



П.В. Фисенко,
Н.В. Мацишина,
Ю.С. Попова,
Д.И. Волков,
Т.И. Хоружева,
М.В. Ермак,
О.А. Собко ✉

Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
Уссурийск, Приморский край, Россия,

✉ o.eyvazova@gmail.com

Поступила в редакцию:
10.06.2023

Одобрена после рецензирования:
14.08.2023

Принята к публикации:
29.08.2023



Petr V. Fisenko,
Nataliya V. Matsishina,
Yuliya S. Popova,
Dmitrii I. Volkov,
Tamara I. Khoruzheva,
Marina V. Ermak,
Olga A. Sobko ✉

Federal Scientific Center of Agricultural
Biotechnology of the Far East named after
A.K. Chaika, Primorsky Krai, Ussuriysk,
Russia

✉ o.eyvazova@gmail.com

Received by the editorial office:
10.06.2023

Accepted in revised:
14.08.2023

Accepted for publication:
29.08.2023

Изучение устойчивости сортов картофеля к *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, *Synchytrium endobioticum* (Schilb.), *Globodera pallida* (Stone), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber), PVY, PVX в Приморском крае

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Одним из важных направлений селекции картофеля является создание сортов устойчивых к комплексу заболеваний, таких как фитофтороз, вирусные и грибные инфекции, а также паразитические нематоды. Применение ДНК-маркеров для идентификации ценных генотипов ускоряет процесс отбора устойчивых сортов, тем самым повышая эффективность селекции.

Методы. Цель исследования — изучение устойчивости 23 сортов картофеля к местному изоляту *Phytophthora infestans* (Mont.), а также определение генов устойчивости к патогенам: раку картофеля, бледной и золотистой цистообразующим нематодам, вирусам X и Y, фитофторозу. Листья картофеля обрабатывали инокулюмом изолята Putzilovka-2019 и выдерживали 24 часа в темноте, затем помещали в климатический бокс. Учет вели на шестые сутки после инокуляции.

Результаты. Сорта Latona, Брянский деликатес, Gala, Дачный, Казачок, Adretta показали высокую устойчивость к фитофторозу — 0,0% поражения листовой поверхности. Высокую устойчивость к фитофторозу демонстрировали и сорта Laperla, Belmonda, Impala, Фиолетовый, Жуковский ранний, Queen Anne, Sante, Янтарь, у которых площадь поражения листа составила от 3,0 до 10,0%. При молекулярном скрининге ген устойчивости к раку картофеля (SenI) NI25 был выявлен у 22 сортов, ген устойчивости H1 — у 15 сортов, а ген устойчивости Gpa2 — у 9 сортов, ген, кодирующий устойчивость к вирусу X (RxI), обнаружен у 13 сортов.

Ключевые слова: MAS, ДНК-маркер, ген, устойчивость, фитофтороз, рак картофеля, бледная и золотистая цистообразующие нематоды, PVX и PVY

Для цитирования: Фисенко П.В. и др. Изучение устойчивости сортов картофеля к *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, *Synchytrium endobioticum* (Schilb.), *Globodera pallida* (Stone), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber), PVY, PVX в Приморском крае. *Аграрная наука*. 2023; 374(9): 126–132. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-126-132>

© Фисенко П.В., Мацишина Н.В., Попова Ю.С., Волков Д.И., Хоружева Т.И., Ермак М.В., Собко О.А.

Study of the structure of potato varieties to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, *Synchytrium endobioticum* (Schilb.), *Globodera pallida* (Stone), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber), PVY, PVX in Primorsky Krai

ABSTRACT

Relevance. One of the important directions of potato breeding is the creation of varieties resistant to a complex of diseases, such as late blight, viral and fungal infections, as well as parasitic nematodes. The use of DNA markers to identify valuable genotypes accelerates the selection process of resistant varieties, thereby increasing the efficiency of breeding.

Methods. The aim of the study was to study the resistance of 23 potato varieties to the local isolate *Phytophthora infestans* (Mont.), as well as to determine the genes of resistance to pathogens: potato cancer, pale and golden cyst-forming nematodes, X and Y viruses, late blight. Potato leaves were treated with Putzilovka-2019 isolate inoculum and kept in the dark for 24 hours, then placed in a climate box. Records were kept on the 6th day after inoculation.

Results. Latona, Bryansk delicacy, Gala, Dachny, Kazachok, Adretta varieties showed high resistance to late blight — 0.0% of leaf surface damage. High resistance to late blight was also demonstrated by the varieties Laperla, Belmonda, Impala, Violet, Zhukovsky early, Queen Anne, Sante, Amber, in which the leaf lesion area ranged from 3.0 to 10.0%. During molecular screening, the potato cancer resistance gene (SenI) NI25 was detected in 22 varieties, the H1 resistance gene in 15 varieties, and the Gpa2 resistance gene in 9 varieties, the gene encoding resistance to virus X (RxI) was detected in 13 varieties.

Key words: MAS, DNA-marker, gene, resistance, late blight, PVX, PVY

For citation: Fisenko P.V., Matsishina N.V., Popova Yu.S., Volkov D.I., Khoruzheva T.I., Ermak M.V., Sobko O.A. Study of the structure of potato varieties to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, *Synchytrium endobioticum* (Schilb.), *Globodera pallida* (Stone), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber), PVY, PVX in Primorsky Krai. *Agrarian science*. 2023; 374(9): 126–132 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-126-132>

© Fisenko P.V., Matsishina N.V., Popova Yu.S., Volkov D.I., Khoruzheva T.I., Ermak M.V., Sobko O.A.

Введение/Introduction

Возделываемый картофель (*Solanum tuberosum*) по объемам производства находится на 5-м месте в мире среди всех сельскохозяйственных культур и на лидирующих позициях среди незерновых культур. Россия занимает 3-е место в мире по объемам производства картофеля (после Китая и Индии) [1]. Для формирования стратегии селекционных исследований, направленных на создание новых перспективных сортов картофеля, необходимо получение объективной информации о генетическом разнообразии возделываемых селекционных сортов, в том числе о распространении функциональных аллелей генов, контролирующих устойчивость к патогенам и вредителям. В настоящее время ведущие зарубежные генбанки и селекционные центры широко используют методы маркер-опосредованной селекции (Marker Assisted Selection, MAS) [1]. При помощи ДНК-маркеров проводят отбор образцов, потенциально устойчивых к цистообразующим нематодам [2, 3], фитофторозу [4, 5], к наиболее вредоносным вирусам картофеля [6]. Методы MAS начинают активно применяться в изучении селекционного генофонда картофеля и в России [4, 5, 7].

