

## Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-6-146-153  
УДК: 635.21:631.524.86

О.Г. Казаков<sup>1</sup>, О.Б. Поливанова<sup>1\*</sup>,  
М.К. Деревягина<sup>1</sup>, В.А. Бiryukova<sup>1</sup>,  
С.К. Темирбекова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха» (ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха») 140051, Россия, Московская область, г.о. Люберцы, д.п. Красково, улица Лорха, дом 23, литера «В»

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии 143050, Россия, Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5

\*Автор для переписки:  
polivanovaoks@gmail.com

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха согласно тематическому плану НИР по теме FGGM-2024-0014.

**Вклад авторов:** Казаков О.Г.: концептуализация, руководство исследованием, администрирование данных, проведение исследований, создание черновика рукописи. Поливанова О.Б.: верификация данных, формальный анализ, создание рукописи и ее редактирование. Деревягина М.К.: методология, проведения исследований. Бiryukova В.А.: проведение исследований. Темирбекова С.К.: ресурсы.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Казаков О.Г., Поливанова О.Б., Деревягина М.К., Бiryukova В.А., Темирбекова С.К. Выявление устойчивых к фитофторозу гибридов картофеля с использованием маркеров *R*-генов и искусственного заражения. *Овощи России*. 2025;(6):146-153. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-6-146-153>

**Поступила в редакцию:** 29.09.2025

**Принята к печати:** 18.11.2025

**Опубликована:** 18.12.2025

Oleg G. Kazakov<sup>1</sup>, Oksana B. Polivanova<sup>1\*</sup>,  
Marina K. Derevyagina<sup>1</sup>, Victoria A. Biryukova<sup>1</sup>,  
Sulukhan K. Temirbekova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian Potato Research Center  
23, Lorkha str., letter "B", Moscow region,  
Lyubertsy, Kraskovo village, 140051, Russia

<sup>2</sup>All-Russian Scientific Research Institute of  
Phytopathology  
Institut str, property 5, Moscow Region,  
village Bolshye Vyazemy, 143050, Russia

\*Corresponding author: polivanovaoks@gmail.com

**Funding.** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center of Potatoes named after A.G. Lorkh in accordance with the thematic plan of research on the topic FGGM-2024-0014.

**Authors' contribution:** Kazakov O.G.: conceptualization, supervision, data curation, investigation, writing – original draft. Polivanova O.B.: validation, formal analysis, writing – review & editing. Derevyagina M.K.: methodology, investigation. Biryukova V.A.: investigation. Temirbekova S.K.: resources.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**For citations:** Kazakov O.G., Polivanova O.B., Derevyagina M.K., Biryukova V.A., Temirbekova S.K. Identification of potato hybrids resistant to late blight using *R*-gene markers and artificial infection. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(6):146-153. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-6-146-153>

**Received:** 29.09.2025

**Accepted for publication:** 18.11.2025

**Published:** 18.12.2025

# Выявление устойчивых к фитофторозу гибридов картофеля с использованием маркеров *R*-генов и искусственного заражения



## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Фитофтороз является заболеванием, сопряженным со значительными экономическими потерями картофеля. Потери от данного заболевания в России в среднем составляют более 4 млн тонн ежегодно. Наиболее оптимальной стратегией по сдерживанию распространения патогена и борьбы с ним является создание устойчивых сортов картофеля, несущих один или несколько *Rpi*-генов в совокупности с высоким уровнем горизонтальной устойчивости. Цель исследования – выделить фитофтороустойчивые генотипы среди гибридов различного генетического происхождения и соотнести их уровень устойчивости с наличием *Rpi*-генов.

**Материалы и методы.** Объектом исследования были гибриды картофеля различного генетического происхождения, отобранные по хозяйственно-биологическим признакам из 45 комбинаций скрещиваний. Устойчивость к фитофторозу оценивали лабораторным методом, путем искусственного заражения листьев и клубней. Оценка наличия молекулярных маркеров производилась методами ПЦР с использованием ранее опубликованных SCAR-маркеров 5-ти *Rpi*-генов (*R1*, *R2*, *R3a*, *R3b* и *Rpi-blb1* = *Rpi-sto1*).

**Результаты.** В рамках скрининга было выявлено 24 гибрида с высокой и очень высокой устойчивостью листьев к фитофторозу, большинство из которых несут хотя бы один *Rpi*-ген. Преобладающим среди очень высокоустойчивых и устойчивых образцов является ген *R2*. Ген *R1* чаще встречается в группе гибридов со средней устойчивостью и с отсутствием устойчивости листьев. Уровень устойчивости клубней не зависит от количества и сочетания *Rpi*-генов и, вероятно, контролируется другим набором генов. Полученные результаты отражают сложность взаимодействия генотипа и фенотипа в системе «растение картофеля – *Phytophthora infestans*». Для повышения эффективности использования молекулярных маркеров в селекции при получении и отборе фитофтороустойчивых генотипов картофеля необходимо расширить линейку тестируемых маркеров известных *R*-генов, проводить анализ исходных родительских форм, на основании которого вести оценку гибридного потомства.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

картофель, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, устойчивость к фитофторозу, молекулярные маркеры, традиционная и маркер-вспомогательная селекция

# Identification of potato hybrids resistant to late blight using *R*-gene markers and artificial infection

## ABSTRACT

**Relevance.** Late blight is a disease associated with significant economic losses in potatoes. Losses from this disease in Russia average over 4 million tons annually. The optimal strategy for containing and combating the spread of the pathogen is the development of resistant potato varieties carrying one or more *Rpi* genes combined with a high level of horizontal resistance.

The aim of research. To identify late blight-resistant genotypes among hybrids of different genetic origins and correlate their resistance level with the presence of *Rpi* genes.

**Materials and methods.** The study involved potato hybrids of different genetic origins, selected for their agronomic and biological traits from 45 crosses. Resistance to late blight was assessed using a laboratory method, artificially infecting leaves and tubers. The presence of molecular markers was assessed using PCR methods using previously published SCAR markers for five *Rpi* genes (*R1*, *R2*, *R3a*, *R3b*, and *Rpi-blb1* = *Rpi-sto1*).

**Results.** The screening identified 24 hybrids with high and very high foliar resistance, most of which carried at least one *Rpi* gene. The *R2* gene was predominant among the very highly resistant and resistant samples. The *R1* gene was more common in the group of hybrids with moderate resistance and without leaf resistance. Tuber resistance level does not depend on the number and combination of *Rpi* genes and is likely controlled by a different set of genes. These results reflect the complexity of genotype-phenotype interactions in the potato plant-*Phytophthora infestans* system. To increase the efficiency of using molecular markers in breeding for the production and selection of late blight-resistant potato genotypes, it is necessary to expand the range of tested markers of known *R*-genes and conduct an analysis of the original parental forms, on the basis of which to evaluate the hybrid offspring.

## KEYWORDS:

potato, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, resistance to late blight, molecular markers, traditional and marker-assisted selection

## Введение

Фитофтороз (возбудитель оомицет *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) остается одной из самых распространенных и вредоносных болезней картофеля, ежегодные потери в картофелеводческих хозяйствах России составляют более 4 млн тонн. Болезнь наносит серьезный экономический ущерб картофелю, приводя к существенным потерям урожайности – до 70% и более, при этом значительно ухудшается качество клубней [1].

