регулярный мониторинг патогенных популяций, оценку иммунологических свойств генотипов и научно обоснованное прогнозирование вспышек заболеваний на основе анализа метеорологических данных [7].

Цели работы — проведение комплексного мониторинга развития пирикулярриоза риса в условиях Краснодарского края, выявление климатических факторов, способствующих вспышкам заболевания, и разработка прогнозной модели динамики устойчивости сортов на основе полиномиальной регрессии для оптимизации селекционного процесса и системы интегрированной защиты риса.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Мониторинговые исследования проводили в рисосеющих хозяйствах Краснодарского края в 2013–2022 гг. Источники инфекции и способы распространения в агроценозах определяли классическими фитопатологическими методами^{1,2}.

В районах рисосеяния (Славянский, Краснодарский, Абинский, Темрюкский, Крымский) на рисовых чеках устанавливали пассивные споровые ловушки, состоящие из клейких предметных стекол, на подставке в начале лета патогена. Споры, находящиеся в воздухе, естественным образом попадали на поверхность стекол под действием ветра. В течение вегетации риса (июнь — сентябрь) (начиная с фазы кущения и до полной спелости) еженедельно из ловушки в стерильных контейнерах отбирали клейкие предметные стекла в асептических условиях и заменяли новыми предметными стеклами с клейкой поверхностью.

Проводили микроскопический анализ отбора проб, снятых с ловушек. Микроскопию проводили с использованием микроскопа Olympus CKX53 Evident (Япония). Таксоны грибов были идентифицированы с помощью визуальной оценки на основе морфологии и внешнего вида спор. Для оценки взаимосвязи между метеорологическими параметрами и заболеваемостью пирикулярриоза были собраны полевые данные — как об условиях окружающей среды, так и о заболеваемости в течение вегетационного периода риса.

¹ Index Fungorum: the global fungal nomenclator [электронный ресурс] / Royal Botanic Gardens Kew, Landcare Research-NZ, Institute of Microbiology Chinese Academy of Science.
URL: <https://www.indexfungorum.org> (дата обращения: 13.06.2025).

² Bragina O.A., Ogly A.M., Khachmamuk P.N. Immunological variability of rice varieties depending on growing conditions. International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2021). E3S Web of Conferences. 2021; 285: 02036.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128502036>

Исследования проводили на рисовой оросительной системе в ФГБУ ЭСОС «Красная» — филиале ФГБНУ «ФНЦ риса» по предшественнику многолетние травы. Устойчивость сортообразцов, переданных селекционерами и УНУ «Коллекция генетических ресурсов риса, овощных и бахчевых культур» ФГБНУ «ФНЦ риса», изучали на естественном инфекционном фоне с благоприятными условиями для развития патогена.

Всего проанализированы 13 158 сортообразцов, в том числе в оценку включены сорта интродукции из Индии, Китая, Японии и Вьетнама для изучения их реакции на *P. oryzae*.

Образцы высевали однорядковыми деланками. Стандарты — индикаторы уровня инфекционного фона (Авангард — резистентный к патогену сорт узбекской селекции, Победа 65 — неустойчивый сорт отечественной селекции) высевали через каждые 20 образцов. Закладку опыта проводили в соответствии с методическими указаниями^{3,4}. Поражаемость растений пирикулярриозом оценивали по 10-бальной шкале Международного института риса⁵.

Результаты учетов использовали для анализа интенсивности развития болезни и определения иммунологических свойств сортообразцов риса. Неустойчивые к пирикулярриозу образцы исключали из селекционного процесса. Устойчивые образцы продолжают оцениваться в течение 3 и более лет для получения объективных данных.

По результатам оценки сортообразцы классифицировали на: устойчивые — интенсивность развития болезни (ИРБ) < 25%; среднеустойчивые — ИРБ 25,1–50%; неустойчивые — ИРБ > 50%.

Наблюдения, учеты поражений проводили согласно методическим указаниям⁶ и ГОСТ Р 52325-2005⁷.

Для оценки гидротермических условий, влияющих на развитие пирикулярриоза риса (*Pyricularia oryzae* Cav.), был рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК) по методу Селянинова. Расчет выполнялся по декадам по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{P}{0,1 \times \sum t},$$

где: P — количество осадков за декаду, мм; $\sum t$ — сумма среднесуточных температур, превышающих 10 °С, за тот же период.

Полученные значения ГТК были сопоставлены с многолетними климатическими нормами и использованы для оценки благоприятности условий для развития патогена.