Технологии ДНК-маркирования перспективны при создании сортов с длительной устойчивостью к вредным организмам на основе пирамидирования в одном генотипе маркеров разных R-генов, контролирующих устойчивость к разным расам и патотипам вредных организмов и (или) устойчивость к разным патогенам. Ограничением в программах по подбору пар для скрещиваний и пирамидированию генов устойчивости может быть мужская стерильность, широко распространенная среди селекционных сортов картофеля [8, 9].

Методы ДНК-маркирования имеют большое значение при работе с коллекциями. Наряду с методами MAS для оценки чистоты (идентичности) сортового материала и изучения генетического разнообразия коллекций сортов используются методы молекулярной паспортизации. Поскольку сорта картофеля представлены высокогетерозиготными тетраплоидными генотипами, у междурасовых гибридов отмечается расщепление по изучаемым признакам, в том числе по наличию (отсутствию) ДНК-маркеров определенного локуса. Данные о наследовании ДНК-маркеров доминантных аллелей R-генов устойчивости у междурасовых гибридов служат основой для отбора перспективных гибридных генотипов в потомстве [10]. Кроме того, информация об аллельном составе и степени гетерозиготности маркированных локусов у родительских сортов дает возможность прогнозировать частоту появления в потомстве гибридов, устойчивых к определенному патогену, и планировать объемы анализируемых расщепляющихся популяций [11].

В зависимости от степени гетерозиготности маркированного R-локуса у исходного сорта частота, с которой в гибридных популяциях появляются устойчивые генотипы, несущие хотя бы один доминантный аллель, будет составлять 100% в случаях квадриплекса (RRRR) или триплекса (RRRr), 83,4% — в варианте дуплекса (RRrr) и 50,0% — для симплекса (Rrrr) [12].

Применение ДНК-маркеров в селекции картофеля имеет наибольшее значение при оценке исходного материала. Однако возможны расхождения в оценках, сделанных за рубежом и в условиях разных

агроклиматических зон России. Связано это прежде всего с различным составом популяций патогенов и особенностями экологических условий [13]. Именно поэтому MAS должна сопровождаться фитопатологическим скринингом, особенно в случае оомицетных и грибных патогенов, доступных для исследования, в отличие от карантинных возбудителей.

Цель исследования — изучение сортов на устойчивость к местным изолятам *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, а также выявление у сортов генов устойчивости к патогенам и вредителям *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, *Synchytrium endobioticum* (Schilb.), *Globodera pallida* (Stone), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber), PVY, PVX.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Материалом для исследования послужили 23 сорта картофеля: Secura (Германия), Queen Anne (Германия), Red Lady (Германия), Belmonda (Германия), Lilly (Германия), Gala (Германия), Adretta (Германия), Impala (Нидерланды), Latona (Нидерланды), Labella (Нидерланды), Laperla (Нидерланды), Sante (Нидерланды, Россия), Жуковский ранний (Россия), Фиолетовый (Россия), Казачок (Россия), Брянский деликатес (Россия), Смак (Россия), Юбилар (Россия), Августин (Россия), Памяти Рогачева (Россия), Янтарь (Россия), Гулливер (Россия), Дачный (Россия), востребованные на рынке как семенная продукция и перспективные для селекции образцы в условиях Приморского края.

В качестве стандартов для сравнения были получены из *in vitro* коллекции ВИР (отдел биотехнологии) образцы диких видов картофеля, демонстрирующие высокую устойчивость к фитофторозу, *Solanum bulbocastanum* (образец 31741) и *Solanum stoloniferum* (образец 30519-5) и сорт венгерской селекции Sarpo Mira, имеющий в геноме ген *Rpi_Smira1*, а также сорт Alouette, предоставленный сотрудниками ВИЗР¹.

Эксперимент проведен на базе лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» с 2019 по 2022 г.

Лабораторная оценка на устойчивость к фитофторозу. Лабораторный скрининг сортов картофеля на устойчивость к фитофторозу проводили по стандартной методике [14]. В качестве инфекционного материала использовали изолят Putzilovka-2019, включающий гены вирулентности. Отделенные листья помещали в плексигласовые поддоны (24 x 33,5 см) на смоченную стерильной водой фильтровальную бумагу абаксимальной стороной вниз: по три листа каждого образца, по три листа восприимчивого сорта Юбилар и по три листа устойчивого контроля сорта Sarpo Mira, по три листа *S. bulbocastanum* (образец 31741) и *S. stoloniferum* (образец 30519-5) в двукратной биологической повторности. Для заражения использовали инокулюм, выдержанный в течение 30 мин. при температуре 10–12 °C для стимуляции выхода зооспор. Инфекционная нагрузка составляла 50 тыс. спорангиев/мл. Инокулюм наносили по одной капле по центру каждого листа между центральной и отходящей жилками. Объем капли составлял 30 мкл. Инокулированные листья выдерживали в течение 24 ч. в темноте при температуре 16 °C.

¹ Коллекция генетических ресурсов растений ВИР. VIR plant genetic resources gene bank. <http://www.vir.nw.ru/unu-kolleksiya-vir/> Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР), Министерство науки и высшего образования РФ.

На протяжении всего эксперимента поддоны были закрыты полиэтиленовой пленкой для поддержания постоянной влажности. Через сутки после инокуляции листья переворачивали абаксальной стороной вверх, после чего кюветы переносили в климатический бокс с температурой 16 °С, интенсивностью освещения 1600 лк и 16-часовым фотопериодом.

Учет результатов заражения проводили на 6-е сутки после инокуляции по стандартной шкале с подразделением образцов на группы устойчивости:

Балл	Пораженная площадь, %
9	0
8	3,0
7	3,1–10,0
6	10,1–25,0
5	25,1–75,0
4	75,1–90,0
3	90,1–97,0
2	97,1–99,0
1	100

Растения с типом реакции, соответствующим баллам 7,0–9,0, относили к классу устойчивых (R), 4,0–6,0 — среднеустойчивых (RS), 1,0–4,0 — восприимчивых (S). Статистическую обработку проводили в программе Past 3.17.

Молекулярный скрининг образцов. ДНК выделяли из зеленых листьев растений картофеля (суммарная проба пяти растений), выращенных в условиях культуральной комнаты с использованием процессора магнитных частиц KingFisher Duo Prime (Thermo Scientific, Сингапур) и набора реактивов MagMAX Plant DNA Kit (Thermo Fisher Scientific, Литва).