В полевых условиях источниками первичной инфекции фитофтороза являются больные семенные клубни, перезимовавшие в почве ооспоры, а также зооспорангии, принесенные ветром [2]. Дополнительную нагрузку оказывает изменение климата в сторону увеличения безморозного периода, что благоприятно сказывается на сохранении источников первичной инфекции [3].

Борьба с фитофторозом связана со значительными материальными затратами на обработку фунгицидами, что влечет дополнительную экологическую нагрузку на окружающую среду и представляет угрозу для здоровья человека [3]. При этом при росте средней температуры на 1 °С, период применения фунгицидов для защиты картофеля от фитофтороза удлиняется на 10–20 дней, в зависимости от количества осадков [5].

В настоящее время наиболее предпочтительным способом борьбы с *P. infestans* и сдерживания распространения патогена является выведение новых сортов картофеля с долговременной устойчивостью [6]. Устойчивость к фитофторозу исходного материала картофеля и создаваемых на их основе новых сортов, независимо от их конечного целевого использования, остается одной из важнейших задач селекции. Периодически в отдельные годы складываются благоприятные условия для развития болезни. Затяжные дожди, повышенная влажность воздуха и температурные скачки – оптимальные погодные условия для развития фитофтороза. Устойчивые сорта гарантируют существенное снижение рисков потери урожая, задерживая начало и интенсивность развития эпифитотии, и зависимость проведения опрыскивания от погодных условий. Более того, развитие направления органического картофелеводства невозможно без наличия устойчивых к фитофторозу сортов картофеля [2].

Устойчивые к фитофторозу сорта картофеля несут в себе доминантные гены устойчивости к *P. infestans* – *Rpi*-гены. Интрогрессия *Rpi*-генов в сорта культурного картофеля осуществляется от диких видов *Solanum* как методами гибридизации, так и посредством генно-инженерных манипуляций [7]. В настоящее время охарактеризованы более 70 *Rpi*-генов, донором которых потенциально являются 32 диких видов *Solanum*, большинство из которых клубненосные [8]. В практической селекции в основном используют образцы с *Rpi*-генами, источниками которых являются дикие виды картофеля из Северной и Центральной Америки – *S. bulbocastanum* Dunal, *S. demissum* Lindl., *S. stoloniferum* Schldl. [9].

Размножение оомицета *P. infestans* как в бесполой, так и в половой форме в сочетании с быстро эволюционирующими генами-эффекторами *R*, необходимыми для успешной инфекции [10], делает его быстро эволюционирующим патогеном, который легко генерирует новые вирулентные штаммы [11], что значительно

затрудняет выведение устойчивых сортов картофеля. Даже сочетание нескольких генов устойчивости от *S. demissum* в одном сорте не всегда приводит к стабильной резистентности [12]. Пирамидирование различных *Rpi*-генов в сочетании с высокой горизонтальной устойчивостью к патогену фитофтороза картофеля может стать решением для повышения как долговременности, так и уровня устойчивости [13].

Ряд исследователей отмечают, что не только постоянно нарастает вредоносность фитофтороза, но и на 1,0-1,5 месяца сдвинулось проявление первых симптомов заболевания [14]. Это означает, что поражаться начинают растения на начальных этапах онтогенеза, а наличие сильного прессинга фитофтороза увеличивает риск преодоления генов устойчивости. Заражение клубней возможно с самых ранних этапов их формирования и до уборки урожая. Отмечаются также случаи перезаражения в хранилищах. При этом связь степени пораженности клубней с динамикой болезни на листьях не является устойчивой. Сильное поражение клубней возможно как при высокой, так и при низкой степени пораженности листьев [15]. Поэтому необходимо расширять генетическую основу контроля устойчивости, привлекая к созданию исходного родительского материала новые гены.

Учитывая риски, которые обусловлены более ранним возникновением признаков болезни, увеличением скорости развития в течение вегетационного сезона и возможным числом генераций на фоне снижения эффективности принятых ранее методов защиты, возрастает роль генетической устойчивости сортов.

В селекции картофеля при отборе по признаку фитофтороустойчивости ориентируются на полевые и лабораторные оценки признака. При этом новые технологии селекции, основанные на молекулярном маркер-опосредованном отборе, призваны ускорить выделение генотипов, несущих определенные *R*-гены.

Цель исследования – выделить фитофтороустойчивые генотипы среди гибридов различного генетического происхождения и соотнести их уровень устойчивости с наличием и количеством *Rpi*-генов.

## Материалы и методы исследований

**Материалы исследования.** В исследование были включены гибриды картофеля различного генетического происхождения, отобранные по хозяйственно-биологическим признакам из 45 комбинаций скрещиваний. В их происхождении было задействовано 47 исходных родительских форм, 7 форм использовали в прямых и обратных скрещиваниях. Данные о происхождении гибридов представлены в таблице 1.

В рамках оценки лабораторной устойчивости к фитофторозу листьев и клубней было исследовано 60 гибридов 3-го года методом искусственного заражения. Также гибриды были проанализированы на наличие молекулярных маркеров *Rpi*-генов.

**Оценка устойчивости листьев к фитофторозу.** Оценка листьев производилась методом искусственного заражения изолетом сложного состава (предоставлен Всероссийским научно-исследовательским институтом фитопатологии), включающего гены вирулентности 1,2,3,4,5,6,7...xyz фитофтороза. Для оценки использовали по три листа со среднего яруса, взятые у отдель-

Таблица 1. Молекулярные маркеры, использованные в исследовании  
Table 1. Molecular markers used in the study

Наименование маркера	Нуклеотидная последовательность праймеров	Размер ПЦР-продукта, п. о.	Температура отжига, °С	Ссылка
<i>IR1</i>	F: CACTCGTGACATATCCTCACTA R: GTAGTACCTATCTTATTTCTGCAAGAAT	1205	65	[17]
<i>R2</i>	F: GCTCCTGATACGATCCATG R: ACGGCTTCTTGAATGAA	686	54	[18]
<i>R3a</i>	F: TCCGACATGTATTGATCTCCCTG R: AGCCACTTCAGCTTCTTACAGTAGG	1380	64	[19]
<i>R3b</i>	F: GTCGATGAATGCTATGTTCTCGAGA R: ACCAGTTTCTTGAATTCCAGATTG	378	64	[19]
<i>Rpi-blb1 = Rpi-sto1</i>	F: ACCAAGGCCACAAGATTCTC R: CCTGCGGTTCCGGTTAATACA	890	65	[20]

ных растений. Суспензия для заражения готовилась из расчета 30-35 тыс. зооспорангий на 1 мл. Лабораторная оценка устойчивости листьев к фитофторозу складывается как средняя между двумя учетами. В ходе первого учета спустя 3 суток после заражения оценивается степень проникновения патогена. В последующие 24 часа определяют динамику распространения патогена в растительной ткани. Для оценки уровня поражения листьев использовалась 9-ти балльная шкала, где наивысший балл характеризовал отсутствие признаков поражения [16].

