

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 635.21:631.523+631.526.32

DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-018



Генотипирование старых отечественных сортов картофеля, сохраняемых на Полярной опытной станции ВИР

Д. А. Рыбаков¹, О. Ю. Антонова¹, С. Н. Травина², О. С. Косарева¹, Т. А. Гавриленко¹¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, 190000² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Полярная опытная станция – филиал ВИР, Апатиты, РоссияАвтор, ответственный за переписку: Татьяна Андреевна Гавриленко, tatjana9972@yandex.ru

Актуальность исследования связана с необходимостью совершенствования методов сортовой идентификации и перепроверки дублетных образцов, что особенно важно для крупных коллекций, включающих старые сорта, для которых зачастую не хватает систематизированной информации об их отличительных признаках.

Материалы и методы. В работе изучены 39 старых отечественных сортов картофеля, сохраняемых на Полярной опытной станции ВИР, 29 из которых были представлены 2–3 дублетными образцами. Проведены поиск литературных данных и верификация сортоспецифичных морфологических признаков этих образцов, генотипирование с использованием набора микросателлитных маркеров и молекулярный скрининг с маркерами ряда генов, контролирующими устойчивость к *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens, *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival, *Phytophthora infestans* (Montagne) de Bary, а также с широко используемыми маркерами разных типов пластидной и митохондриальной ДНК.

В результате проведенных исследований для 37 образцов старых сортов получены: индивидуальные SSR-профили; информация об их типах оргanelльных ДНК; данные о наличии/отсутствии маркеров, ассоциированных с генами устойчивости к ряду вредных организмов. У 25 из 29 сортов, представленных разным числом дублетов, SSR-профили совпали для всех образцов, а у 4 образцов выявлены несовпадения.

Заключение. Полученные результаты подтверждают литературные данные о перспективах использования микросателлитного анализа для повышения эффективности традиционных методов верификации сортоспецифичных признаков и выявления дублетных образцов в биоресурсных коллекциях.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, маркеры ДНК, анализ SSR, коллекции, сорта, дублетные образцы

Благодарности: работа выполнена в рамках государственных заданий согласно тематическому плану ВИР по теме № FGEM-2022-0008.

Авторы выражают глубокую благодарность: д-ру биол. наук, профессору Л. И. Костиной за поддержку и ценные консультации по оценке сортоспецифичных признаков; научному сотруднику Н. В. Лебедевой за участие в отборе фрагментов ткани гербарных образцов и канд. биол. наук О. С. Ефремовой за участие во введении образцов в *in-vitro*-коллекцию.

Для цитирования: Рыбаков Д.А., Антонова О.Ю., Травина С.Н., Косарева О.С., Гавриленко Т.А. Генотипирование старых отечественных сортов картофеля, сохраняемых на Полярной опытной станции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2026;187(2):21-34. DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-018

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

MOBILIZATION AND CONSERVATION OF THE GENETIC DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-o18

Genotyping of old potato cultivars preserved at the Polar Experiment Station of VIR

Daniil A. Rybakov¹, Olga Yu. Antonova¹, Svetlana N. Travina², Olga S. Kosareva¹, Tatjana A. Gavrilenko¹

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Polar Experiment Station – branch of VIR, Apatity, Russia

Corresponding author: Tatjana A. Gavrilenko, tatjana9972@yandex.ru

Background. The relevance of the study is in the need to improve methods of varietal identification and re-examination of duplicate accessions. It is especially important for large collections that include old breeding cultivars, because they often lack systemized information about their distinctive traits.

Materials and methods. The study covered 39 old potato cultivars preserved at the Polar Experiment Station of VIR, 29 of which were represented by 2–3 duplicate accessions. A search for published data and verification of cultivar-specific morphological traits were conducted, along with microsatellite genotyping and molecular screening using markers of genes controlling resistance to *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens, *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival, *Phytophthora infestans* (Montagne) de Bary, as well as widely used markers of plastid and mitochondrial DNA types.

Results. As a result, individual SSR profiles, information on organelle DNA types, and data about the presence/absence of markers associated with resistance genes for several pathogens and pests were obtained for 37 accessions of old potato cultivars. For 25 out of 29 cultivars that were represented by different numbers of duplicates, SSR profiles were identical for all such accessions, while four accessions manifested discrepancies when compared with their duplicates.

Conclusion. The results of SSR analysis for duplicate accessions confirmed the published data on the prospects of using microsatellite analysis to increase the efficiency of bioresource collection management, especially as far as old cultivars are concerned.

Keywords: *Solanum tuberosum*, DNA markers, SSR analysis, collections, cultivars, duplicate accessions

Acknowledgments: the research was performed within the framework of the state tasks, Project No. FGEM-2022-0008.

The authors express their profound gratitude to Prof. Dr. L. I. Kostina for her support and valuable consultations on the assessment of cultivar-specific traits, N. V. Lebedeva for her aid in the selection of tissue fragments from the herbarium specimens, and O. S. Efremova for her contribution to the establishment of the *in vitro* potato germplasm maintained at the Polar Experiment Station of VIR.

For citation: Rybakov D.A., Antonova O.Yu., Travina S.N., Kosareva O.S., Gavrilenko T.A. Genotyping of old potato cultivars preserved at the Polar Experiment Station of VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2026;187(2):21-34. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-o18

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors or their employers.