Выбор молекулярных маркеров для выявления генов устойчивости картофеля, а также праймеры к ним проводили по литературным источникам [8, 15, 16]. Были выбраны маркеры PVX гена *Rx1*, *Gpa2*-2 гена *Gpa2*, *N195* гена *H1*, *Yes3A* гена *Ry_{sto}*, *Rpi-blb* 1-820 и *Rpi-sto* 1-890 гена *Rpi-sto1/Rpi-blb1*, а также *NL 25* гена *Sen1* (табл. 1). Оптимизацию ПЦР проводили подбором оптимального соотношения компонентов реакционной смеси и температурного профиля программы амплификации с использованием позитивных контролей — ДНК сортов картофеля, имеющие в своем геноме искомые гены согласно литературным источникам, Метеор (*Ry_{sto}*, *Rx1*, *Sen1*, *Gpa2*, *H1*), Вектор (*Rx1*, *Gpa2*), Юбилар (*Gpa2*), Жуковский ранний (*Gpa2*, *Rx1*) [15–17], а также образцы высокоустойчивых к фитофторозу клонов диких видов *S. bulbocastanum* (образец 31741 с генами *Rpi-blb1* и *Rpi-blb3*) и *S. stoloniferum* (образец 30519-5 с генами *Ry_{sto}* и *Ry_f_{sto}*), предоставленные отделом биотехнологии ВИР с информацией о наличии ДНК-маркеров генов. ПЦР проводили в 10 мкл 2X реакционной смеси BioMaster HS-Taq ПЦР-Color (без содержания Mg^{2+}) («Биолабмикс», Россия) с добавлением хлорида магния до оптимальной концентрации для каждого маркера индивидуально (табл. 1) в термоциклере T100 (Bio-Rad, США). В реакцию использовали 10–50 нг ДНК-матрицы. Был применен температурный протокол мультиплексной реакции [18], которые ставили индивидуально.

Для выявления маркеров гена устойчивости к фитофторозу (табл. 1) был разработан оригинальный температурный протокол амплификации, позволяющий на одной программе

Таблица 1. Характеристики ДНК-маркеров, используемых для выявления генов устойчивости картофеля к патогенам и вредителям [8, 15, 16]

Table 1. Characteristics of DNA markers used to identify potato resistance genes to pathogens and pests [8, 15, 16]

Ген	Маркер	Последовательность праймеров	Фрагмент	MgCl ₂ (mM)
ДНК-маркер устойчивости к вирусу Y				
<i>Ry_{sto}</i>	YES3-3A (STS)	F: TAACCTCAAGCGGAATAACCC R: AATTCACCTGTTTACATGCTTCTGTG	341	0,8
ДНК-маркер устойчивости к <i>Globodera rostochiensis</i>				
<i>H1</i>	N195	F: TGGAAATGGCACCCACTA R: CATCATGTTTCACTTGTCTAC	337	0,8
ДНК-маркер устойчивости к <i>Globodera pallida</i>				
<i>Gpa2</i>	<i>Gpa2</i> -2 (STS)	F: GCACCTTAGAGACTCATTCCA R: ACAGATTGTTGGCAGCGAAA	452	2,0
ДНК-маркер устойчивости к вирусу X				
<i>Rx1</i>	PVX (STS)	F: ATCTTGGTTTGAATACATGG R: CACAATATTGGAAGGATTCA	1230	2,5
ДНК-маркеры устойчивости к <i>Phytophthora infestans</i>				
<i>Rpi-blb</i> 1-820		F: AACCTGTATGGCAGTG GCATG-3' R: GTCAGAAAAGGGCACT CGTG-3'	820	0,75
<i>Rpi-sto</i> 1-890		F: ACCAAGGCCACAAGAT TCTC-3' R: CCTGCGGTTTCGGTTAAT ACA-3'	890	0,75
ДНК-маркер устойчивости к раку картофеля				
<i>Sen1</i>	NL 25 (SCAR)	F: TATTGTTAATCGTTACTCCCTC R: AGAGTCGTTTACCAGACTCC	1400	1,0

выявлять оба молекулярных маркера: 95° — 5 мин.; 10 циклов 95° — 30 сек., 65° (-0,5°/цикл) — 30 сек., 72° — 1 мин.; 35 циклов 95° — 30 сек., 60° — 30 сек., 72° — 1 мин.; постэлонгация 72° — 5 мин. В качестве исходного протокола амплификации использовали параметры, описанные в оригинальной статье [7]. Продукты ПЦР разделяли электрофорезом в 2%-ном агарозном геле, окрашенном бромистым этидием [1]. Визуализацию фрагментов ДНК проводили УФ-облучением с помощью геледокументирующей системы Gel-Doc GO (Bio-Rad, США). Для определения длины фрагментов использовали маркеры длин фрагментов Step 50 plus, Step 100 и Step 100 Long («Биолабмикс», Россия).

Наличие или отсутствие искомого маркера определяли сравнением с позитивным контролем, имеющим фрагмент определенной длины.

Рис. 1. Результаты эксперимента по устойчивости сортов картофеля к местным изолятам (Приморский край). Фото автора
Примечание: 1 — Laperla, 2 — Impala, 3 — Labella, 4 — Belmonda, 5 — Sapro Mira, 6 — Жуковский ранний, 7 — Red Lady, 8 — Августин, 9 — *Solanum stoloniferum*, 10 — Смак, 11 — Янтарь

Fig. 1. Results of the experiment on the resistance of potato varieties to local isolates (Primorsky Kray). Photo of the author
Note: 1 — Laperla, 2 — Impala, 3 — Labella, 4 — Belmonda, 5 — Sapro Mira, 6 — Zhukovsky ranniy, 7 — Red Lady, 8 — Avgustin, 9 — *Solanum stoloniferum*, 10 — Cmak, 11 — Yantar.