**Оценка устойчивости клубней к фитофторозу.** Для заражения клубней использовали инокулюм того же сложного состава, что и для искусственного заражения листьев. Целые клубни, по 5 шт. каждого образца, помещали в суспензию инокулюма (20-25 зооспорангий в поле зрения микроскопа) на 3 минуты. Далее клубни выдерживались в климатической проветриваемой камере (влажность 80-90%, температура 18...20°C) в течение 15 суток, после чего производился учет. Оценивалась как степень поражения поверхности клубня, так и глубина поражения. Устойчивость оценивалась по 9-ти балльной шкале, где 9 – отсутствие признаков фитофтороза как на поверхности, так и на срезе клубня. Опыт проводился в трехкратной повторности [16].

Определение наличия маркеров генов устойчивости к фитофторозу. Оценка наличия молекулярных маркеров производилась методами ПЦР с использованием опубликованных SCAR-маркеров 5-ти *Rpi*-генов (*R1*, *R2*, *R3a*, *R3b* и *Rpi-blb1 = Rpi-sto1*) [17, 18, 19, 20]. Информация о нуклеотидных последовательностях праймеров для проведения ПЦР представлена в таблице 1.

Таблица 2. Результаты теста Шапиро-Уилка  
Table 2. Shapiro-Wilk test results

Переменная	W	p-value
Количество R-генов	0,806	1.946e-11<0,05
Баллы устойчивости листьев	0,966	0,09>0,05
Баллы устойчивости клубней	0,908	0,0002<0,05

На первом этапе производили экстракцию геномной ДНК из ткани листа с использованием СТАВ-буфера. Ткань листа (навеска около 0,75 г) измельчали с использованием пестика и ступки, после чего около 100 мг измельченной ткани переносили в микроцентрифужную пробирку с 600 мкл экстракционного буфера (50 mM Трис, pH 8; 0,7 M NaCl; 10 mM ЭДТА; 1% СТАВ). Образцы инкубировали в течение 1 часа, периодически перемешивая с помощью вортекса. После инкубации следовало центрифугирование при 20000 g в течение 10 минут. Супернатант переносили в новые пробирки, добавляли 800 мкл смеси хлороформ : изоамиловый спирт (24:1), перемешивали, переворачивая пробирки, и центрифугировали 5 минут при 15000 g. После центрифугирования отбирали водную фазу и производили осаждение ДНК изопропанолом (1,5 объема). Промыву ДНК осуществляли 70 % этанолом. Полученную ДНК растворяли в 50 мкл ТЕ-буфера.

ПЦР-амплификацию осуществляли при параметрах, соответствующих используемым парам праймеров. Объем реакционной смеси для ПЦР составлял 25 мкл и включал 1× реакционный буфер, 0,25 mM дНТФ, 2,5 mM хлорида магния, 0,2 μM каждого из праймеров, 1 ед. Таq-полимеразы и геномную ДНК (около 10 нг на реакцию). При проведении ПЦР использовались следующие параметры амплификации: начальная денатурация – 95°C в течение 5 минут; денатурация (94°C, 30 секунд), отжиг праймеров (соответствующая температура отжига, 20 секунд), элонгация (72°C, 30 секунд) – 35 циклов; финальная элонгация – 72°C в течение 5 минут.

Разделение продуктов амплификации производилось в 1,5% агарозном геле, окрашенном бромидом этидия с последующей визуализацией с использованием трансиллюминатора.

**Статистическая обработка полученных данных.** Полученные экспериментальные данные были обработаны с использованием R и Excel. Цель анализа – оценить, связано ли

наличие и количество идентифицированных маркеров R-генов с балльной оценкой проявления признака устойчивости клубней и листьев. Нулевая гипотеза – отсутствие связи между наличием/количеством R-генов и баллом устойчивости. На первом этапе производилась оценка нормальности распределения с помощью теста Шапиро-Уилка, результаты которой представлены в таблице 2.

Так как распределение отличается от нормального для большинства из переменных, для оценки корреляции использовался коэффициент Спирмена. Для определения, связано ли наличие R-генов с уровнем проявления признака, использовался тест Манна-Уитни.

### Результаты исследований

В 2024 году развитие фитофтороза в полевых условиях было незначительным, разница по этому показателю между устойчивыми и восприимчивыми образцами не проявилась. Данные по устойчивости гибридов картофеля были получены в лабораторных условиях методом искусственной инокуляции.

Результаты лабораторной оценки листьев и клубней представлены в таблице 3. Среди 60 гибридов 3-го года по устойчивости листьев к фитофторозу наибольшую группу составили генотипы со средней устойчивостью – 18 шт., с высокой устойчивостью – 14 шт., очень высокой – 11 шт. и 17 гибридов показали низкую и очень низкую устойчивость. По устойчивости клубней к фитофторозу наибольшую группу составили гибриды с низкой устойчивостью – 20 шт., с высокой устойчивостью – 12 шт., очень высокой – 17 шт. и 12 гибридов показали среднюю устойчивость.

При этом уровень устойчивости листьев и клубней сочетался в одном генотипе по-разному. Гибриды 3069-380-22 и 3016-290-22 сочетали оба компонента устойчивости на очень высоком уровне, их балл устойчивости по листьям и клубням составил 8,1 и 9,0 соответственно. Остальные гибриды с очень высокой устойчивостью листьев к фитофторозу имели высокую, среднюю и низкую устойчивость клубней. В то же время генотипы с очень высокой устойчивостью клубней также имели высокую, среднюю и низкую устойчивость листьев.

В группе высокоустойчивых гибридов оценка поражения листьев фитофторозом в лабораторных условиях составила от 6,1 до 8,0 баллов. Клубни 2-х гибридов были высокоустойчивы, 6 гибридов – со средней устойчивостью и 4 - с низкой. По сочетанию этих показателей на высоком уровне выделились гибриды 3070-20-м-22 (Austin x Brooke), 3042-32-0-22 (Д5 x Варяг), 3072-26-м-22 (8х-2 x ВР 808).

Группы гибридов со средней и низкой устойчивостью листьев к фитофторозу оказались самыми многочисленными по количеству образцов – 18 и 17 форм соответственно. В обеих группах имелись образцы с градацией устойчивости клубней от очень высокой до очень низкой.

Наличие гибридов, сочетающих устойчивость к фитофторозу листьев и клубней в разных вариантах, подтверждает слабую их корреляцию. Расчет коэффициента корреляции между устойчивостью листьев и клубней в анализируемой выборке гибридов имел слабое отрицательное значение - 0,01. То есть оба компонента устойчивости сочетаются в одном генотипе как независимые признаки, предположительно контролируемые разными генетическими системами, хотя ранее были представлены доказательства того, что устойчивость листьев и клубней может быть обусловлена одним и тем же аллелем [21]. В других исследованиях также отмечено, что устойчивость листьев не всегда коррелирует с устойчивостью клубней [22, 23, 24]. Поэтому для отбора генотипов, сочетающих данные признаки на высоком уровне, требуется получение и анализ большого объема гибридного материала. В тоже время наблюдается сильная положительная корреляция (коэффициент 0,8) между первоначальным заражением поверхности листа или клубня и последующим распространением патогена.