Категории увлажнения: ГТК < 0,4 — сухо; $0,4 \leq \text{ГТК} < 1,0$ — сухо; $1,0 \leq \text{ГТК} < 1,5$ — достаточно увлажнено; ГТК ≥ 1,5 — влажно.

Метеоданные получены с автоматической метеостанции Agrokeeper, установленной в Красноармейском районе⁷.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В 2024 году в регионе наблюдалась выраженная аномалия по увлажненности: суммарное количество осадков за вегетационный период составило 148 мм, что значительно ниже среднемноголетней нормы (210 мм). Анализ данных показал, что с мая по август ГТК не превышал 0,88, что соответствует категории «сухо» и указывает на крайне неблагоприятные условия для инфекционного процесса. В этих условиях первые видимые симптомы пирикулярриоза появились во II декаде июля, что на 2–3 недели позже, чем в годы с достаточным увлажнением. Это свидетельствует о значительной задержке в развитии болезни вследствие дефицита влаги в ранние и средние фазы вегетации (табл. 1).

Таблица 1. Метеорологические данные периода вегетации 2024 г.
Table 1. Meteorological data for the vegetation period of 2024

Месяц	Декада	Температура воздуха, °С		Осадки, мм		Относительная влажность воздуха, %	ГТК	Категория увлажнения	Оценка условий для пирикулярриоза
		средняя многолетняя	2024 г.	средние многолетние	2024 г.				
Май	1	15,0	14,8	18,0	10,0	65	0,67	Сухо	Неблагоприятно
	2	16,8	14,4	19,0	5,8	74	0,40	Сухо	Неблагоприятно
	3	18,5	20,2	20,0	9,6	68	0,47	Сухо	Неблагоприятно
Июнь	1	19,5	25,4	22,0	0	69	0,00	Сухо	Неблагоприятно
	2	20,4	26,4	23,0	18,8	75	0,71	Сухо	Неблагоприятно
	3	21,3	24,8	22,0	0	65	0,00	Сухо	Неблагоприятно
Июль	1	22,5	29,8	21,0	2,4	60	0,08	Сухо	Неблагоприятно
	2	23,2	30,1	20,0	1,4	50	0,05	Сухо	Неблагоприятно
	3	23,8	26,4	19,0	7,6	68	0,29	Сухо	Неблагоприятно
Август	1	23,7	25,8	17,0	22,8	74	0,88	Сухо	Условно благоприятно
	2	22,7	25,2	15,0	0	61	0,00	Сухо	Неблагоприятно
	3	21,6	26,8	15,0	8,0	67	0,30	Сухо	Неблагоприятно
Сентябрь	1	19,3	23,4	13,0	62,4	75	2,67	Влажно	Благоприятно
	2	17,4	23,6	12,0	7	62	0,30	Сухо	Неблагоприятно
	3	15,6	17,6	13,0	63	51	3,58	Влажно	Благоприятно

³ Коваленко Е.Д. и др. Методические указания по оценке устойчивости сортов риса к возбудителю пирикулярриоза. М.: ВАСХНИЛ. 1988; 30.

⁴ Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) [электронный ресурс]. URL: <https://www.aphis.usda.gov> (дата обращения: 13.06.2025).

⁵ International Rice Research Institute (IRRI). Rice Policy-World Rice Statistics (WRS). <http://www.irri.org> (date of access: 13.06.2025).

⁶ Аверьянов А.А., Лапинова В.П., Петелина Г.Г. Лабораторный экспресс-метод оценки сортовой устойчивости риса к пирикулярриозу. Большие Вяземы: ВНИИФ. 1990; 12.

⁷ ГОСТ Р 52325-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Методы определения посевных и фитосанитарных качеств.

⁸ Agrokeeper: метеостанции для сельского хозяйства [электронный ресурс]. URL: <https://agrokeeper.ru> (дата обращения: 13.06.2025).

Детализированный расчет ГТК по декадам позволил выявить, что благоприятные условия для развития патогена сложились лишь в конце вегетации. В I декаде сентября ГТК достиг 2,67, а в III — 3,58, что соответствует категории «влажно» и создает оптимальные предпосылки для активного спороношения *P. oryzae*. Однако к этому времени большинство сортов риса находились в фазе восковой или полной спелости, характеризующейся снижением метаболической активности и, как следствие, пониженной восприимчивостью к инфекции. Несмотря на это, пик конидиогенеза, зафиксированный с помощью споровых ловушек, пришелся на август — сентябрь, что коррелирует с периодом резких суточных перепадов температур и выпадения обильной росы — ключевыми факторами, способствующими прорастанию конидий и проникновению патогена в ткани растений.