Таблица 2. Балл повреждения и индекс устойчивости сортов картофеля к местным изолятам фитофторы
Table 2. Damage score and resistance index of potato varieties to local phytophthora isolates

	Сорт	Балл повреждения (mean ± SD)	Индекс устойчивости
1	Red Lady	6,3 ± 0,018	RS
2	Lilly	4,3 ± 0,131	RS
3	Гулливёр	5,6 ± 0,051	RS
4	Secura	3,0 ± 0,163	S
5	<i>Solanum bulbocastanum</i> (устойчивый стандарт)	8,0 ± 0,018	R
6	Фиолетовый	7,0 ± 0,181	R
7	Latona	9,0 ± 0,059	R
8	Sarpo Mira (устойчивый стандарт)	9,0 ± 0,059	R
9	Брянский деликатес	9,0 ± 0,059	R
10	Laperla	8,6 ± 0,018	R
11	Belmonda	8,3 ± 0,018	R
12	Labella	5,3 ± 0,051	RS
13	Impala	7,6 ± 0,181	R
14	Gala	9,0 ± 0,059	R
15	Жуковский ранний	8,0 ± 0,018	R
16	Юбилар (восприимчивый стандарт)	2,3 ± 0,163	S
17	Queen Anne	8,0 ± 0,018	R
18	Дачный	9,0 ± 0,059	R
19	Казачок	9,0 ± 0,059	R
20	Adretta	9,0 ± 0,059	R
21	Sante	8,0 ± 0,018	R
22	Смак	4,6 ± 0,163	RS
23	Памяти Рогачева	3,0 ± 0,163	S
24	Янтарь	8,0 ± 0,018	R
25	Августин	3,0 ± 0,163	S
26	<i>Solanum stoloniferum</i> (устойчивый стандарт)	9,0 ± 0,059	R

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Лабораторный эксперимент. По данным лабораторного эксперимента, шесть сортов из коллекции ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» оказались устойчивыми к местным изолятам возбудителя фитофтороза картофеля Latona, Брянский деликатес, Gala, Дачный, Казачок, Adretta (9 баллов, R). Остальные показали разный уровень устойчивости или восприимчивости. Из них можно отметить сорта Laperla, Belmonda, Impala, Фиолетовый, Жуковский ранний, Queen Anne, Sante, Янтарь, которые выделялись достаточно высоким уровнем устойчивости (от 7,0 до 8,6 балла, R) (рис. 1).

Проверка значимости нулевой гипотезы ($p = 0,181$), а также оптимальной линейной несмещенной оценки дисперсии к ее обычной оценке методом максимального правдоподобия ($W = 0,7756$) указывает на высокую достоверность полученных результатов и валидность применяемых методик (табл. 2).

Оптимизация ПЦР для выявления маркеров гена устойчивости к фитофторозу *Rpi-sto1/Rpi-bib1*. Большинство используемых молекулярно-генетических маркеров были отработаны нами ранее, однако выявление гена устойчивости к фитофторозу *Rpi-sto1/Rpi-bib1* в исследовании был использован впервые. Поэтому до проведения исследования целевых образцов потребовалась отработка ПЦР для выявления маркеров этого гена (*Rpi-sto1-890*, *Rpi-bib1-820*). В результате использования состава реакционной смеси и температурных профилей реакции из литературных источников был получен неоднозначный ответ вследствие наличия неспецифических продуктов реакции, затрудняющих их интерпретацию (рис. 2, 3).

Для оптимизации ПЦР в реакционную смесь добавляли разное количество хлорида магния. Наилучшие результаты получены на следующем температурном профиле: 95° — 5 мин.; 10 циклов 95° — 30 сек., 65° (–0,5°/цикл) — 30 сек., 72° — 1 мин.; 35 циклов 95° — 30 сек., 60° — 30 сек., 72° — 1 мин.; постэлонгация 72° — 5 мин. Данный протокол оказался эффективным для выявления обоих маркеров — *Rpi-sto1-890* и *Rpi-bib1-820*. Для оценки эффективности данных маркеров у сортов культурного картофеля была использована ДНК сорта Сударыня, имеющего данный ген устойчивости к фитофторозу (по литературным данным) [8] (рис. 4).

Рис. 2. Электрофореграммы продуктов амплификации молекулярных маркеров гена устойчивости к фитофторозу *Rpi-sto1-890* (1) и *Rpi-bib1-820* (2) при использовании стандартного температурного профиля с добавлением в реакционную смесь 1,5 мМ (А) и 2,5 мМ (В) хлорида магния: М — маркер длин фрагментов step-100 Long, 1 — Sarpo Mira, 2, 3 — *S. bulbocastanum*, 4–6 — *S. stoloniferum*, 7, 8 — Alouette, К — негативный контроль реакции

Fig. 2. Electrophoresis of the amplification products of molecular markers of the phytophthora resistance gene *Rpi-sto1-890* (1) and *Rpi-bib1-820* (2) using a standard thermal profile with the addition of 1.5 mM (A) and 2.5 mM (B) magnesium chloride to the reaction mixture: M — step-100 Long fragment length marker, 1 — Sarpo Mira, 2, 3 — *S. bulbocastanum*, 4–6 — *S. stoloniferum*, 7, 8 — Alouette, K — negative reaction control

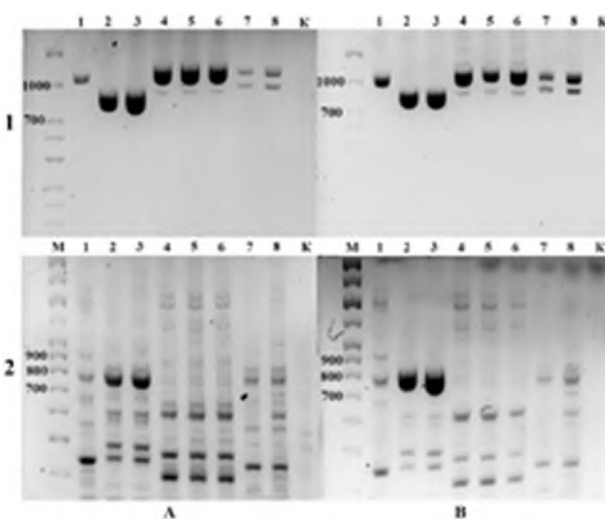


Рис. 3. Электрофореграммы оптимизации ПЦР-маркеров генов устойчивости к фитофторозу *Rpi-sto1-890* (1) и *Rpi-bib1-820* (2) в образцах картофеля: А — 0,5 мМ; В — 1 мМ; С — 1,5 мМ хлорида магния в реакционной смеси; М — маркер длин фрагментов step-100 Long, 1 — Sarpo Mira, 2, 3 — *S. bulbocastanum*, 4–6 — *S. stoloniferum*, 7, 8 — Alouette, К — негативный контроль реакции

Fig. 3. Identification of phytophthora resistance gene markers *Rpi-sto1-890* (1) and *Rpi-bib1-820* (2) in potato samples: A — 0.5 mM; B — 1 mM; C — 1.5 mM magnesium chloride in the reaction mixture; M — step-100 Long fragment length marker, 1 — Sarpo Mira, 2, 3 — *S. bulbocastanum*, 4–6 — *S. stoloniferum*, 7, 8 — Alouette, K — negative reaction control