Таблица 3. Происхождение и лабораторная оценка устойчивости к фитофторозу листьев и клубней гибридов картофеля 3-го года, 2024 год  
 Table 3. Origin and laboratory evaluation of resistance to late blight of leaves and tubers of potato hybrids of the 3rd year, 2024

№ п/п	Селекционный номер	Происхождение	Листья, балл			Клубни, балл		
			1-ый учёт	2-ой учёт	Общая оценка	Поверхность	Срез	Общая оценка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3001-13м-22	Brooke x Евпатий	6,0	3,4	4,7±1,8	9,0	9,0	9,0±0
2	3004-25о-22	715 x Сюрприз	6,3	3,9	5,1±1,7	7,3	8,3	7,8±0,7
3	3006-13м-22	Brooke x Евпатий	6,2	4,1	5,1±1,5	9,0	9,0	9,0±0
4	3007-11о-22	1018 x Сюрприз	8,7	6,9	7,8±1,3	2,3	4,7	3,5±1,7
5	3008-24о-22	1049 x Сюрприз	8,6	7,7	8,1±0,6	7,3	7,3	7,3±0
6	3011-34м-22	Надежда x Austin	8,2	7,2	7,7±0,7	5,0	5,7	5,3±0,5
7	3013-45м-22	Северное сияние x Adirondack Red	8,6	7,6	8,1±0,7	1,0	2,3	1,7±0,9
8	3015-25о-22	715 x Сюрприз	5,6	2,0	3,8±2,5	8,0	7,7	7,8±2,1
9	3016-29о-22	552 x 46-98-6	8,7	7,7	8,2±0,7	9,0	9,0	9,0±0
10	3017-35о-22	43В x 36-1к	6,2	2,7	4,4±2,5	3,7	2,3	3,0±1,0
11	3019-11о-22	1018 x Сюрприз	6,0	3,7	4,8±1,6	1,7	3,3	2,5±1,1
12	3020-15м-22	Северн. сияние x 3	4,3	1,0	2,7±2,3	1,0	4,3	2,7±2,3
13	3021-45м-22	Северное сияние x Adirondack Red	3,0	1,0	2,0±1,4	3,7	4,3	4,0±0,4
14	3022-47м-22	Newton x BP 808	5,3	2,0	3,7±2,3	6,3	8,0	7,2±1,2
15	3024-39м-22	Варяг x 4 CIP	6,6	4,7	5,6±1,3	8,7	8,7	8,7±0
16	3025-34м-22	Надежда x Austin	6,7	5,0	5,8±1,2	9,0	9,0	9,0±0
17	3026-22м-22	4CIP x Brooke	6,7	3,4	5,1±2,3	9,0	9,0	9,0±0
18	3028-22м-22	4CIP x Brooke	6,0	2,0	4,0±2,8	9,0	9,0	9,0±0
19	303032-м-22	Северное сияние x Евпатий	6,7	4,3	5,5±1,7	1,0	3,7	2,3±1,9
20	3031-39м	Варяг x 4 CIP	6,6	6,2	6,4±0,3	4,3	3,7	4,0±0,4
21	3032-25о-22	715 x Сюрприз	6,0	3,0	4,5±2,1	7,7	7,7	7,7±0
22	3033-40м-22	BP808 x Austin	6,6	4,2	5,4±1,7	9,0	9,0	9,0±0
23	3034-617о-21	4421-13 x Blue Congo	6,8	5,8	6,3±0,7	3,3	4,7	4,0±1,0
24	3036-13м-22	Brooke x Евпатий	6,1	4,7	5,4±1,0	9,0	9,0	9,0±0
25	3038-25о-22	715 x Сюрприз	5,0	1,0	3,0±2,8	5,0	5,0	5,0±0
26	3040-36о-22	74В x 36-1к	6,9	3,7	5,3±2,3	3,7	4,3	4,0±0,4
27	3042-32о-22	Д5 x Варяг	7,1	5,3	6,2±1,3	6,7	6,0	6,3±0,5
28	3045-36о-22	74В x 36-1к	7,6	5,7	6,6±1,3	4,3	5,0	4,7±0,5
29	3047-36о-22	74В x 36-1к	9,0	8,8	8,9±0,1	1,0	1,0	1,0±0
30	3049-26м-22	8x-2 x BP 808	7,1	6,0	6,6±0,8	5,0	7,0	6,0±1,4
31	3051-36о-22	74В x 36-1к	4,8	1,8	3,3±2,1	2,3	2,3	2,3±0
32	3055-617о-21	4421-13 x Blue Congo	2,1	1,0	1,6±0,8	1,0	1,0	1,0±0
33	3056-679о-21	Piroska x №27	7,4	5,2	6,3±1,6	1,0	3,0	2,0±1,4
34	3057-27о-22	1063 x ПС153-25	5,7	2,0	3,8±2,6	1,0	1,0	1,0±0
35	3061-44м-22	Innovator x 36-1	2,1	1,0	1,6±0,8	7,7	7,7	7,7±0
36	3062-610о-21	Piroska x №16	8,9	8,3	8,6±0,4	6,0	6,7	6,3±0,5
37	3067-46м-22	4 CIP x Евпатий	6,8	5,6	6,2±0,8	9,0	9,0	9,0±0
38	3068-26о-22	42-18(о)1 x 66-18	6,0	3,4	4,7±1,8	3,7	6,3	5,0±1,8
39	3069-38о-22	20412-5 x гала	8,9	7,6	8,2±0,9	9,0	9,0	9,0±0
40	3070-20м-22	Austin x Brooke	7,1	5,4	6,3±1,2	9,0	9,0	9,0±0
41	3071-22о-22	135м x Сюрприз	5,8	1,7	3,7±2,3	8,7	8,7	8,7±0
42	3072-26м-22	8x-2 x BP 808	7,2	5,1	6,2±1,5	6,7	6,0	6,3±0,5
43	3073-55о-22	64м x IVP48	6,1	5,0	5,6±0,8	1,0	3,0	2,0±1,4
44	3075-21о-22	1049 x ПС153-25	9,0	9,0	9,0±0	5,3	6,3	5,8±0,7
45	3077-44м-22	Innovator x 36-1	6,1	1,0	3,6±3,6	8,7	8,7	8,7±0
46	3078-10о-22	1049 x 1034	9,0	8,6	8,8±0,3	7,7	7,7	7,7±0
47	3079-679о-21	Piroska x №27	9,0	8,3	8,7±0,5	6,0	6,0	6,0±0
48	3081-36о-22	74В x 36-1к	6,8	5,8	6,3±0,7	5,0	5,0	5,0±0
49	3083-55о-22	64м x IVP48	6,0	4,0	5,0±1,4	2,3	3,7	3,0±1,0
50	3085-4о-22	1034 x Сюрприз	7,0	4,7	5,8±1,6	2,3	6,0	4,2±2,6
51	3086-10о-22	1049 x 1034	7,8	4,7	6,2±2,2	3,7	4,7	4,2±0,7
52	3087-610о-21	Piroska x №16	9,0	8,0	8,5±0,7	3,7	3,0	3,3±0,5
53	3089-15-11	66-18 x ПС153-25	5,2	1,0	3,1±3,0	9,0	9,0	9,0±0
54	3090-18м-22	Lady Claire x Brooke	3,3	1,0	2,2±1,6	6,3	6,3	6,3±0
55	3098-10о-22	1049 x 1034	7,1	5,0	6,1±,5	3,7	5,7	4,7±1,4
56	3103-5о-22	П153-25 x Сюрприз	5,8	2,3	4,1±2,5	1,0	5,0	3,0±2,8
57	3104-21о-22	1049 x ПС153-25	5,4	1,0	3,2±3,1	9,0	9,0	9,0±0
58	3105-619о-21	4421-13 x Blue Congo	6,3	1,0	3,7±3,7	3,3	4,3	3,8±0,7
59	3112-21о-22	1049 x ПС153-25	9,0	8,6	8,8±0,3	5,3	7,0	6,2±1,2
60	3113-18о-22	705 x ПС153-25	6,0	1,0	3,5±3,5	8,7	8,7	8,7±0