Введение

В полевой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) поддерживается свыше 2300 селекционных сортов картофеля, что сопоставимо наиболее крупными коллекциями европейских и азиатских генбанков: 2952 – в ICAR-Central Potato Research Institute (CPRI, Индия) и 1943 сорта в IPK Genebank (GLKS, Германия) (Nagel et al., 2022).

Первые коллекции селекционных сортов картофеля в России, которые поначалу были представлены преимущественно зарубежными сортами, создавались на базе Бюро по прикладной ботанике и Петровской сельскохозяйственной академии (в настоящий момент Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева); на основе последней была организована Корневская картофельная селекционная станция (сейчас Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха) (Bukasov, 1959). В настоящее время самая крупная коллекция отечественных сортов картофеля сохраняется в коллекции ВИР.

Полевая коллекция селекционных сортов картофеля в ВИР поддерживается в двух локациях: на научно-производственной базе (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Пушкин, Санкт-Петербург) и на Полярной опытной станции – филиале ВИР (Полярная ОС ВИР, г. Апатиты Мурманской обл.). На Полярной ОС ВИР (до 1931 г. – опорный пункт «Хибины») коллекция сортов поддерживалась начиная с 1920-х годов; параллельно с этим на станции велась активная селекционная работа, которую проводили: С. А. Аникина, М. А. Вавилова, М. Н. Веселовская, И. А. Веселовский, Л. А. Дремлюг, Н. Н. Иванова, А. М. Козелецкая, Ф. И. Маньков, Г. Д. Мельничук и И. Г. Эйхфельд (Travina, 2020).

Начиная с 1930-х годов в селекционный процесс вовлекались образцы южноамериканских видов картофеля, собранные С. В. Юзепчуком и С. М. Букасовым в 1925–1928 гг. в ходе латиноамериканской экспедиции, организованной Н. И. Вавиловым. Выделившиеся по признакам раннеспелости и устойчивости к кратковременным заморозкам образцы вовлекали в селекционную работу (Travina, 2020). В результате в первой половине XX века на Полярной ОС ВИР были получены сорта: 'Апатит' ('Epicure' × *S. boyacense*), 'Имандра' ('Jubel' × *S. andigenum* f. *tocanum*), 'Марникве' ('Epicur' × (*S. andigenum* f. *tocanum* × 'Centifolia'), 'Хибинка' ['Early Rose' × ('Fürstenkrone' × *S. andigenum* var. *guchuanum*)], 'Хибинский Морозостойкий' ('Epicure' × *S. curtilobum*) и др. (Zaytseva, 1950; Bukasov, 1959; Anikina et al., 1986; Kostina, Kosareva, 2017; Travina, 2020).

Общей проблемой в изучении старых селекционных сортов картофеля является недостаток систематизированной информации об их происхождении и отличительных признаках. Например, в паспортной базе данных генетических ресурсов растений ВИР для отечественных сортов указаны их названия на русском и английском языках, каталожные и интродукционные номера образцов в коллекции ВИР, даты включения в коллекцию, страна происхождения, институт-селекционер (оригинатор), генеалогия на русском и английском и т. д. Отметим, что для некоторых старых отечественных сортов данная информация представлена фрагментарно (<https://www.vir.nw.ru>). Более подробные данные о происхождении и сортоспецифичных признаках можно найти и в литературных источниках (Zaytseva, 1935, 1950; Zaytseva et al., 1975; List No. 5..., 1958; Kostina, Kosareva, 2017). По-

иск такой информации осложнен частым использованием в названиях старых сортов нескольких названий-синонимов, или переводных названий, или транслитерации зарубежных слов. Так, например, сорт 'Courier' возделывался на территории СССР с пятью синонимами – 'Азия Б', 'Курьер', 'Серп и Молот', 'Снежинка № 2', 'Снежинка № 3' (Zaytseva, 1935).

Около 20 лет назад в ВИР начались работы по генотипированию сортов картофеля с использованием разных наборов микросателлитных (SSR-) маркеров и ДНК-маркеров различных локусов оргanelльной ДНК (Antonova et al., 2004, 2016, 2020; Gavrilenko et al., 2007, 2019; Shvachko, 2012). Микросателлитные маркеры, отобранные для генотипирования отечественных сортов картофеля из коллекции ВИР, были подобраны по литературным источникам, поскольку они активно использовались и в других генбанках для SSR-профилирования зарубежных сортов: Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), Германия (Diekmann et al., 2017); Estonian Crop Research Institute (ECRI), Эстония (Ivanova-Pozdejeva et al., 2021); Central Potato Research Institute (ICAR), Индия (Bhardwaj et al., 2023); Agricultural Biotechnology Research Institute (AARI), Пакистан (Bhardwaj et al., 2023); National Agricultural Research Institute (NARI), Гамбия (Ghebresslassie et al., 2016).

Помимо генотипирования, SSR-маркеры также эффективно используются для выявления дублетов и ошибок при поддержании образцов в коллекциях (Reid et al., 2011; Diekmann et al., 2017; Ivanova-Pozdejeva et al., 2021). Так, в работе А. Reid с коллегами при помощи SSR-маркеров проанализировали более двухсот сортов, представленных различным числом дублетных образцов из 4 разных коллекций (Reid et al., 2011). В итоге было выявлено около 10% несовпадений: пары образцов с одинаковым названием, но разными SSR-профилями, а также образцы с разными названиями и одинаковым профилем.