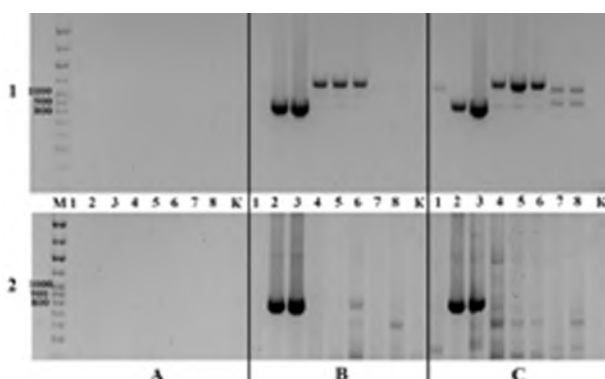
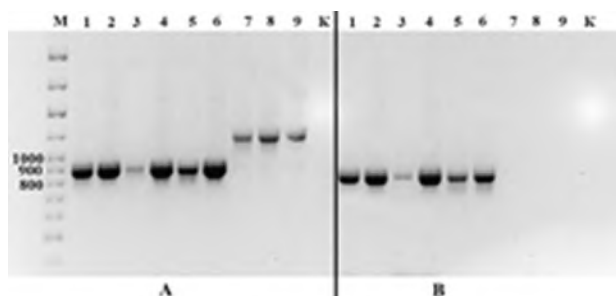


Рис. 4. Электрофореграмма ПЦР молекулярных маркеров генов устойчивости к фитофторозу Rpi-sto1-890 (А) и Rpi-bib1-820 (В) при использовании оригинального температурного профиля реакции и содержания хлорида магния в реакционной смеси 0,75 mM: М — маркер длин фрагментов step-100 Long, 1, 2 — *S. Bulbocastanum*, 3–6 — Сударыня и гибриды, полученные с ее участием, 7–9 — *S. stoloniferum*, К — негативный контроль реакции



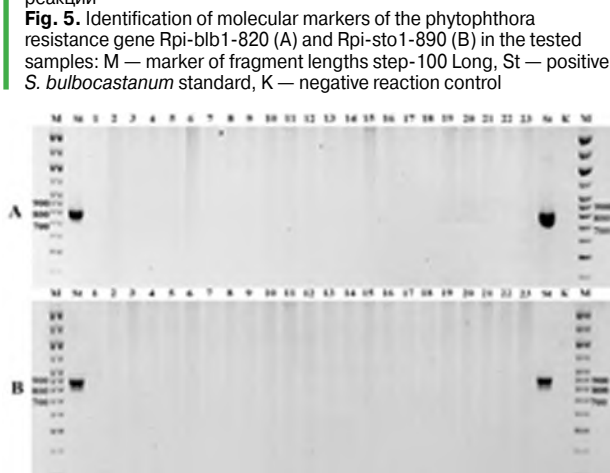
Стоит отметить выявленную особенность молекулярного маркера Rpi-sto1-890, а именно наличие фрагмента большей длины (порядка 1100 п. н.) у образца *Solanum stoloniferum*, даже при оптимальных условиях и близких к оптимальным условиям протекания реакции. Ситуация усугубляется при постановке реакции в условиях, способствующих протеканию неспецифических реакций. В процессе оптимизации ПЦР обнаружено, что у образцов *Solanum stoloniferum* и Alouette амплифицируются два фрагмента (один из которых совпадает по размеру с маркерным, но значительно бледнее, второй более яркий — порядка 1100 п. н.), а у Sargo Mira — один (~1100 п. н.) (рис. 2–4).

Полученные данные указывают на возможные сложности интерпретации результатов в случае отсутствия позитивных стандартов и (или) плохого разрешения продуктов при электрофорезе (малая длина пробега, низкие концентрации агарозы, неполное разрешение маркера длин фрагментов). Так, в статье Е.П. Шаниной с соавторами [16] указано наличие маркера Rpi-sto1-890 для ряда образцов, в том числе и Sargo Mira, при отсутствии Rpi-bib1-820, на основании чего делается вывод о наличии у данных образцов искомого гена. Однако лишь один образец в исследовании (СМ 503-55) имеет оба маркера, а значит, может действительно иметь искомым ген, в то время как для остальных образцов получен ложноположительный результат в силу описанных выше особенностей используемых молекулярных маркеров. Вероятно, как минимум часть образцов, имеющих в генотипе элементы генома *Solanum stoloniferum*, могут выявлять данный неспецифический фрагмент порядка 1100 п. н. либо оба фрагмента, что может приводить к ложноположительным результатам при работе с данным молекулярным маркером.

Скрининг сортов картофеля. Важным направлением селекции является создание сортов, устойчивых к комплексу заболеваний, таких как фитофтороз, вирусные и грибные инфекции, а также паразитические нематоды. Применение ДНК-маркеров для идентификации ценных генотипов ускоряет процесс отбора устойчивых сортов, тем самым повышая эффективность селекции.

В работе был проведен молекулярный скрининг 23 сортов картофеля, а выявление генотипов — с маркерами генов: *H1* и *Gpa2*, контролирующими устойчивость к золотистой цистообразующей и бледной нематодам; ген *Sen1*, обеспечивающий устойчивость к раку картофеля; ген *Rx1* — устойчивость к X-вирусу, ген *Ry_{sto}* —

Рис. 5. Идентификация молекулярных маркеров гена устойчивости к фитофторозу Rpi-bib1-820 (А) и Rpi-sto1-890 (В) у исследуемых образцов: М — маркер длин фрагментов step-100 Long, St — положительный стандарт *S. bulbocastanum*, К — негативный контроль реакции



к вирусу Y а также ген *Rpi-sto1/Rpi-bib1*, обеспечивающий устойчивость к широкому спектру рас возбудителя фитофтороза (табл. 3).