- очень высокоустойчивый (8,1-9,0 баллов);
- высокоустойчивый (6,1-8,0 баллов)
- среднеустойчивый (4,1-6,0 баллов)
- низкая устойчивость (2,1-4,0 балла)42

Таблица 4. Наличие маркеров генов устойчивости к фитофторозу  
Table 4. Presence of markers of genes for resistance to late blight

№	Селекционный номер	Маркеры генов устойчивости к фитофторозу			
		R1-1250	R2-686	R3a-1380	R3b-378
		ген R1	ген R2	ген R3a	ген R3b
1	3001-13м-22	-	-	-	-
2	3004-25о-22	-	-	-	-
3	3006-13м-22	+	-	-	-
4	3007-11о-22	-	+	-	-
5	3008-24о-22	-	+	-	-
6	3011-34м-22	+	+	+	+
7	3013-45м-22	-	-	-	-
8	3015-25о-22	-	-	-	-
9	3016-29о-22	-	+	-	-
10	3017-35о-22	-	-	-	-
11	3019-11о-22	-	-	-	-
12	3020-15м-22	-	-	-	-
13	3021-45м-22	-	-	-	-
14	3022-47м-22	-	-	+	+
15	3024-39м-22	-	-	-	-
16	3025-34м-22	-	-	+	+
17	3026-22м-22	+	-	-	-
18	3028-22м-22	-	-	-	-
19	3030-32м-22	-	-	-	-
20	3031-39м	-	-	-	-
21	3032-25о-22	-	-	-	-
22	3033-40м-22	+	-	-	-
23	3034-617о-21	-	-	-	-
24	3036-13м-22	+	-	-	-
25	3038-25о-22	-	-	-	-
26	3040-36о-22	-	-	-	-
27	3042-32о-22	-	-	+	+
28	3045-36о-22	+	-	-	-
29	3047-36о-22	+	+	-	-
30	3049-26м-22	+	+	-	-
31	3051-36о-22	+	-	-	-
32	3055-617о-21	-	-	-	-
33	3056-679о-21	-	-	+	+
34	3057-27о-22	-	-	-	+
35	3061-44м-22	+	-	-	-
36	3062-610о-21	-	+	+	+
37	3067-46м-22	-	-	-	-
38	3068-26о-22	-	+	-	+
39	3069-38о-22	-	-	-	-
40	3070-20м-22	-	-	-	-
41	3071-22о-22	+	-	-	-
42	3072-26м-22	+	-	-	-
43	3073-55о-22	-	-	-	-
44	3075-21о-22	-	+	-	-
45	3077-44м-22	-	-	-	+
46	3078-10о-22	+	+	-	-
47	3079-679о-21	-	+	-	-
48	3081-36о-22	+	-	-	-
49	3083-55о-22	+	-	-	-
50	3085-4о-22	-	-	-	-
51	3086-10о-22	+	+	-	+
52	3087-610о-21	-	+	-	+
53	3089-15-1-1	+	-	-	-
54	3090-18м-22	-	-	-	-
55	3098-10о-22	+	-	-	+
56	3103-5о-22	-	-	-	-
57	3104-21о-22	-	-	-	+
58	3105-619о-21	-	-	-	-
59	3112-21о-22	-	+	-	+
60	3113-18о-22	-	-	-	-

Часто генотипы с устойчивой ботвой имеют менее устойчивые клубни и в эпифитотийные годы оказываются сильно пораженными из-за длительного периода их контакта с патогеном, чем клубни менее устойчивых по ботве сортов. Поэтому высокая полевая устойчивость клубней к фитофторозу наиболее предпочтительна для производства [16].

Данные 1-го и 2-го учета устойчивости листьев показывают, что гибриды с итоговой оценкой менее 6,0 баллов, как правило, характеризуется средней устойчивостью к проникновению патогена и интенсивным распространением со значительными участками поражения на поверхности листа.

Устойчивые генотипы с оценкой более 6,0 баллов имеют высокую степень сопротивления к проникновению инфекции и сдержанную динамику ее дальнейшего распространения. Высокоустойчивые генотипы хорошо сопротивляются как проникновению, так и распространению патогена в ткани листа.

Программы селекции картофеля с устойчивостью к фитофторозу в настоящее время включают в себя стратегии с применением молекулярных маркеров, чтобы оценить возможность объединения нескольких генов устойчивости.

Подвергнутые лабораторной оценке гибриды были проанализированы на наличие молекулярных маркеров, ассоциированных с *Rpi*-генами. Гены *R1*, *R2*, *R3a* и *R3b* принадлежат дикому виду *S. demissum*, который широко ранее использовался для получения устойчивых к фитофторозу сортов картофеля. Данные гены принадлежат к классу CC-NB-LR [17] и отвечают за специфическое распознавание патогена и неспецифические защитные реакции растения. Однако данный тип устойчивости преодолевается появлением новых рас патогена [25].

Ген *Rpi-blb1* был впервые идентифицирован у *Solanum bulbocastanum*, как часть кластера из 4-х паралогов. Высококонсервативный гомолог *Rpi-blb1* был позднее выявлен в геноме *Solanum stoloniferum* [26].

Результаты оценки представлены в таблице 4.

В анализируемой выборке не было выявлено маркеров генов *Rpi-blb1*. Все обнаруженные маркеры связаны с *S. demissum*. Наиболее распространенным геном в представленной выборке является ген *R1* (идентифицирован у 17 образцов); гены *R2* и *R3b* были выявлены у 15 и 13 гибридов соответственно. Наименее распространенным геном является ген *R3a* – его наличие было подтверждено у трех образцов. У двух гибридов было выявлено сочетание из 3-х *R*-генов. Гибрид 3086-10о-22, имеющий генотип *R1+R2+R3b*, отличается высокой устойчивостью листьев в сочетании со средней устойчивостью клубней.

Гибрид 3062-610о-21 сочетает в себе гены *R2*, *R3a* и *R3b* и отличается очень высоким уровнем устойчивости листьев и высоким уровнем устойчивости клубней. Образец под селекционным номером 3011-34м-22, имея 4 гена устойчивости (*R1+R2+R3a+R3b*), также характеризуется высокой устойчивостью листьев и средней устойчивостью клубней.