Задачи настоящей работы включали: SSR-генотипирование старых отечественных селекционных сортов картофеля, сохраняемых на Полярной опытной станции ВИР, верификацию дублетных образцов, выявление возможных ошибок при передаче или при поддержании образцов в полевой коллекции (некоторые образцы поддерживались более ста лет).

Материалы и методы

Материал включал 39 старых отечественных сортов картофеля, сохраняемых на Полярной ОС ВИР (табл. 1). В исследовании также был привлечен сорт 'Хибины № 3', выведенный на станции в 1937 г., который сохранился только в полевой коллекции НПБ. Из 39 сортов 29 были представлены 2–3 дублетными образцами; суммарно в исследование были привлечены 38 дублетных образцов: 23 образца из коллекции *in vitro* ВИР, 11 образцов из полевой коллекции, сохраняемых в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», а также 4 образца из основного фонда Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (Гербарий WIR) (см. табл. 1). Судя по найденным литературным данным, большинство сортов изученной выборки были выведены до 1950 г.; для ряда сортов информация не найдена, поэтому в этих случаях в таблице 1 указан либо год интродукции образца в коллекцию ВИР, либо дата первого упоминания названия сорта, найденного нами в литературе.

Таблица 1. Изученные в работе образцы

Table 1. Accessions analyzed in the study

Образец	Каталог ВИР, к-	Год ¹	Число образцов, полученных из различных источников (число независимо выделенных препаратов ДНК)				Всего
			ПОС	НПБ	Коллекция <i>in vitro</i>	Гербарий WIR	
‘Апатит’ (2/32)	вк-52	1937	1	–	1	–	2
‘Белоклубневый’	2264	1954*	1	–	1	–	2
‘Белоплет’ (16/67)	вк-112	1950**	1	–	1	–	2
‘Гуменючка’	737	1917**	1	–	1	–	2
‘Детскосельский’	2902	1959	1	1	1	1	4
‘Драгоценность Агнелли’	740	1920**	1 (2)	–	–	–	1 (2)
‘Заполярный’ (51/571)	10181	1957*	1	–	1	–	2
‘Злата’	743	1953*	1	–	1	–	2
‘Игарский’ (сеянец 101)	1288	1956*	1	–	–	–	1
‘Имандра’	1262	1934	1	1	–	–	2
‘Камераз 1’	1255	1938	1	1 (3)	1	–	3 (5)
‘Картофель Дарвина’	вк-11	–	1	–	1	–	2
‘Кинельский Богатырь’ А ²	2256	1948*	1 (2)	–	–	–	1 (2)
‘Кинельский Богатырь’ Б ²	2256	1948*	1	–	1	–	2
‘Киселивка’	2971	1958*	1	–	1	–	2
‘Коллективный’	751	1922	1	–	1	–	2
‘Кореневский’	753	1922	1	1	–	–	2
‘Красный Костромской’	758	1938**	1	–	1	–	2
‘Крестьянка Рединга’	760	1926**	1	–	–	–	1
‘Кустистая Роза’	2313	1953*	1	–	–	–	1
‘Лорх’	766	1922	1	1 (3)	1 ³	–	3 (5)
‘Люстдорфская’	767	1956*	1	–	–	–	1
‘Московский’	778	1925	1	–	–	–	1
‘Октябренок’	1273	1928	1 (2)	1	–	1	3 (4)
‘Подарок Родине’	1275	1953*	1	–	1	–	2
‘Свердловский’	808	1950	1	–	1	–	2
‘Сибиряк’ (сеянец 36/15)	812	1937	1	–	–	1	2
‘Скороспелка’	2265	1954	1	–	–	–	1
‘Смысловский’	814	1905	1 (2)	–	–	1	2 (3)
‘Снежинка № 3’	816	1924	1	–	–	–	1
‘Спутник’ (23/524)	вк-130	1964**	1 (2)	–	–	–	1 (2)
‘Устьбез’	827	1938*	1	–	1	–	2
‘Хамелеон’	831	1953*	1	–	1	–	2

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Образец	Каталог ВИР, к-	Год ¹	Число образцов, полученных из различных источников (число независимо выделенных препаратов ДНК)				Всего
			ПОС	НПБ	Коллекция <i>in vitro</i>	Гербарий ВИР	
‘Хибинка’ (6/178)	832	1935*	1	–	1	–	2
‘Хибинская Скороспелка’ (4/29)	1290	1936	1	–	1	–	2
‘Хибинский Двурожайный’ (19/51)	вк-62	1936	1	–	1	–	2
‘Хибинский Морозостойкий’ (32/102)	вк-134	1934	1	–	1	–	2
‘Хибины № 3’	830	1937	–	1	–	–	1
Элита 158	944	1948*	1	–	1	–	2
‘Якутский’	841	1923*	1	–	–	–	1
Всего изучено образцов			39	7	23	4	73
Число независимо выделенных препаратов ДНК:			44	11	23	4	87

Примечание: ¹ – в столбце «Год» указан год выведения сорта, а в случае если эта информация не была найдена, то (*) отмечен год интродукции образца в коллекцию ВИР или (**) – год первого упоминания названия сорта в литературе; ² – различающиеся по морфологии клоны сорта ‘Кинельский Богатырь’ были обозначены куратором коллекции как А и Б; ³ – образец сорта ‘Лорх’ в 2016 г. был передан из ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха в коллекцию *in vitro* ВИР; НПБ – научно-производственная база «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Серая заливка обозначает образцы, сортовая принадлежность которых поставлена под сомнение по данным молекулярно-генетического анализа или по результатам верификации ряда морфологических признаков