Наибольшую частоту встречаемости имел маркер гена устойчивости к раку картофеля (*Sen1*) NI25, выявленный у 22 сортов (97%). Этот факт обусловлен тем, что устойчивость к *S. endobioticum* является обязательным требованием для включения новых сортов в реестр селекционных достижений [18]. Известно, что из идентифицированных в настоящее время генов, контролирующих устойчивость к бледной и золотистой

Таблица 3. Результаты скрининга сортов картофеля с целью выявления генов устойчивости к патогенам и вредителям ПЦР-методом с геноспецифичными праймерами

Table 3. Results of screening of potato varieties to detect genes of resistance to pathogens and pests by PCR with gene-specific primers

Сорт	Гены устойчивости и их молекулярные маркеры						
	<i>Gpa2</i>	<i>H1</i>	<i>Sen1</i>	<i>Rx1</i>	<i>Ry_{sto}</i>	<i>Rpi-sto1/Rpi-bib1</i>	
	<i>Gpa2-2</i>	<i>N195</i>	<i>NI25</i>	<i>PVX</i>	<i>Y3A</i>	<i>Rpi-sto1-890</i>	<i>Rpi-bib1-820</i>
1 Secura	–	+	+	–	–	–	–
2 Queen Anne	–	+	+	–	–	–	–
3 Red Lady	–	+	+	–	–	–	–
4 Belmonda	–	+	+	–	–	–	–
5 Жуковский ранний	+	+	+	+	–	–	–
6 Lilly	–	+	+	–	–	–	–
7 Фиолетовый	–	–	–	–	–	–	–
8 Gala	–	+	+	–	–	–	–
9 Impala	–	+	+	–	–	–	–
10 Казачок	+	–	+	+	–	–	–
11 Брянский деликатес	–	–	+	–	–	–	–
12 Latona	+	+	+	+	–	–	–
13 Смак	+	+	+	+	–	–	–
14 Sante	+	+	+	+	–	–	–
15 Labella	–	+	+	–	–	–	–
16 Юбилар	+	+	+	+	–	–	–
17 Августин	+	–	+	+	–	–	–
18 Памяти Рогачева	–	+	+	+	–	–	–
19 Янтарь	+	–	+	+	–	–	–
20 Laperla	+	+	+	+	–	–	–
21 Adretta	–	–	+	+	–	–	–
22 Гулливер	–	–	+	+	–	–	–
23 Дачный	–	–	+	+	–	–	–
24 <i>Solanum bulbocastanum</i> (устойчивый стандарт)	–	–	–	–	+	+	+
25 <i>Solanum stoloniferum</i> (устойчивый стандарт)	–	–	–	–	+	–	–
26 Sargo Mira (устойчивый стандарт)	–	–	+	+	–	–	–

цистообразующей нематодам, наиболее эффективную защиту обеспечивают *H1* и *Gpa2* [19]. Ген устойчивости *H1* был выявлен у 15 сортов, что составляет 65% от общей выборки, а *Gpa2* — у 9 сортов (40%), 6 образцов имеют доминантные аллели обоих генов. Ген *Rx1*, кодирующий устойчивость к вирусу X, обнаружен у 13 сортообразцов. В результате исследований выделен ряд сортов картофеля с комплексной устойчивостью к патогенам и вредителям: Смак, Sante, Юбилар, Жуковский ранний, Laperla (*Rx1*, *H1*, *Gpa2*, *Sen1*); Памяти Рогачева, Августин, Казачок, Янтарь (*Rx1*, *Gpa2*, *Sen1*); Gala, Impala, Lilly, Adretta, Дачный (*Rx1*, *Sen1*). Маркеры устойчивости Y3A и *Rpi-sto1*-890 присутствовали только у устойчивого стандарта *Solanum bulbocastanum* (рис. 5).

Использование сортовой устойчивости к болезням в картофелеводстве всегда было очень актуальным. Так, для Московской области описаны сорта картофеля Гала, Тимо-Ханкян и Гермес, которые в условиях тенденции к потеплению климата демонстрировали высокий уровень урожайности, а также устойчивости к фитофторозу и альтернариозу, что частично согласуется с исследованиями [20].

В условиях орошения степной зоны Южного Урала наибольшей устойчивостью к поражению фитофторозом обладают сорта картофеля Артемис, Эроу и Спиридон. Слабое поражение растений и клубней (до 2,2%) отмечалось

у сортов Романо, Тарасов, Кузовок. Сорта Памяти Коваленко, Невский и Родрига отличаются слабой расоспецифической и полевой устойчивостью к фитофторозу [21].

Выводы/Conclusion

Большинство изученных сортов продемонстрировали устойчивость к местным изолятам фитофторы на уровне иммунных стандартов. Восприимчивыми оказались только Secura и Августин, средневосприимчивыми — Red Lady, Lilly, Гулливер, Labella и Памяти Рогачева. На данном этапе исследования не удалось связать устойчивость к фитофторозу с используемыми молекулярными маркерами гена *Rpi-sto1/Rpi-bib1* вследствие его отсутствия в представленной выборке. Аналогичная ситуация и с маркером гена *Ry_{sto}*, поскольку они довольно слабо представлены в популяции культурного картофеля и чаще всего имеются у единичных образцов. Таким образом, наблюдаемая устойчивость, вероятно, обеспечена другими генами.

В результате молекулярно-генетического скрининга исследуемых образцов выявлен ряд сортов картофеля, имеющих комплекс маркеров генов устойчивости к патогенам и вредителям: Смак, Sante, Юбилар, Жуковский ранний, Laperla (*Rx1*, *H1*, *Gpa2*, *Sen1*); Памяти Рогачева, Августин, Казачок, Янтарь (*Rx1*, *Gpa2*, *Sen1*); Gala, Impala, Lilly, Adretta, Дачный (*Rx1*, *Sen1*).

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific 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

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки (№ FNGW-2022-0007).