Таблица 5. Частота встречаемости генотипов в анализируемой выборке

Table 5. Frequency of occurrence of genotypes in the analyzed sample

Генотип	Число образцов	Частота встречаемости
<i>R1</i>	13	0,216667
<i>R2</i>	5	0,083333
<i>R3b</i>	3	0,05
<i>R1+R2</i>	3	0,05
<i>R1+R3b</i>	1	0,016667
<i>R2+R3a</i>	1	0,016667
<i>R2+R3b</i>	3	0,05
<i>R3a+R3b</i>	4	0,066667
<i>R1+R2+R3b</i>	1	0,016667
<i>R2+R3a+R3b</i>	1	0,016667
<i>R1+R2+R3a+R3b</i>	1	0,016667
Маркеры <i>R</i> -генов не выявлены	24	0,4

Соотношение уровня устойчивости листьев по лабораторным тестам с количеством выявленных *R*-генов показано на рисунке 1. У большинства очень высокоустойчивых и устойчивых гибридов выявлено наличие хотя бы одного *R*-гена. Преобладающим среди очень высокоустойчивых и устойчивых образцов является ген *R2*. Ген *R1* чаще встречается в группе гибридов со средней устойчивостью и с отсутствием устойчивости. Примечательно, что среди среднеустойчивых и неустойчивых гибридов, несущих маркеры *R*-генов, практически отсутствуют образцы, имеющие маркер гена *R2*, за исключением одного среднеустойчивого гибрида.

Результаты статистических тестов представлены в таблице 6.

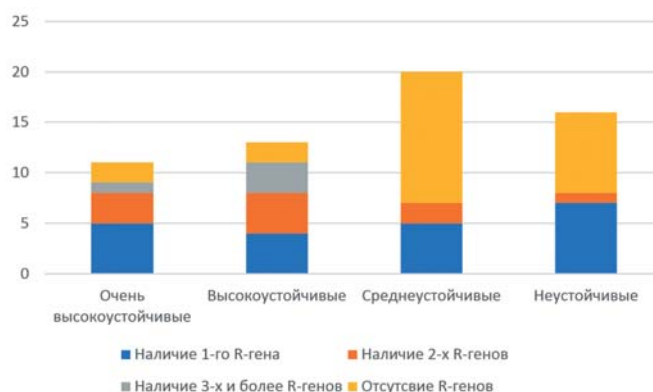


Рис. 1. Диаграмма распределения гибридов картофеля по уровню устойчивости ботвы к фитофторозу в зависимости от количества выявленных *R*-генов  
Fig. 1. Distribution diagram of potato hybrids by the level of resistance of tops to late blight depending on the number of identified *R*-genes

Полученные данные демонстрируют, что уровень устойчивости листьев в лабораторных тестах умеренно связан с количеством выявленных *R*-генов (коэффициент корреляции Спирмена – 0,387), при этом данная корреляция является статистически значимой ( $p < 0,05$ ).

На рисунке 2 представлена диаграмма распределения гибридов по уровню устойчивости клубней в зависимости от количества и наличия *R*-генов. Среди очень высокоустойчивых по клубням гибридов наиболее распространен ген *R1*, как и во всей исследуемой выборке.

Анализ данных продемонстрировал слабую и статистически не значимую связь между количеством *R*-генов и уровнем устойчивости клубней ( $\rho = 0,109$ ,  $p > 0,05$ ). Предположительно, устойчивость клубней к фитофторозу определяется генами, которые к настоящему времени не являются достаточно изученными.

Полученные данные демонстрируют, что образцы, имеющие 1 и более *R*-ген, отличаются большим баллом устойчивости листьев (рисунок 3А). Для устойчивости клубней различий в баллах между группами, несущими хотя бы один *R*-ген, и группами без *R*-генов не являются статистически значимыми (рисунок 3В).

Таким образом, можно предположить, что *R*-гены, донором которых является *S. demissum*, обуславливают устойчивость листьев картофеля, но не клубней. Аддитивный эффект от наличия нескольких *Rpi*-генов может быть отмечен в случае листьев, однако для более достоверных выводов необходимо большее количество изученных гибридов с разным сочетанием *R*-генов. Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными по влиянию других *R*-генов на устойчивость листьев и клубней.

Например, в работе [27] было показано, что трансгенные растения картофеля, трансформированные геном *Rpi-blb1*, отличаются высоким уровнем устойчивости листьев и отсутствием проявления устойчивости в клубнях. В исследовании [28], было показано, что наличие маркеров генов *Rpi-blb1* и *Rpi-bt1* коррелировало с устойчивостью ботвы, но не клубней. Это может быть

Таблица 6. Результаты статистических тестов  
Table 6. Results of statistical tests

Зависимость	Rho/W	p-value
Оценка корреляции Спирмена		
Устойчивость листьев и количество R-генов	Rho=0,387	0,002
Устойчивость клубней и количество R-генов	Rho=0,109	0,408
Тест Манна-Уитни		
Устойчивость листьев и наличие R-генов	W=279	0,015
Устойчивость клубней и наличие R-генов	W=369	0,278

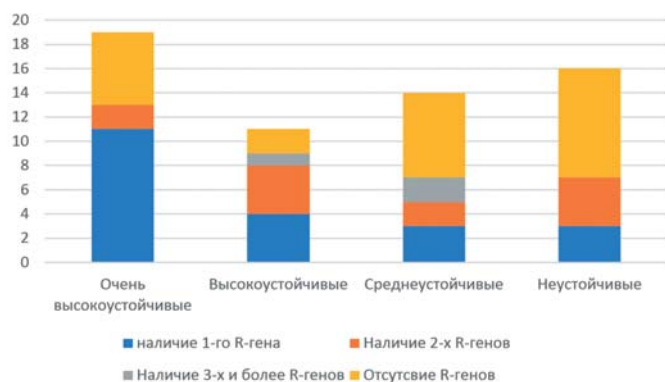


Рис. 2. Диаграмма распределения гибридов картофеля по уровню устойчивости клубней к фитофторозу в зависимости от количества выявленных R-генов

Fig. 2. Distribution diagram of potato hybrids by the level of tuber resistance to late blight depending on the number of identified R-genes

пирамидирование в одном генотипе может стать бесконечным с практической точки зрения процессом. По нашему мнению, оптимальным решением является сосредоточиться на создании сортов для конкретных природно-климатических условий на основании данных о генотипическом составе патогена.

Отбор по молекулярным маркерам устойчивости к фитофторозу является потенциально эффективным инструментом селекции для оценки гибридного материала картофеля. Для этого необходимо расширять линейку используемых маркеров известных R-генов при массовом скрининге генотипов, включая маркеры генов, донорами которых является не только *S. demissum*, а другие дикие виды-доноры перспективных генов, такие как *S. bulbocastanum*, *S. berthaultii*, *S. stoloniferum*. Устойчивость, обусловленная генами от *S. demissum* является расоспецифической и во многом была преодолена появлением новых вирулентных штаммов патогена [29]. Интродукция генов R1, R2 и R3 в культурный картофель активно осуществлялась еще в середине 20 века, многие широко культивируемые на территории Европы сорта несут один или несколько этих генов [30, 31]. С другой стороны, важно уделить внимание анализу исходных родительских форм на наличие маркеров Rpi-генов. Это позволит значительно снизить объем анализируемого гибридного материала, если в исходных родительских формах интересные маркеры отсутствуют.