Note: ¹ – the column “Год” (Year) contains the year when the cultivar was released, but if such information is not available, (*) denotes the year when the accession entered the VIR collection, and (**) marks the year when the cultivar’s name was for the first time mentioned in published sources; ² – morphologically distinct clones of cv. ‘Kinelsky Bogatyr’ were indexed by the collection curator as A and B; ³ – a sample of cv. ‘Lorkh’ was submitted in 2016 by the Russian Potato Research Center to the *in vitro* collection of VIR; НПБ refers to Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR. Grey shading indicates accessions whose varietal identity is questionable according to the data of molecular genetic analysis or the verification of certain morphological traits

Некоторые сорта, перечисленные в таблице 1, были выведены зарубежными селекционерами, тем не менее мы их также включили в исследование, поскольку они в разное время широко возделывались в Советском Союзе и/или участвовали в проводимых советскими селекционерами отборах. Названия таких сортов в истории отечественной селекции были зафиксированы на русском языке: например, сорт ‘Courier’ (синонимы: ‘Курьер’, ‘Снежинка № 3’, ‘Серп и Молот’ и др.) был районирован в шести областях и двух республиках СССР; сорт ‘Смысловский’ – результат улучшенного отбора из немецкого сорта ‘Fürststkrone’ – был районирован в шести областях Советского Союза (Zaytseva, 1950).

Методы

Верификацию сортовой принадлежности образцов экспериментальной выборки проводили, сравнивая их морфологические признаки с указанными в литературе сортоспецифическими признаками (Zaytseva, 1935, 1950). При изучении признаков венчика, клубней, световых ростков руководствовались «Широким и унифицированным классификатором...» (Bukasov et al., 1977)

Выделение тотальной ДНК проводили 1) из образцов полевой коллекции и коллекции *in vitro* с помощью модифицированного метода СТАВ-экстракции (Antonova et al., 2020). Растительным материалом для выделения ДНК

послужили листья побегов, кожура и световые ростки клубня, а также листья микрорастений; 2) из листьев гербарных образцов при помощи набора с силиконированными колонками DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Германия).

Молекулярный скрининг образцов проводили с помощью маркеров R-генов, контролирующих устойчивость: к патотипу Ro1 *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens, маркеры гена H1 – 57R (Schultz et al., 2012) и N195 (Takeuchi et al., 2008; Mori et al., 2011); расоспецифичной устойчивости к *Phytophthora infestans* (Montagne) de Bary, маркер R1 гена R1 (Mori et al., 2011); к патотипу 1 *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival, маркер NL25 гена Sen1 (Gebhardt et al., 2006). Определение типов плазмидной и митохондриальной ДНК сортов проводили с маркерами из набора К. Хосака и Р. Санэтомо (Hosaka, Sanetomo, 2012).

Во всех случаях протоколы ПЦР соответствовали условиям разработчиков праймеров, за исключением маркера NL25 гена Sen1: в последнем случае использовали модифицированную программу 94°C – 5 мин; 8 циклов [94°C – 45 с, 58°C – 1 мин, 72°C – 2 мин], 30 циклов [94°C – 45 с, 58°C – 45 с, 72°C – 2 мин] и заключительная элонгация 72°C в течение 10 минут.

SSR-генотипирование выполнено с помощью восьми пар микросателлитных праймеров, разработанных ря-

дом авторов: STM0037, STM2005 (Milbourne et al., 1998); StI004, StI032, StI033, StI046 (Feingold et al., 2005); STG0016, STM5114 (Ghislain et al., 2009); шесть из восьми маркеров входят в набор PGI – Potato Genetic Identification (Ghislain et al., 2009). Те же самые SSR-маркеры использовались нами ранее для генотипирования современных российских сортов (Antonova et al., 2020). В этой работе также приведены протоколы проведения ПЦР и разделения фрагментов. Продукты ПЦР, полученные при амплификации с SSR-праймерами, разделяли электрофорезом в 8-процентных денатурирующих полиакриламидных гелях на приборе LI-COR 4300S DNA Analyzer с лазерной детекцией фрагментов. В качестве стандартов молекулярного веса использовали маркеры фирмы LI-COR “50-350 bp” (LI-COR Biotechnology, США) (<https://www.licor.com>). Полученные данные заносили в таблицу Excel. Для оценки полиморфизма микросателлитных локусов применяли индекс PIC (polymorphic information content).

Статистическую обработку проводили на основе бинарной матрицы Excel и PAST V4.03 (Hammer et al., 2001). Кластерный анализ проводили с использованием методов NJ, UPGMA (мера сходства Dice и Jaccard) и Ward, достоверность узлов оценивали бутстреп-анализом с 10 000 репликаций.