FUNDING

The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the state assignment of the A.K. Chaika Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Far East (No. FNGW-2022-0007).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ahmadvand R., Wolf I., Gorji A.M., Polgár Z., Taller J. Development of Molecular Tools for Distinguishing Between the Highly Similar Rx1 and Rx2 PVX Extreme Resistance Genes in Tetraploid Potato. *Potato Research*. 2013; 56(4): 277–291. <https://doi.org/10.1007/s11540-013-9244-y>
- Бирюкова В.А. и др. Поиск источников генов устойчивости к патогенам среди образцов селекционно-генетических коллекций ВНИИХХ с использованием молекулярных маркеров. *Защита картофеля*. 2015; (1): 3–7. <https://www.elibrary.ru/tbigxp>
- Гавриленко Т.А. и др. Молекулярный скрининг сортов и гибридов картофеля северо-западной зоны Российской Федерации. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018; 22(1): 35–45. <https://doi.org/10.18699/VJ18.329>
- Sokolova E. et al. SCAR-markers of the R-genes and germplasm of wild *Solanum* species for breeding late blight-resistant potato cultivars. *Plant Genetic Resources*. 2011; 9(2): 309–312. <https://doi.org/10.1017/S1479262111000347>
- Антонова О.Ю. и др. Генетическое разнообразие сортов картофеля российской селекции и стран ближнего зарубежья по данным полиморфизма SSR-локусов и маркеров R-генов устойчивости. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016; 20(5): 596–606. <https://doi.org/10.18699/VJ16.181>
- Valkonen J.P.T., Gebhardt C., Zimnoch-Guzowska E., Watanabe K.N. Resistance to *Potato virus Y* in potato. Lacomme C., Glais L., Bellstedt D.U., Dupuis B., Karasev A.V., Jacquot E. eds. *Potato Virus Y: Biodiversity, Pathogenicity, Epidemiology and Management*. Springer. 2017; 207–241. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58860-5_8
- Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Евдокимова З.З., Костина Л.И., Гавриленко Т.А. Последовательности, гомологичные участкам гена *RB/Rpi-bib1/Rpi-sto1*, у сортов картофеля, созданных методами традиционной селекции. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018; 22(6): 693–702 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.18699/VJ18.412>
- Huang S. et al. Comparative genomics enabled the isolation of the R3a late blight resistance gene in potato. *The Plant Journal*. 2005; 42(2): 251–261. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2005.02365.x>
- Asano K., Kobayashi A., Tsuda S., Nishinaka M., Tamiya S. DNA marker-assisted evaluation of potato genotypes for potential resistance to potato cyst nematode pathotypes not yet invading into Japan. *Breeding Science*. 2012; 62(2): 142–150. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.62.142>
- Гаджиев Н.М. и др. Использование в практической селекции картофеля результатов ДНК-маркирования исходных родительских форм и межсортовых гибридов. *Сельскохозяйственная биология*. 2020; 55(5): 981–994. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.5.981rus>
- Ермишин А.П., Свиточ О.В., Воронкова Е.В., Гукасян О.Н., Лукша В.И. Определение состава и аллельного состояния генов устойчивости к болезням и вредителям у родительских линий картофеля с помощью ДНК-маркеров. *Генетика*. 2016; 52(5): 569–578. <https://doi.org/10.7868/S0016675816050052>

REFERENCES

- Ahmadvand R., Wolf I., Gorji A.M., Polgár Z., Taller J. Development of Molecular Tools for Distinguishing Between the Highly Similar Rx1 and Rx2 PVX Extreme Resistance Genes in Tetraploid Potato. *Potato Research*. 2013; 56(4): 277–291. <https://doi.org/10.1007/s11540-013-9244-y>
- Biryukova V.A. et al. Search for the sources of pathogen resistance genes among the samples of the VNIKH breeding and genetic collections with the use of molecular markers. *Zashchita kartofelya*. 2015; (1): 3–7 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/tbigxp>
- Gavrilenko T.A. et al. Molecular screening of potato varieties bred in the northwestern zone of the Russian Federation. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018; 22(1): 35–45 (In Russian). <https://doi.org/10.18699/VJ18.329>
- Sokolova E. et al. SCAR-markers of the R-genes and germplasm of wild *Solanum* species for breeding late blight-resistant potato cultivars. *Plant Genetic Resources*. 2011; 9(2): 309–312. <https://doi.org/10.1017/S1479262111000347>
- Antonova O.Yu. et al. Genetic diversity of potato varieties bred in Russia and near-abroad countries based on polymorphism of SSR-loci and markers associated with resistance R-genes. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016; 20(5): 596–606 (In Russian). <https://doi.org/10.18699/VJ16.181>
- Valkonen J.P.T., Gebhardt C., Zimnoch-Guzowska E., Watanabe K.N. Resistance to *Potato virus Y* in potato. Lacomme C., Glais L., Bellstedt D.U., Dupuis B., Karasev A.V., Jacquot E. eds. *Potato Virus Y: Biodiversity, Pathogenicity, Epidemiology and Management*. Springer. 2017; 207–241. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58860-5_8
- Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Evdokimova Z.Z., Kostina L.I., Gavrilenko T.A. Finding *RB/Rpi-bib1/Rpi-sto1*-like sequences in conventionally bred potato varieties. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018; 22(6): 693–702. <https://doi.org/10.18699/VJ18.412>
- Huang S. et al. Comparative genomics enabled the isolation of the R3a late blight resistance gene in potato. *The Plant Journal*. 2005; 42(2): 251–261. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2005.02365.x>
- Asano K., Kobayashi A., Tsuda S., Nishinaka M., Tamiya S. DNA marker-assisted evaluation of potato genotypes for potential resistance to potato cyst nematode pathotypes not yet invading into Japan. *Breeding Science*. 2012; 62(2): 142–150. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.62.142>
- Gadzhiev N.M. et al. On using data from marker-assisted selection of source material and intervarietal hybrids in practical potato breeding. *Agricultural Biology*. 2020; 55(5): 981–994 (In Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.5.981rus>
- Yermishin A.P., Svitch O.V., Voronkova E.V., Gukasian O.N., Luksha V.I. Determination of the composition and the allelic state of disease and pest resistance genes in potato parental lines using DNA markers. *Russian Journal of Genetics*. 2016; 52(5): 569–578. <https://doi.org/10.1134/S1022795416050057>