На рисунке 1 в графической форме представлена динамика изменения гидротермического коэффициента (ГТК) за вегетационный период 2024 года.

Графическая интерпретация динамики ГТК за вегетационный период наглядно демонстрирует резкий контраст между засушливым началом и влажным завершением вегетации. Такая асимметрия климатических условий оказала существенное влияние на временную структуру инфекционного процесса, сместив его пик на более поздние сроки и снизив потенциальный ущерб для урожая. Полученные данные подтверждают высокую чувствительность развития пирикулярриоза к гидротермическому режиму и обосновывают использование ГТК в качестве интегрального индикатора риска вспышек болезни.

На основе многолетних наблюдений лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «ФНЦ риса» и анализа литературных источников [8–11] были уточнены диапазоны и оптимум экологических факторов, способствующих различным стадиям жизненного цикла *Pyricularia oryzae*. Полученные данные систематизированы в таблице 2.

Анализ таблицы 2 показывает, что развитие пирикулярриоза риса, вызываемого *Pyricularia oryzae* Cav., определяется комплексным воздействием температуры, влажности воздуха и продолжительности увлажнения листовой поверхности. Оптимальные условия для ключевых стадий жизненного цикла патогена — прорастания конидий, формирования апрессориев и инвазии тканей — складываются при температуре 25–28 °С, относительной влажности воздуха выше 89% (оптимум 93%) и непрерывном увлажнении листьев не менее 6 часов. Совместное действие этих факторов создает благоприятные условия для вспышек болезни, что подтверждено данными мониторинга: при засушливых условиях ГТК < 0,88 заболевание подавлялось, а при влажном периоде ГТК > 2,6 наблюдался пик конидиогенеза.

Рис. 1. Динамика изменения гидротермического коэффициента (ГТК) за вегетационный период 2024 года
Fig. 1. Dynamics of changes in the hydrothermal coefficient during the vegetation period of 2024



Таблица 2. Диапазон и оптимальные условия среды, способствующие развитию пирикулярриоза риса
Table 2. Range and optimal environmental conditions that promote the development of rice blast

Условия	Стадия	Диапазон	Оптимум
Влажность листа	Все фазы вегетации	Постоянно увлажненная поверхность	> 6 часов
	Прорастание апрессория	10–33	25–28
Температура воздуха, °С	Формирование повреждений (влажные листья)	10–30	25–28 (в течение 4–5 суток)
	Рост мицелия	10–35	28
	Споруляция	10–35	25–28
	Распространение конидий	10–35	21–22
	Восприимчивость хозяина к пирикулярриозу	10–30	25–28
	Выживаемость мицелия в течение 18 месяцев	от -20 до -30	-30
Влажность воздуха, %	Рост мицелия	89–98	93
	Прорастание конидий	89–96	93
	Распространение конидий	85–90	90
	Развитие заболевания	89–98	93–95

При этом для распространения конидий отмечается сдвиг оптимума температуры в сторону более низких значений (21–22 °С), что может способствовать их сохранению и переносу в умеренно теплую погоду. Неблагоприятные условия (низкая влажность < 85%, температура за пределами диапазона 10–35 °С и кратковременное увлажнение) подавляют инфекционный процесс.

В ходе мониторинга воздушно-распространяемых патогенов с использованием пассивных споровых ловушек, установленных на опытном участке в рисосеющих зонах Краснодарского края, проведено микроскопическое исследование спор в период вегетации риса (июнь — сентябрь). Анализ спор на микроскопе позволил выявить микоконкомплекс грибных патогенов, включающий *Pyricularia oryzae* Cav., *Bipolaris oryzae* (Breda de Haan) Shoemaker и *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. Видовая идентификация грибов выполнена на основе морфологических признаков конидий и конидиеносцев в соответствии с международными таксономическими стандартами [12].

Наибольшую частоту встречаемости и концентрацию в воздушной среде продемонстрировал *Pyricularia oryzae*, который составил 78% от общего числа зарегистрированных конидий, что свидетельствует о его доминирующем положении в патогенном комплексе и высокой адаптивной способности к условиям юга России.

Отметим, что конидии *P. oryzae* были впервые зафиксированы в I декаде июня, однако видимые симптомы заболевания на растениях появились лишь во II декаде июля (с задержкой около 3 недель). Этот временной лаг обусловлен необходимостью сочетания благоприятных метеорологических условий (температуры 25–28 °С, относительной влажности воздуха выше 90% и непрерывного увлажнения лиственной поверхности не менее 8 часов) для успешного прорастания конидий, формирования апресориев и проникновения патогена в ткани растения.