Результаты и обсуждение

Верификация морфологических признаков образцов старых сортов

На первом этапе была проведена систематизация доступной нам информации о происхождении и сортоспецифичных морфологических признаках старых сортов. Учитывались записи многолетних наблюдений образцов полевой коллекции Полярной ОС ВИР, данные каталогов ВИР и других институтов, а также литературные данные (Zaytseva, 1935, 1950; Zaytseva et al., 1975; Anikina et al., 1986; Kostina, Kosareva, 2017; etc.). Согласно найденной информации, большинство сортов анализируемой выборки создавались в первой половине XX века (см. табл. 1). К сожалению, детальная информация для большинства старых сортов была фрагментарной, полные и подробные описания найдены для пятнадцати сортов выборки. На следующем этапе проводили сопоставление найденной информации о сортоспецифичных признаках (окраска и форма венчика, форма клубня, окраска кожуры, морфология световых ростков клубней) с наблюдаемыми признаками анализируемых образцов. Следует учитывать, что данные образцы длительное время поддерживались в полевой коллекции и накопили вирусные инфекции, что в ряде случаев обусловило изменение морфологических признаков листовой пластинки и неспособность растений формировать репродуктивные органы.

В единичных случаях были выявлены несоответствия: например, образец сорта ‘Сибиряк’ (сеянец 36/15) (к-812) имел белые цветки, тогда как Н. Д. Зайцева у этого сорта отмечает красно-фиолетовую окраску венчиков (Zaytseva, 1950). В связи с этим для дальнейшего SSR-генотипирования образец к-812 был заменен на образец сорта ‘Сибиряк’ (сеянец 36/15) из гербарной коллекции – WIR-78482, который имеет венчик красно-фиолетовой окраски (см. табл. 1).

Различия в окраске венчиков также были обнаружены между двумя дублетами образца к-1273 сорта ‘Октябренок’ – из коллекции Полярной ОС ВИР (с окрашенным

венчиком) и из НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (с белыми цветками). По литературным данным, сорт ‘Октябренок’ обладает красно-фиолетовой окраской венчика (Zaytseva, 1950). Дополнительно в анализируемую выборку был привлечен образец сорта ‘Октябренок’ (WIR-78314) из Гербария WIR (см. табл. 1).

Молекулярный скрининг

Для верификации старых сортов также важна информация о наличии/отсутствии определенных типов цитоплазм, а также маркеров генов устойчивости к определенным вредным организмам, что связано с развитием различных направлений советской селекции картофеля.

Молекулярный скрининг с маркерами разных типов цитоплазм

У всех образцов проанализированной выборки был выявлен чилийский T-тип цитоплазмы со специфичной делецией 241 пн в межгенном спейсере *ndhC/trnV* хлДНК и с β -типом мтДНК. Этот тип цитоплазмы характерен для старых сортов, созданных в разных странах в конце XIX века – первой половине XX века (Hosaka, Sanetomo, 2012; Sanetomo, Gebhardt, 2015). В то же время в современном отечественном генофонде чилийский T-тип цитоплазмы встречается меньше чем у половины сортов, поскольку с развитием методов межвидовой гибридизации во второй половине XX века появляются отечественные сорта с типами цитоплазм D и W/γ, интрогрессированными от мексиканских видов картофеля (Gavrilenko et al., 2019).

Молекулярный скрининг с маркером гена *Sen1*, контролирующего устойчивость к патотипу 1 *Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Percival

Важную информацию для верификации старых селекционных сортов могут предоставить результаты молекулярного скрининга с маркером NL25 гена *Sen1*, контролирующего устойчивость к патотипу 1 возбудителя рака картофеля *S. endobioticum* (в нашей стране распространен только этот патотип). Селекция отечественных ракоустойчивых сортов картофеля началась в конце 1920-х годов; до середины 1960-х годов большая часть районированных сортов оставалась восприимчивой к патотипу 1, и только с 1979 г., согласно постановлению правительства от 6 июля 1979 г. № 656 «О мерах по улучшению организации карантин растений в СССР», все сорта, включаемые в Госреестр, должны обладать ракоустойчивостью. Можно ожидать, что большая часть старых отечественных сортов, созданных в первой половине XX века, не обладает диагностическим фрагментом маркера NL25 гена *Sen1*. Действительно, у большей части старых сортов экспериментальной выборки диагностический фрагмент маркера NL25 выявлен не был (табл. 2, рис. 1). К сожалению, для 23 сортов анализируемой выборки не удалось найти информацию об их фитопатологической устойчивости к *S. endobioticum*. Тем не менее для 15 из 17 сортов с известными из литературы данными об их ракоустойчивости/восприимчивости выявлено совпадение с результатами молекулярного скрининга, а в двух случаях выявлены несовпадения (см. табл. 2).

Так, сорт ‘Октябренок’ является одним из первых ракоустойчивых советских сортов (Zaytseva, 1950), однако у образца к-1273 из полевой коллекции Полярной ОС ВИР (с окрашенным венчиком) диагностический фраг-

Таблица 2. Результаты молекулярного скрининга сортов картофеля с маркером NL25 гена *Sen1***Table 2. Results of molecular screening of potato cultivars with the NL25 marker of the *Sen1* gene**