12. Wu R., Gallo-Meagher M., Littell R.C., Zeng Z.-B. A General Polyploid Model for Analyzing Gene Segregation in Outcrossing Tetraploid Species. *Genetics*. 2001; 159(2): 869–882. <https://doi.org/10.1093/genetics/159.2.869>
13. Хютти А.В., Рыбаков Д.А., Гавриленко Т.А., Афанасенко О.С. Устойчивость к возбудителям фитофтороза и глободероза современного сортимента семенного картофеля и его фитосанитарное состояние в различных агроклиматических зонах европейской части России. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020; 24(4): 363–375. <https://doi.org/10.18699/VJ20.629>
14. Brylińska M., Śliwka J. Laboratory assessment of potato resistance to *Phytophthora infestans*. *Plant Breeding and Seed Science*. 2017; 76(1): 17–23. <https://doi.org/10.1515/plass-2017-0016>
15. Бирюкова В.А., Шмыгля И.В., Митюшкин А.В., Мелешин А.А., Жарова В.А. Молекулярный скрининг образцов селекционно-генетических коллекций ВНИИХ. «День поля» в рамках КПНИ ФАНО России «Развитие селекции и семеноводства картофеля» и научная конференция «Теоретические основы и прикладные исследования в селекции и семеноводстве картофеля». Новосибирск: Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук. 2018; 8. <https://doi.org/10.18699/Potato-2018-04>
16. Шанина Е.П., Сергеева Л.Б., Стафеева М.А., Клюкина Е.М. Применение ДНК-маркеров для оценки исходного селекционного материала картофеля. *Достижения науки и техники АПК*. 2018; (12): 47–49. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11213>
17. Клименко Н.С., Гавриленко Т.А., Костина Л.И., Мамadbokirova Ф.Т., Антонова О.Ю. Поиск источников устойчивости к *Globodera pallida* и к PVX в коллекции отечественных сортов картофеля с использованием молекулярных маркеров. *Биотехнология и селекция растений*. 2019; 2(1): 42–48. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2019-1-42-48>
18. Сайнакова А.Б. и др. Исследование коллекционных образцов картофеля на наличие генетических маркеров устойчивости к фитопатогенам. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018; 22(1): 18–24. <https://doi.org/10.18699/VJ18.326>
19. Khiutti A.V., Mironenko N.V., Afanasenko O.S., Antonova O.Y., Gavrilenko T.A. Potato Resistance to Quarantine Diseases. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017; 7(8): 833–844. <https://doi.org/10.1134/S2079059717050094>
20. Антоненко В.В., Смирнов А.Н. Влияние регуляторов роста растений новосил, лариксин и терпенол на агрессивность *Phytophthora infestans*. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2011; (4): 64–72. <https://elibrary.ru/ohklyd>
21. Мушинский А.А., Часовских Н.П., Герасимова Е.В., Аминова Е.В. Устойчивость сортов картофеля к фитофторозу (*Phytophthora infestans*) в условиях орошения в степной зоне Южного Урала. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016; (4): 61–63. <https://elibrary.ru/wjwmrj>

12. Wu R., Gallo-Meagher M., Littell R.C., Zeng Z.-B. A General Polyploid Model for Analyzing Gene Segregation in Outcrossing Tetraploid Species. *Genetics*. 2001; 159(2): 869–882. <https://doi.org/10.1093/genetics/159.2.869>
13. Khyutti A.V., Rybakov D.A., Gavrilenko T.A., Afanasenko O.S. Resistance to causal agents of late blight and golden potato nematode of the modern cultivars of seed potatoes and their phytosanitary status in various agroclimatic zones of the European part of Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020; 24(4): 363–375 (In Russian). <https://doi.org/10.18699/VJ20.629>
14. Brylińska M., Śliwka J. Laboratory assessment of potato resistance to *Phytophthora infestans*. *Plant Breeding and Seed Science*. 2017; 76(1): 17–23. <https://doi.org/10.1515/plass-2017-0016>
15. Biryukova V.A., Shmyglya I.V., Mityushkin A.V., Meleshin A.A., Zharova V.A. Molecular screening of samples of breeding and genetic collections of VNIKH. «Field Day» within the framework of the CPNI FANO of Russia «Development of potato breeding and seed production» and the scientific conference «Theoretical foundations and applied research in potato breeding and seed production». Novosibirsk: Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2018; 8 (In Russian). <https://doi.org/10.18699/Potato-2018-04>
16. Shanina E.P., Sergeeva L.B., Stafeyeva M.A., Klyukina E.M. The use of DNA markers to evaluate the initial breeding material of potatoes. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018; (12): 47–49 (In Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11213>
17. Klimenko N.S., Gavrilenko T.A., Kostina L.I., Mamadbokirova F.T., Antonova O.Yu. Search for resistance sources to *Globodera pallida* and potato virus X in the collection of potato varieties using molecular markers. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2019; 2(1): 42–48 (In Russian). <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2019-1-42-48>
18. Saynakova A.B. et al. Testing potato collection samples for the presence of genes for resistance to phytopathogens by means of DNA markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018; 22(1): 18–24 (In Russian). <https://doi.org/10.18699/VJ18.326>
19. Khiutti A.V., Mironenko N.V., Afanasenko O.S., Antonova O.Yu., Gavrilenko T.A. Potato Resistance to Quarantine Diseases. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017; 7(8): 833–844. <https://doi.org/10.1134/S2079059717050094>
20. Antonenko V.V., Smirnov A.N. The influence of plant growth regulators Novosil, Lariksin, and Terpenol on the aggression of *Phytophthora infestans*. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2011; (4): 64–72 (In Russian). <https://elibrary.ru/ohklyd>
21. Mushinsky A.A., Chasovskikh N.P., Gerasimova E.V., Aminova E.V. Resistance of potato varieties to late blight (*Phytophthora infestans*) under irrigation in the South Ural steppe zone. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2016; (4): 61–63 (In Russian). <https://elibrary.ru/wjwmrj>

ОБ АВТОРАХ

Петр Викторович Фисенко,

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
phisenko@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1727-4641>

Наталия Валериевна Мацишина,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
mnathalie134@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0165-1716>

Юлия Сергеевна Попова,

младший научный сотрудник
alexbronskaya@gmail.com

Дмитрий Игоревич Волков,

младший научный сотрудник
volkov_dima@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9364-9225>

Тамара Ивановна Хоружева,

младший научный сотрудник
tamaraserbakova736@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0140-394x>

Марина Владимировна Ермак,

младший научный сотрудник
ermackmarine@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-37278634>

Ольга Абдулалиевна Собко,

научный сотрудник
o.eyvazova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4383-3390>

Федеральный научный центр агробиотехнологий

Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
ул. Воложенина, 30Б, пос. Тимирязевский, Уссурийск,
Приморский край, 692539, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Petr Viktorovich Fisenko,

Candidate of Biological Sciences, Leading Researchers
phisenko@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1727-4641>

Nataliya Valerievna Matsishina,

Candidate of Biological Sciences, Senior Researchers
mnathalie134@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0165-1716>

Yuliya Sergeevna Popova,

Junior Research Assistant
alexbronskaya@gmail.com

Dmitrii Igorevich Volkov,

Junior Research Assistant
volkov_dima@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9364-9225>

Tamara Ivanovna Khoruzheva,

Junior Research Assistant
tamaraserbakova736@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0140-394x>

Marina Vladimirovna Ermak,

Junior Research Assistant
ermackmarine@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-37278634>

Olga Abdalaliyeva Sobko,

Researcher
o.eyvazova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4383-3390>

Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology

of the Far East named after A.K. Chaika,
30B Volozhenin Str., village Timiryazevsky, Ussuriysk,
Primorsky Krai, 692539, Russia