Пик конидиогенеза *P. oryzae* пришелся на август — сентябрь, что совпало с фазой метелкообразования и резкими суточными перепадами температур (до 12 °С), способствующими выпадению обильной росы. Продолжительность росного периода составляла 7–10 часов, что создавало оптимальные условия для инфекции и привело к значительному поражению метелок, особенно у восприимчивых сортов.

Фитопатологический анализ семян 17 сортов риса (*Oryza sativa* L.), проведенный в рамках многолетних исследований (2013–2022 гг.), выявил наличие внутрисеменной инфекции, вызываемой фитопатогенными грибами *Pyricularia oryzae* Cavara, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., *Fusarium* spp., а также плесневыми микромицетами (*Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Mucor* spp.). Исследования осуществляли на основе усредненных данных, полученных в ходе ежегодного мониторинга семенного фонда, что обеспечивает высокую репрезентативность и актуальность полученных результатов для оценки долгосрочных тенденций в распространении и патогенности грибных ассоциаций.

Наиболее значимое негативное влияние на показатели всхожести и энергии прорастания оказал *Alternaria alternata*. Полученные данные согласуются с литературными сведениями о высокой токсигенности данного вида. В работе S. Choudhary и R.P. Ghasolia описывается, что *Alternaria alternata* оказывает негативное влияние на всхожесть семян и энергию прорастания риса. Авторы установили, что инфицирование семян данным патогеном приводит к значительному снижению лабораторной всхожести и полевой всхожести, а также к ослаблению роста проростков: уменьшению длины корней и побегов, снижению биомассы и общей жизнеспособности сеянцев. Эти эффекты обусловлены в том числе синтезом вторичных метаболитов, в частности

Рис. 2. Метелка риса, пораженная альтернариозом. Фото лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «ФНЦ риса»

Fig. 2. Rice panicle affected by alternaria. Photo of the Laboratory of Immunity and Plant Protection of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Rice"



альтернариола и тениновой кислоты, которые подавляют дыхательные процессы и нарушают биоэнергетические функции в тканях зародыша и эндосперма.

Полученные данные подтверждают высокую патогенность *A. alternata* и ее способность снижать качество семенного материала, что согласуется с наблюдаемыми в полевых условиях проявлениями альтернариоза в виде оливкового бархатистого налёта на листьях, стеблях и метелках риса [13].

Возбудитель, проникая внутрь семян, продуцирует токсины, ухудшая качество семян, снижая их энергию прорастания и всхожесть (табл. 3).

Анализ представленных данных показал, что степень поражения семян *Alternaria* spp. коррелирует с понижением всхожести. Так, сорта с высоким уровнем инфицирования (например, Корнет — 62%, Биотех — 52%) демонстрируют более низкие показатели прорастания по сравнению с менее пораженными образцами.

Следует отметить, что идентификация микромицетов в ходе исследований осуществлялась

Таблица 3. Фитопатологический анализ семян риса
Table 3. Phytopathological analysis of rice seeds

№ п/п	Сорт	Всхожесть, %	Поражено, %			
			<i>Alternaria</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Pyricularia oryzae</i>	<i>Penicillium</i> pp., <i>Mucor</i> spp., <i>Aspergillus</i> spp.
1	Трио	92,0	34,0	7,0	5	–
2	Тритон	93,0	43,0	3,0	8	–
3	Диалог	97,0	40,0	2,0	–	–
4	Легенда	100,0	9,0	4,0	–	–
5	Корнет	97,0	62,0	3,0	5	–
6	Биотех	87,0	52,0	8,0	11	–
7	Регул-2	98,0	39,0	3,0	8	–
8	Юниор	89,0	48,0	3,0	3	5,0
9	Юбилейный -85	89,0	44,0	3,0	8	–
10	Валентина	94,0	45,0	6,0	ед.	–
11	Каурис	85,0	20,0	ед.	–	–
12	Каурис	96,0	5,0	ед.	–	–
13	Каурис (Зя очистка)	99,0	1,0	ед.	–	–
14	Наутилус	77,0	25,0	ед.	4	–
15	Наутилус	94,0	5,0	ед.	–	–
16	Полевик	94,0	6,0	ед.	–	–
17	Патриот	84,0	16,0	ед.	–	–

с использованием микроскопического анализа морфологических признаков конидий и мицелия. Грибы родов *Alternaria* и *Pyricularia* преимущественно колонизируют поверхность зерновки, проникая внутрь семян через микротрещины в покровах или в зоне цветковых чешуй. Грибница *A. alternata* и *P. oryzae* локализуется под цветковыми чешуями, а при благоприятных условиях — в тканях эндосперма (рис. 3, 4). Конидии данных патогенов обнаруживаются как на поверхности, так и в глубоких слоях семенной оболочки, что подтверждает их способность к внутрисеменному распространению.