R/S*	NL25	Образцы
R	1	N = 6: 'Детскосельский', 'Заполярный' (51/571), 'Имандра', 'Камераз 1', 'Снежинка № 3', 'Спутник' (23/524)
S	0	N = 9: 'Белоплет' (16/67), 'Кореневский', 'Лорх', 'Московский', 'Свердловский', 'Сибиряк' (сеянец 36/15), 'Смысловский', 'Хиби́нская Скоро́спелка' (4/29), 'Хиби́нский Двурожа́йный' (19/51).
-	1	N = 10: 'Белоклубневый', 'Гуменючка', 'Картофель Дарвина', 'Кинельский Богатырь' (Б), 'Киселивка', 'Красный Костромской', 'Крестьянка Рединга', 'Кустистая Роза', 'Люстдорфская', 'Устьбез'
-	0	N = 13: 'Апатит', 'Драгоценность Агнелли', 'Злата', 'Игарский' (сеянец 101), 'Кинельский Богатырь' (А), 'Коллективный', 'Подарок Родине', 'Скороспелка', 'Хамелеон', 'Хиби́нка' (6/178), 'Хиби́нский Морозостойкий' (32/102), Элита 158, 'Якутский'
R	0	N = 2: 'Октябренок**', 'Хибины № 3**'

Примечание: N – число образцов; 1 – наличие маркера NL25; 0 – отсутствие этого маркера; * – информация о наличии в выборке сортов, устойчивых (R) или восприимчивых (S) к первому патотипу *Synchytrium endobioticum*, зафиксирована по данным фитопатологической оценки, результаты которой приведены в литературных источниках (Zaytseva, 1950; List No. 4..., 1956; List No. 6..., 1964; Zaytseva et al., 1975; Komarov et al., 1983); прочерк (-) означает, что данные о ракоустойчивости/восприимчивости сортов не были найдены; ** – см. пояснения в тексте

Note: N means the number of accessions; 1 means the presence of the NL25 marker; 0 means the absence of this marker; * – the information on the presence of cultivars resistant (R) or susceptible (S) to the first pathotype of *Synchytrium endobioticum*, as determined by phytopathological evaluation, was obtained from published sources (Zaytseva, 1950; List No. 4..., 1956; List No. 6..., 1964; Zaytseva et al., 1975; Komarov et al., 1983); the dash (-) indicates that no data on resistance/susceptibility to potato wart disease was found; ** – see explanations in the text

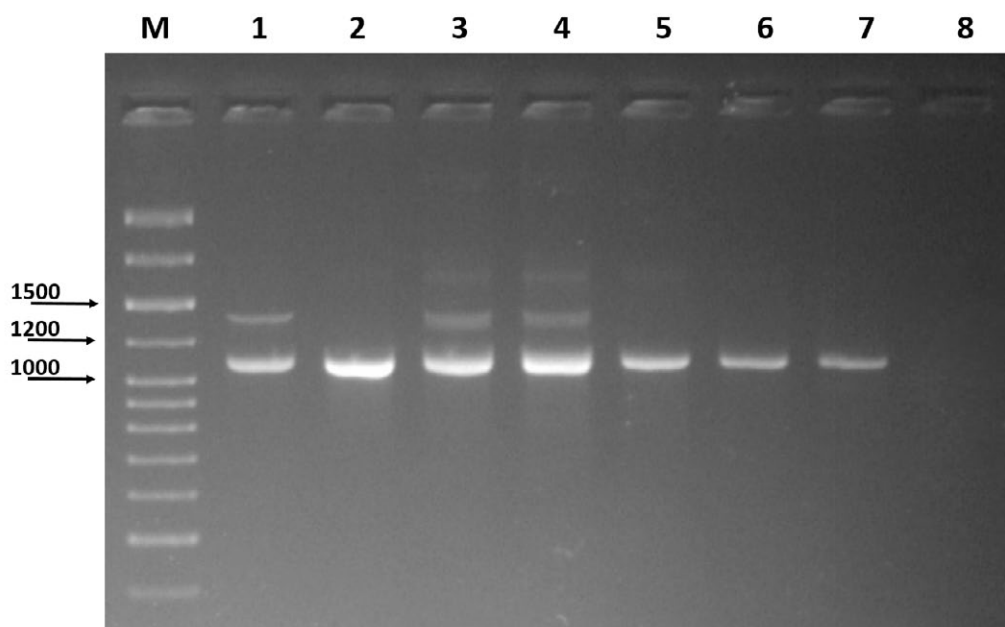


Рис. 1. Молекулярный скрининг сортов картофеля с маркером NL25, сцепленным с геном *Sen1*, где: М – маркер молекулярного веса; 1 – 'Чародей' («+» контроль); 2 – 'Лорх'; 3 – 'Снежинка № 3'; 4 – 'Люстдорфская'; 5 – 'Кореневский'; 6 – 'Московский'; 7 – 'Игарский' (сеянец 101); 8 – вода («-» контроль). Диагностический фрагмент маркера NL25 – 1400 пн

Fig. 1. Molecular screening of potato cultivars with the NL25 marker linked to the *Sen1* gene, where: M – marker weight; 1 – 'Charodey' ("+" control); 2 – 'Lorkh'; 3 – 'Snezhinka No. 3'; 4 – 'Lyustdorfskaya'; 5 – 'Korenevskiy'; 6 – 'Moskovskiy'; 7 – 'Igarskiy' (seedling 101); 8 – water ("-" control). Diagnostic fragment size of the NL25 marker is 1400 bp

мент маркера NL25 обнаружен не был, поэтому для последующего SSR-профилирования в выборку старых отечественных сортов добавили образец WIR-78314 сорта 'Октябренок' из Гербария WIR (см. табл. 1).