Генотипы сортов картофеля несут обе устойчивости: вертикальную (абсолютная) и горизонтальную (частичная). Достигнуть длительной устойчивости на основе только одних R-генов невозможно из-за появления вирулентных рас. Поэтому применение молекулярных маркеров в сочетании с полевой и лабораторной оценкой являются оптимальными при отборе фитофтороустойчивых гибридов.

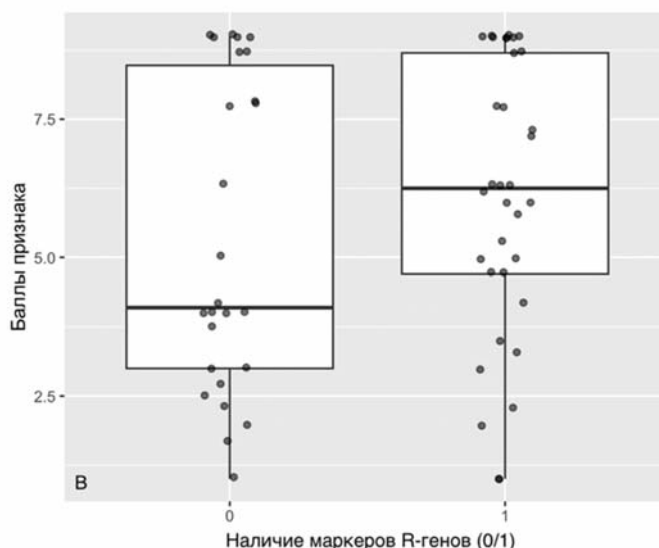
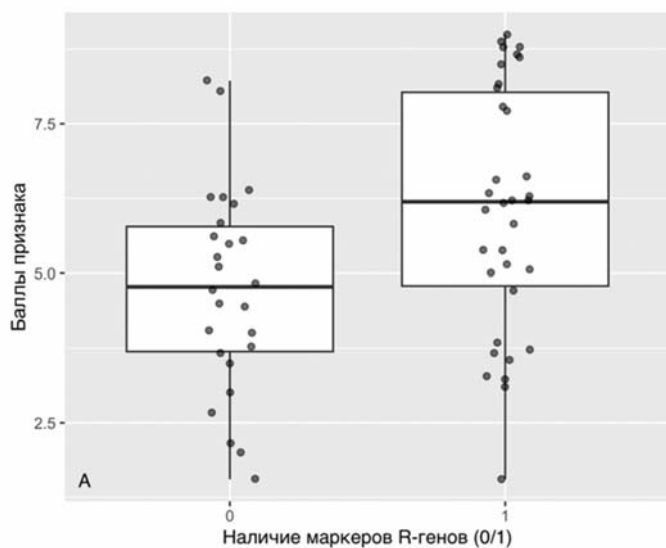


Рис 3. Распределение баллов признака устойчивости листьев (А) и клубней. (В) в группах с наличием и отсутствием R-генов  
Fig. 3. Распределение баллов признака устойчивости листьев (А) и клубней. (В) в группах с наличием и отсутствием R-генов

связано с недостаточным уровнем экспрессии соответствующих генов в клубнях или тканеспецифическим характером экспрессии. Полученные результаты отражают сложные взаимодействия фенотипа и генотипа в системе «растение картофеля – *Phytophthora infestans*».

**Заключение**

В данной работе, методом искусственного заражения в лабораторных условиях, была определена устойчивость гибридов картофеля к фитофторозу, которая была соотнесена с наличием в их генотипе молекулярных маркеров некоторых Rpi-генов.

Учитывая, что на сегодня известно более 20 генов, контролирующих расоспецифическую устойчивость к фитофторозу, то их

Использование молекулярных маркеров для отбора растений имеет очевидные выгоды, связанные с экономией финансовых и трудовых затрат на выращивание большого количества гибридного материала и его фитопатологической оценки традиционными методами. В тоже время при создании сортов в первую очередь идет отбор на основании оценки клубней и потом наиболее качественные и урожайные в этом отношении генотипы оцениваются по признакам устойчивости с применением лабораторных методов и полевой оценки.

На данном этапе представляется наиболее эффективным использовать маркеры для подбора исходных родительских форм.