В ходе многолетнего мониторинга (2013–2022 гг.) были проанализированы 13 158 сортообразцов риса на устойчивость к пирикулярриозу в контролируемых и полевых условиях. Оценку проводили по стандартной методике с использованием дифференциальных сортов и шкалы поражения листьев и метелок (0–9 баллов) в соответствии с международными протоколами IRRI. Результаты (рис. 5) показали, что из общего числа изученных образцов устойчивыми к *Pyricularia oryzae* оказались 1492 (11,3%), среднеустойчивыми — 5047 (38,4%), восприимчивыми — 6619 (50,3%) сортообразцов. Отбор образцов с полевой устойчивостью осуществляли на основе многолетних наблюдений в эпифитотийные годы, что позволило выделить генотипы с устойчивым фенотипом в условиях высокого патогенного давления.

Рис. 3. Конидии грибов рода *Pyricularia* (А) и *Alternaria* (Б) на цветковых чешуях зерновки риса. Фото лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «ФНЦ риса»

Fig. 3. Conidia of fungi of the genus *Pyricularia* (A) and *Alternaria* (B) on the flower scales of rice grains. Photo of the Laboratory of Immunity and Plant Protection of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Rice”

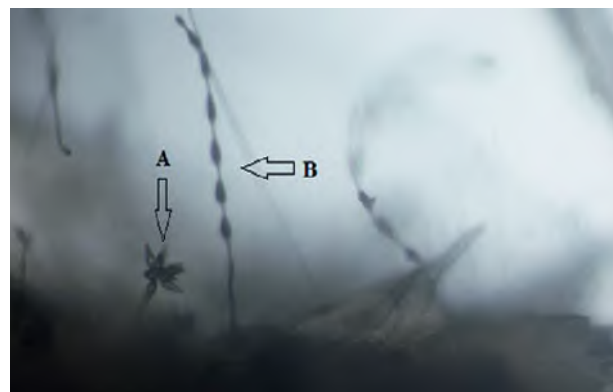
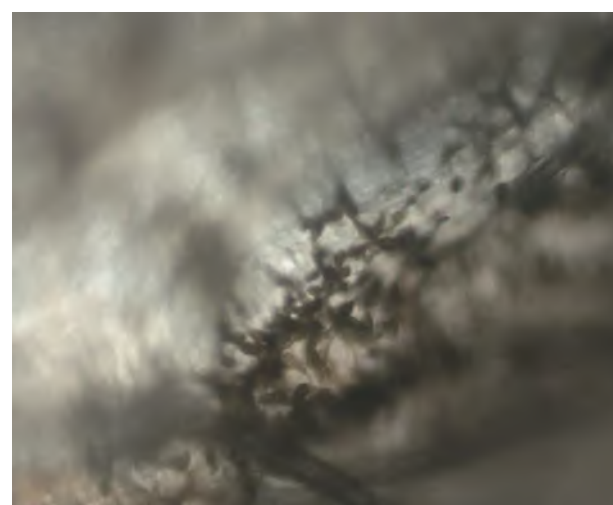


Рис. 4. Конидии и мицелий гриба рода *Alternaria*: А — под цветковыми чешуями, Б — в эндосперме зерновки риса. Фото лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «ФНЦ риса»

Fig. 4. Conidia and mycelium of the fungus of the genus *Alternaria*: A — under the flower scales, B — in the endosperm of the rice grain. Photo of the Laboratory of Immunity and Plant Protection of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Rice”



А(А)



Б(В)

На рисунке 6 отражена прогнозная модель изменения количества сортов риса по уровню устойчивости к пирикулярриозу до 2030 года по уровню устойчивости к пирикулярриозу.