Более сложный случай, хорошо иллюстрирующий трудности идентификации и поддержания старых селекционных сортов картофеля, выявлен при анализе хибинских сортов. Судя по литературным данным, сорт 'Хибины № 3' должен быть ракоустойчивым (Котаров, 1983), однако в молекулярном скрининге у образца к-830 сорта 'Хибины № 3' маркер гена *Sen1* не был обнаружен (см. табл. 2, обозначен **). Не исключено, что в данном случае могла произойти путаница с названиями сортов. Так, С. М. Букасов (Bukasov, 1959) отмечал, что сорт 'Хибины № 3' имеет два названия-синонима: 'Краснодарец' и 'Кубанец'. В то же время в более ранней работе М. А. Щибря (1954) упоминает, что название-синоним 'Кубанец' относится к сорту 'Хибинская Скороспелка', а название-синоним 'Краснодарец' относится к сорту 'Хибинский Двурожайный' (Shchibrya, 1954). Таким образом, если комментарий С. М. Букасова справедлив, то микросателлитные профили образцов трех хибинских сортов ('Хибины № 3', 'Хибинский Двурожайный', 'Хибинская Скороспелка') должны совпасть. Однако результаты нашего SSR-анализа (см. следующие разделы статьи) показали, что SSR-профили образцов 'Хибины № 3' (к-830) и 'Хибинский Двурожайный' (вк-134) полностью совпадают, в то время как у образца 'Хибинская Скороспелка' (к-1590) выявлены генетические отличия. Отметим, что по литературным данным, сорта 'Хибинский Двурожайный' и 'Хибинская Скороспелка' поражаются возбудителем рака картофеля (List No. 4..., 1956), у образцов этих сортов диагностический фрагмент маркера NL25 выявлен не был (см. табл. 2). Из-за такой сложной синонимии в названиях хибинских сортов мы затрудняемся сделать заключительный вывод о сортовой принадлежности этих образцов.

Молекулярный скрининг с маркером гена *R1*, контролирующего распецифичную устойчивость к фитофторозу

Начало активного использования в отечественной селекции межвидовых гибридов и селекционных клонов, созданных с участием мексиканского дикого вида *Solanum demissum* Lindl. – донора гена *R1*, можно отнести к середине XX века (Malcolmson, Black, 1966; Ross, 1986; Plaisted, Hoopes, 1989). Поэтому априори не ожидалось выявления большого числа старых советских сортов с маркером гена *R1*. Действительно, в изученной выборке образцов маркер *R1* был выявлен только у двух сортов: 'Детскосельский' (к-2902) и 'Камераз 1' (к-1255), что согласуется с литературными данными об участии в их ро-

дословных межвидовых гибридов с *S. demissum* (Kostina, 1992; Van Berloo et al., 2007) (рис. 2), а также с данными других авторов о наличии у этих сортов маркера *R1* (Beketova, Havkin, 2006).

Молекулярный скрининг сортов с маркерами гена *H1*

Как и ожидалось, ни у одного из 40 сортов изученной выборки не были выявлены маркеры гена *H1*, контролирующего устойчивость к патотипу Ro1 золотистой картофельной цистообразующей нематоды, поскольку активная селекция нематоустойчивых сортов в нашей стране началась позднее – в 1970-х годах.

Результаты микросателлитного анализа

SSR-генотипирование

По результатам микросателлитного анализа был определен аллельный состав восьми локусов и проведено SSR-профилирование образцов старых сортов, сохраняемых на Полярной ОС ВИР, а также дублетных образцов (см. табл. 1). Индивидуальные SSR-профили получены для следующих 37 образцов: 'Апатит', 'Белоклубневый', 'Белоплет', 'Гуменючка', 'Гутнянка', 'Детскосельский', 'Заполярный', 'Злата', 'Игарский' (сеянец 101), 'Имандра', 'Камераз 1', 'Картофель Дарвина', 'Киселивка', 'Коллективный', 'Корневский', 'Красный Костромской', 'Крестьянка Рединга', 'Кустистая Роза', 'Лорх', 'Люстдорфская', 'Московский', 'Октябренок' (WIR-78314), 'Подарок Родине', 'Свердловский', 'Сибиряк' (WIR-78482), 'Спутник' (23/524), 'Устьбез', 'Хамелеон', 'Хибинка', 'Хибинская Скороспелка', 'Хибинский Двурожайный', 'Хибинский Морозостойкий', 'Элита 158', 'Якутский' (табл. 3).

Использование данных SSR-анализа для выявления дублетов и технических ошибок

В большинстве случаев результаты SSR-генотипирования старых сортов, сохраняемых на Полярной ОС ВИР, совпали с SSR-профилями образцов тех же сортов, сохраняемых в дублетных коллекциях, что подтверждает их генетическую идентичность. Микросателлитные профили двух сортов из полевой коллекции Полярной ОС ВИР – 'Детскосельский' и 'Смысловский' – совпали с одноименными образцами из Гербария WIR (согласно информации гербарных этикеток, образец WIR-80203 сорта 'Детскосельский' был собран в 1954 г., образец WIR-85292 сорта 'Смысловский' был собран и определен известным специалистом по генресурсам картофеля Л. И. Костиной). Также совпали SSR-профили одноименных образцов, сохраняемых в полевых коллекциях Полярной ОС ВИР и НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», для следующих сортов: 'Имандра', 'Камераз 1', 'Корнев-