## • Литература / References

- Информационный листок Россельхозцентра. № 22/2025 г., Исх. № 1-8/2610 от 01.08.2025 г.
- <https://potatosystem.ru/osobennosti-razvitiya-fitoforoza/> (дата обращения 15.06.25)
- <https://www.agroxii.ru/mirovye-agronovosti/ezhegodno-3-demonstratsionnyh-polja-kartofelja-s-ustoichivostyu-k-fitofitoretzakladyvayutsja-v-niderlandah.html> (дата обращения 15.06.25)
- Bagchi P., Sawicka B., Stamenkovic Z., Markovic D., Bhattacharjee D. Potato Late Blight Outbreak: A Study on Advanced Classification Models Based on Meteorological Data. *Sensors*. 2024;24:7864. <https://doi.org/10.3390/s24237864>
- Kaukoranta T. Impact of global warming on potato late blight: risk, yield loss and control. *Agricultural and Food Science*. 1996;(5):311-327.
- Rogozina E.V., Beketova M.P., Muratova O.A., Kuznetsova M.A., Khavkin E.E. Stacking Resistance Genes in Multiparental Interspecific Potato Hybrids to Anticipate Late Blight Outbreaks. *Agronomy*. 2021;11(1):115. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010115>
- Gaiero P., Speranza P.R., De Jong H. Introgressive hybridization in potato revealed by novel cytogenetic and genomic technologies. *Am. J. Potato Res.* 2018;95:607–621.
- Paluchowska P., Sliwka J. & Yin Z. Late blight resistance genes in potato breeding. *Planta*. 2022;255: 127. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03910-6>
- Muratova (Fadina) O.A., Beketova M.P., Kuznetsova M.A., Rogozina E.V., Khavkin E.E. South American species *Solanum alandiae* Card. and *S. okadae* Hawkes et Hjerting as potential sources of genes for potato late blight resistance. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020;181(1):73-83. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-73-83> <https://elibrary.ru/nruqfx>
- Haas B.J., Kamoun S., Zody, M.C., Jiang R.H.Y., Handsaker R.E., Cano L.M., Nusbaum C. Genome sequence and analysis of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*. *Nature*. 2009;461(7262):393–398. <https://doi.org/10.1038/nature0835>
- Su Y., Viquez-Zamora M., den Uil D. et al. Introgression of Genes for Resistance against *Phytophthora infestans* in Diploid Potato. *Am. J. Potato Res.* 2020;97:33–42. <https://doi.org/10.1007/s12230-019-09741-8>
- Fry W. *Phytophthora infestans*: The plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology*. 2008;9:385–402.
- Khavkin E.E., Rogozina E.V., Kuznetsova M.A. Breeding of unique donors from interspecific potato hybrids by dna marker-assisted pyramiding of late blight resistance genes. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2018;32(7):21–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10705> <https://elibrary.ru/uyyiwz>
- FAOSTAT [Web resource] URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL>. Access date: 20.12.25
- Filippov A.V. Potato late blight. Supplement to the journal "Plant Protection and Quarantine". 2012;5. (In Russ.)
- Guidelines for the evaluation of potato breeding material for resistance to late blight, rhizoctonia, bacterial diseases and mechanical damage. [Prepared by Yu.I. Schneider et al.]. Moscow, 1980. 53 p. (In Russ.)
- Sokolova E., Pankin A., Beketova M., Kuznetsova M., Spiglazova S., Rogozina E, et al. SCAR markers of the R-genes and germplasm of wild *Solanum* species for breeding late blight-resistant potato cultivars. *Plant Genet Res.* 2011;9(2):309–12. <https://doi.org/10.1017/S1479262111000347>
- Kim H.J., Lee H.R., Jo K.R., Mortazavian S.M.M., Huigen D.J., Evenhuis B., et al. Broad spectrum late blight resistance in potato differential set plants MaR8 and MaR9 is conferred by multiple stacked R genes. *Theor Appl Genet.* 2012;124(5):923–935.
- Rietman H., Bijsterbosch G., Cano L.M., Lee H.-R., Vossen J.H., Jacobsen E., Visser R.G.F., Kamoun S., Vleeshouwers V.G.A.A. Qualitative and quantitative late blight resistance in the potato cultivar Sarpo mira is determined by the perception of five distinct RXLR effectors. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 2012;25:910–919. <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-12-0010-R>
- Haesaert G., Vossen J.H., Custers R., De Loose M., Haverkort A., Heremans B., Hutten R., Kessel G., Landschoot S., van Droogenbroeck B. et al. Transformation of the potato variety Desiree with single or multiple resistance genes increases resistance to late blight under field conditions. *Crop. Prot.* 2015;77:163–175.
- Bradshaw J.E., B. Pande G.J., Bryan C.A., Hackett K. McLean, H.E. Stewart, and R. Waugh. Interval mapping of quantitative trait loci for resistance to late blight [*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary], height and maturity in a tetraploid population of potato (*Solanum tuberosum* subsp. *Tuberosum*). *Genetic*. 2004; Oct;168(2):983–995. <https://doi.org/10.1534/genetics.104.030056>
- Simko, I., S. Costanzo, V. Ramanjulu, B.J. Christ, and K.G. Haynes. Mapping polygenes for tuber resistance to late blight in a diploid *Solanum phureja* × *S. stenotomum* hybrid population. *Plant Breeding*. 2006;125(4):385–389. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2006.01232.x>
- Liu Z., Halterman D. Different genetic mechanisms control foliar and tuber resistance to *Phytophthora infestans* in wild potato *Solanum verrucosum*. *American Journal of Potato Research*. 2009;86:476–480.
- Mayton H., Griffiths H.I., Simko S., Cheng J., Lorenzen W., De Jong, Fry W.E. Foliar and tuber late blight resistance in a *Solanum tuberosum* breeding population. *Plant Breeding*. 2010;129(2):197–201. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2009.01671.x>
- Beketova M.P., Drobyazina P.E. & Khavkin E.E. The R1 gene for late blight resistance in early and late maturing potato cultivars. *Russ J Plant Physiol.* 2006;53:384–389. <https://doi.org/10.1134/S1021443706030149>
- Wang M., Allefs S., van den Berg R.G. et al. Allele mining in *Solanum*: conserved homologues of Rpi-blb1 are identified in *Solanum stoloniferum*. *Theor Appl Genet.* 2008;116:933–943. <https://doi.org/10.1007/s00122-008-0725-3>
- Halterman D.A., Kramer L.C., Wielgus S., Jiang, J.M. Performance of Transgenic Potato Containing the Late Blight Resistance Gene RB. *Plant Disease*. 2008;92:339-343. <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-3-0339>
- Chen S.H., Borza T., Byun B., Coffin R., Coffin J., Peters R. and Wang-Pruski, G. DNA Markers for Selection of Late Blight Resistant Potato Breeding Lines. *American Journal of Plant Sciences*. 2017;8:1197-1209. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.86079>
- Jo K.R., Kim C.J., Kim S.J., Kim T.Y., Bergervoet M., Jongsma M.A., Visser R.G., Jacobsen E., Vossen J.H. Development of late blight resistant potatoes by cisgene stacking. *BMC Biotechnol.* 2014; 14: 50. <https://doi.org/10.1186/1472-6750-14-50>
- Black W., Mastenbroek C., Mills W.R., Peterson L.C. A proposal for an international nomenclature of races of *Phytophthora infestans* and of genes controlling immunity in *Solanum demissum* derivatives. *Euphytica*. 1953;2:173–179. <https://doi.org/10.1007/BF00053724>
- Malcolmson J.F. Races of *Phytophthora infestans* occurring in Great Britain. *Trans Br Mycol Soc.* 1969;53:417–423. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(69\)80099-9](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(69)80099-9)

## Об авторах:

**Олег Геннадьевич Казаков** – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории клеточных и геномных технологий,

<https://orcid.org/0000-0002-4131-3965>,  
SPIN-код: 7011-6863, kazakov-og@yandex.ru

**Оксана Борисовна Поливанова** – кандидат биол. наук, научный сотрудник лаборатории клеточных и геномных технологий,  
<https://orcid.org/0000-0002-3992-5452>,  
SPIN-код: 1731-5221, автор для переписки, polivanovaoks@gmail.com

**Марина Константиновна Деревягина** – кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты растений,  
<https://orcid.org/0000-0002-4131-3965>,  
SPIN-код: 4834-7461, vzeyruc@mail.ru

**Виктория Александровна Бирюкова** – кандидат биол. наук, ведущий сотрудник лаборатории клеточных и геномных технологий генома,  
<https://orcid.org/0000-0001-7521-6883>,  
SPIN-код: 2393-5849, vika\_biryukova@inbox.ru

**Сулухан Кудайбердиевна Темирбекова** – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией по селекции на устойчивость к абиотическим и биотическим стрессовым факторам,  
<https://orcid.org/0000-0001-9824-6364>,  
SPIN-код: 4535-7802, sul20@yandex.ru

## About the Authors:

**Oleg G. Kazakov** – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Laboratory of Cell and Genomic Technologies,  
<https://orcid.org/0000-0002-4131-3965>,  
SPIN-code: 7011-6863, kazakov-og@yandex.ru

**Oksana B. Polivanova** – Cand. Sci. (Biology), Researcher, Laboratory of Cell and Genomic Technologies,  
<https://orcid.org/0000-0002-3992-5452>,  
SPIN-code: 1731-5221, Corresponding Author, polivanovaoks@gmail.com

**Marina C. Derevyagina** – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Laboratory of Plant Protection,  
<https://orcid.org/0000-0002-4131-3965>,  
SPIN-code: 4834-7461, vzeyruc@mail.ru

**Victoria A. Biryukova** – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Laboratory of Cell and Genomic Technologies,  
<https://orcid.org/0000-0001-7521-6883>,  
SPIN-code: 2393-5849, vika\_biryukova@inbox.ru

**Sulukhan K. Temirbekova** – Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Professor, Head of the Laboratory for Breeding for Resistance to Abiotic and Biotic Stress Factors,  
<https://orcid.org/0000-0001-9824-6364>,  
SPIN-code: 4535-7802, sul20@yandex.ru