На рисунке 6 представлена динамика изменения числа сортов риса по уровню устойчивости к пирикулярриозу с 2013 по 2022 год. По оси абсцисс отмечены годы наблюдений, по оси ординат — количество оцененных образцов, разделенных на три группы: устойчивые, среднеустойчивые и восприимчивые к *Pyricularia oryzae*. Точками на графике обозначены фактические данные за каждый год, а плавные кривые — результат аппроксимации этих данных полиномом 2-го порядка, построенным методом наименьших квадратов. Такой подход позволяет выявить нелинейные тенденции, которые сложно заметить при визуальном анализе отдельных точек. Высокие значения коэффициента детерминации (R^2 от 0,70 до 0,85) говорят о том, что модель достаточно точно отражает реальные изменения в структуре сортового состава. Это дает основание использовать ее для прогнозирования дальнейших тенденций в распределении устойчивых и восприимчивых форм.

Анализ графической зависимости демонстрирует четко выраженную тенденцию: количество образцов, относящихся к устойчивым сортам, систематически снижается на протяжении рассматриваемого периода. Напротив, наблюдается устойчивый рост доли как среднеустойчивых, так и особенно восприимчивых сортов. Такое перераспределение сортового фонда указывает на возможное ослабление генетической устойчивости рисовых агроценозов в целом.

Снижение присутствия устойчивых генотипов создает благоприятные условия для накопления инфекционного потенциала патогена, поскольку отсутствие эффективного генетического сопротивления способствует более активному циклу его размножения и распространения. Увеличение доли восприимчивых форм в свою очередь повышает вероятность масштабных вспышек пирикулярриоза, которые в условиях высокой влажности и оптимальной температуры могут привести к катастрофическим потерям урожая (в некоторых случаях до 70–100% при отсутствии адекватных фитосанитарных мер).

В связи с этим приоритетной задачей селекционной науки и аграрной политики становятся сохранение и расширение генофонда устойчивых сортов риса. Необходим переход к комплексной стратегии управления устойчивостью, включающей не только традиционную и молекулярную селекцию, но и широкий мониторинг патогенных популяций, оценку агроклиматических рисков и внедрение устойчивых агротехнологий.

Рис. 5. Распределение сортов риса по уровню устойчивости к пирикулярриозу

Fig. 5. Distribution of rice varieties by level of resistance to blast

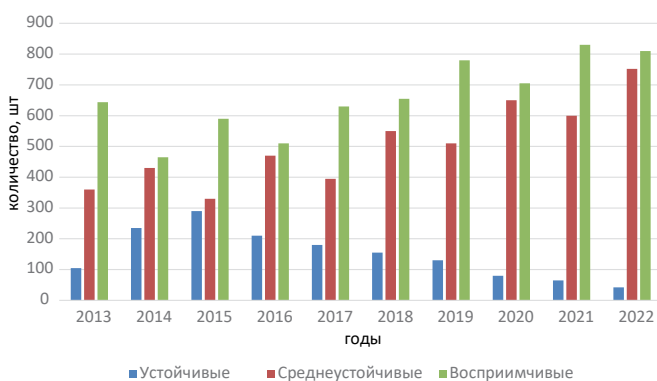
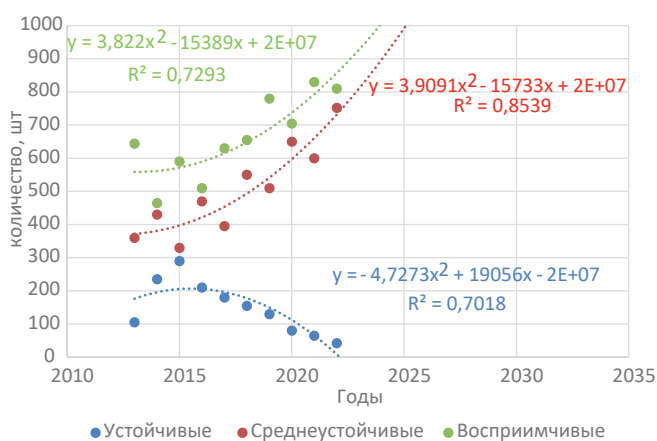


Рис. 6. Прогноз изменения сортов риса по уровню устойчивости к пирикулярриозу

Fig. 6. Forecast of changes in rice varieties by the level of resistance to blast



Выводы/Conclusions

В результате многолетнего (2013–2022 гг.) комплексного мониторинга развития пирикулярриоза риса (*Pyricularia oryzae* Cav.) в условиях Краснодарского края установлены ключевые эколого-физиологические факторы, определяющие инфекционный процесс: оптимальная температура 25–28 °С, относительная влажность воздуха выше 89% и непрерывное увлажнение листовой поверхности не менее 6 часов. Эти параметры легли в основу анализа фитосанитарной ситуации и объясняют пространственно-временную динамику заболевания, включая задержку первых симптомов в засушливые годы.

На основе анализа 13 158 сортов риса, включая сорта отечественной и зарубежной селекции, проведена оценка иммунологического спектра генофонда. Установлено, что лишь 11,3% образцов обладают устойчивостью к *P. oryzae*, 38,4% — среднеустойчивы, 50,3% — восприимчивы, что свидетельствует о высоком риске накопления инфекционного потенциала в агроценозах.

Впервые для условий юга России разработана количественная прогнозная модель на основе

полиномиальной регрессии, отражающая трансформацию сортового состава по уровню устойчивости. Модель с высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,70-0,85$) достоверно выявляет тенденцию к сокращению доли устойчивых форм и росту восприимчивых генотипов, что указывает на необходимость корректировки селекционной стратегии.

В качестве перспективных источников устойчивости выделены сорта отечественной селекции (Снежинка, Олимп, Южный Виола, Кумир, Привольный 4, Партнер, Крепыш, Яхонт, Наутилус, Соната, Сонет, Азовский, Рубин, Гарант, Кураж, Исток, Злата), рекомендованные для включения в

сортосмену и создание устойчивых агрофитотеннозов.

Для обеспечения устойчивого рисоводства в условиях изменяющегося климата и эволюции патогенных популяций необходим переход к интегрированной системе защиты, включающей: сохранение и популяризацию устойчивых сортов, регулярный мониторинг патогена, прогнозирование рисков на основе гидротермических индексов и применение научно обоснованных агротехнологий. Реализация такой стратегии позволит минимизировать зависимость от химических фунгицидов и обеспечить стабильность урожайности риса в долгосрочной перспективе.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2025-574.

FUNDING

The article was prepared with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, grant No. 075-15-2025-574.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ballini E. *et al.* A genome-wide meta-analysis of rice blast resistance genes and quantitative trait loci provides new insights into partial and complete resistance. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2008; 21(7): 859–868. <https://doi.org/10.1094/MPMI-21-7-0859>
- Klaubauf S. *et al.* Resolving the polyphyletic nature of *Pyricularia* (Pyriculariaceae). *Studies in Mycology*. 2014; 79: 85–120. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.09.004>
- Tosa Y., Chuma I. Classification and parasitic specialization of blast fungi. *Journal of General Plant Pathology*. 2014; 80(3): 202–209. <https://doi.org/10.1007/s10327-014-0513-7>
- Ou S.H. Disease resistance in rice. *Mutation Breeding for Disease Resistance*. Vienna: IAEA. 1971; 78–85.
- Gómez-Ariza J. *et al.* Sucrose-mediated priming of plant defense responses and broad-spectrum disease resistance by overexpression of the maize pathogenesis-related PRms protein in rice plants. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2007; 20(7): 832–842. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-7-0832>
- Брагина О.А., Оглы А.М. Устойчивость сортов риса к возбудителю пирикулярноза в различных агроэкологических условиях Краснодарского края. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2020; 84: 95–99. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-84-95-99>
- U.S.-Japan Cooperative Research on the International Pathogenic Races of the Rice Blast Fungus, *Pyricularia Oryzae* Cav., and their International Differentials. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 1967; 33(S): 1–87.
- Kato H. *et al.* Pathogenicity, Mating Ability and DNA Restriction Fragment Length Polymorphisms of *Pyricularia* Populations Isolated from Gramineae, Bambusideae and Zingiberaceae Plants. *Journal of General Plant Pathology*. 2000; 66(1): 30–47. <https://doi.org/10.1007/PL00012919>
- Murata N., Aoki T., Kusaba M., Tosa Y., Chuma I. Various species of *Pyricularia* constitute a robust clade distinct from *Magnaporthe salvinii* and its relatives in Magnaporthaceae. *Journal of General Plant Pathology*. 2014; 80(1): 66–72. <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0477-z>
- Nürnberg T., Brunner F., Kemmerling B., Piater L. Innate immunity in plants and animals: striking similarities and obvious differences. *Immunological Reviews*. 2004; 198(1): 249–266. <https://doi.org/10.1111/j.0105-2896.2004.0119.x>
- Okagaki L.H. *et al.* Genome Sequences of Three Phytopathogenic Species of the Magnaporthaceae Family of Fungi. *G3 Genes|Genomes|Genetics*. 2015; 5(12): 2539–2545. <https://doi.org/10.1534/g3.115.020057>

REFERENCES

- Ballini E. *et al.* A genome-wide meta-analysis of rice blast resistance genes and quantitative trait loci provides new insights into partial and complete resistance. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2008; 21(7): 859–868. <https://doi.org/10.1094/MPMI-21-7-0859>
- Klaubauf S. *et al.* Resolving the polyphyletic nature of *Pyricularia* (Pyriculariaceae). *Studies in Mycology*. 2014; 79: 85–120. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.09.004>
- Tosa Y., Chuma I. Classification and parasitic specialization of blast fungi. *Journal of General Plant Pathology*. 2014; 80(3): 202–209. <https://doi.org/10.1007/s10327-014-0513-7>
- Ou S.H. Disease resistance in rice. *Mutation Breeding for Disease Resistance*. Vienna: IAEA. 1971; 78–85.
- Gómez-Ariza J. *et al.* Sucrose-mediated priming of plant defense responses and broad-spectrum disease resistance by overexpression of the maize pathogenesis-related PRms protein in rice plants. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2007; 20(7): 832–842. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-7-0832>
- Bragina O.A., Ogly A.M. Resistance of rice varieties to the pathogen pyricularia in different agroecological conditions of Krasnodar Territory. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2020; 84: 95–99 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1999-1703-84-95-99>
- U.S.-Japan Cooperative Research on the International Pathogenic Races of the Rice Blast Fungus, *Pyricularia Oryzae* Cav., and their International Differentials. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 1967; 33(S): 1–87.
- Kato H. *et al.* Pathogenicity, Mating Ability and DNA Restriction Fragment Length Polymorphisms of *Pyricularia* Populations Isolated from Gramineae, Bambusideae and Zingiberaceae Plants. *Journal of General Plant Pathology*. 2000; 66(1): 30–47. <https://doi.org/10.1007/PL00012919>
- Murata N., Aoki T., Kusaba M., Tosa Y., Chuma I. Various species of *Pyricularia* constitute a robust clade distinct from *Magnaporthe salvinii* and its relatives in Magnaporthaceae. *Journal of General Plant Pathology*. 2014; 80(1): 66–72. <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0477-z>
- Nürnberg T., Brunner F., Kemmerling B., Piater L. Innate immunity in plants and animals: striking similarities and obvious differences. *Immunological Reviews*. 2004; 198(1): 249–266. <https://doi.org/10.1111/j.0105-2896.2004.0119.x>
- Okagaki L.H. *et al.* Genome Sequences of Three Phytopathogenic Species of the Magnaporthaceae Family of Fungi. *G3 Genes|Genomes|Genetics*. 2015; 5(12): 2539–2545. <https://doi.org/10.1534/g3.115.020057>

12. Rijal S., Devkota Y. A review on various management methods of rice blast disease. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*. 2020; 4(1): 29–33.

<https://doi.org/10.26480/mjsa.01.2020.29.33>

13. Choudhary S., Ghasolia R.P. Effect of *Alternaria alternata* on seed germination and seedling vigour. *International Journal of Agriculture and Nutrition*. 2023; 5(1-A): 12–14.

<https://doi.org/10.33545/26646064.2023.v5.i1a.91>

ОБ АВТОРАХ

Олеся Анатольевна Брагина

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
olesya.bragina.1984@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4120-6836>

Мария Дмитриевна Говердовская

младший научный сотрудник
shagina-95@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8465-8122>

Ирина Анатольевна Лыско

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
ilysko@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-1006-688X>

Любовь Владимировна Есаулова

кандидат биологических наук, заместитель директора
по научной работе
l.esaulova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0907-2524>

Федеральный научный центр риса,
пос. Белозерный, 3, Краснодар, 350921, Россия

12. Rijal S., Devkota Y. A review on various management methods of rice blast disease. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*. 2020; 4(1): 29–33.

<https://doi.org/10.26480/mjsa.01.2020.29.33>

13. Choudhary S., Ghasolia R.P. Effect of *Alternaria alternata* on seed germination and seedling vigour. *International Journal of Agriculture and Nutrition*. 2023; 5(1-A): 12–14.

<https://doi.org/10.33545/26646064.2023.v5.i1a.91>

ABOUT THE AUTHORS

Olesya Anatolyevna Bragina

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
olesya.bragina.1984@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4120-6836>

Maria Dmitrievna Goverdovskaya

Junior Researcher
shagina-95@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8465-8122>

Irina Anatolyevna Lysko

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
ilysko@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-1006-688X>

Lyubov Vladimirovna Esaulova

Candidate of Biological Sciences, Deputy Director
for Scientific Work
l.esaulova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0907-2524>

Federal Scientific Center of Rice,
3 Belozerny Settlement, Krasnodar, 350921, Russia