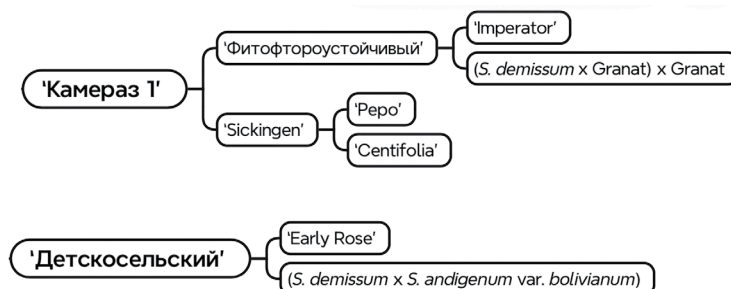


Рис. 2. Родословные сортов 'Камераз 1' и 'Детскосельский'

Fig. 2. Pedigrees of cvs. 'Kameraz 1' and 'Detskoselskiy'

ский, а также образцов сорта 'Лорх', полученных из Полярной ОС ВИР и ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха (институт-оригинатор).

В то же время в нескольких случаях были выявлены несовпадения: обнаружены образцы с разными названиями, но одинаковыми SSR-профилями и, наоборот, одноименные образцы с разными профилями (см. табл. 1). Так, два образца с разными названиями из коллекции Полярной ОС ВИР имели одинаковые SSR-профили; это образец к-1044 'Драгоценность Агнелли' и образец к-1119 'Смысловский'. Отметим, что эти образцы не отличались между собой и по признакам световых ростков, форме и окраске кожуры клубня, которые соответствовали описанию сорта 'Смысловский' (литературные данные о морфологических признаках сорта 'Драгоценность Агнелли' найти не удалось). Форма венчика (гофрированная спайка долей венчика) у образца к-1119 с Полярной ОС ВИР также соответствовала известному описанию сорта 'Смысловский' (Zaytseva, 1950). Окончательное заключение о соответствии сорту 'Смысловский' образца к-1119, сохраняемому десятки лет в полевой коллекции Полярной ОС ВИР, было сделано после SSR-профилирования гербарного образца этого сорта – WIR-85292, который определила и собрала Л. И. Костина еще в 1966 г. на экспериментальном поле Пушкинских лабораторий ВИР (информация гербарной этикетки). Поскольку SSR-профили этого гербарного образца WIR-85292 и образца к-1119 сорта 'Смысловский' из полевой коллекции Полярной ОС ВИР совпали, то образец к-1044 'Драгоценность Агнелли' с совпадающим микросателлитным профилем можно рассматривать как результат технической ошибки. Также совпали микросателлитные профили образцов к-830 'Хибины № 3' (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР») и вк-62 'Хибинский Двурожайный' (Полярная ОС ВИР); сложная ситуация с синонимами хибинских сортов отмечалась выше.

В трех случаях ожидаемо не совпали SSR-профили следующих одноименных образцов:

(1) двух образцов сорта 'Сибиряк' (сеянец 36/15) – к-812 (Полярная ОС ВИР) и WIR-78482 (гербарный образец), различающихся по цвету венчика (см. выше);

(2) двух клонов образца к-2256 'Кинельский Богатырь', которые ранее куратор коллекции Полярной ОС

ВИР обозначил индексами «А» и «Б», поскольку вариант «А» по цвету венчика отличался и от варианта «Б», и от описаний этого сорта;

(3) трех образцов сорта 'Октябренок', полученных из коллекций: Полярной ОС ВИР (венчик окрашен, не имеет маркера NL25 гена *Sen1* – см. выше), НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (с белыми цветками) и Гербария WIR – образец WIR-78314 с окрашенным венчиком.

В результате проведенного комплексного изучения 39 образцов старых отечественных сортов, сохраняемых на Полярной ОС ВИР, включающего: верификацию сорто-специфических морфологических признаков; молекулярный скрининг с маркерами генов, контролирующими устойчивость к ряду вредных организмов; сопоставление полученных результатов с имеющимися литературными и другими данными, а также микросателлитное профилирование этих образцов, размер исходной выборки был сокращен до 37 образцов (табл. 1, 3).

Верифицированная выборка из 37 образцов была использована в дальнейшем для изучения полиморфизма SSR-локусов старых отечественных сортов (табл. 4) и для анализа их генетических взаимосвязей (рис. 3).

Все изученные SSR-локусы оказались высокополиморфными. Число аллелей варьировало от пяти (STM2005) до девяти (StI046). В совокупности у 37 сортов было выявлено 53 SSR-аллеля размером от 64 пн (StI004) до 304 пн (STM5114). Индекс полиморфизма (PIC) варьировал от 0,643 (STM2005) до 0,822 (STM0037) (табл. 4). Отметим, что в выборке современных отечественных сортов, которая была генотипирована с тем же набором SSR-маркеров, уровень полиморфизма изученных локусов существенно не отличался (Antonova et al., 2020).

На дендрограмме выявлены только две пары сортов – 'Заполярный', 'Имандра' и 'Хамелеон', 'Игарский' (сеянец 101), кластеризация которых поддержана высокими значениями (70 <) бутстреп (рис. 3). Отметим, что эти две пары выделялись независимо от метода построения дендрограмм – NJ, UPGMA и Ward. При этом только для одной пары ('Заполярный', 'Имандра') совместное группирование можно объяснить данными родословных (рис. 4).

Таблица 4. Полиморфизм восьми SSR-локусов в выборке из 37 образцов старых сортов картофеля, сохраняемых на Полярной опытной станции ВИР

Table 4. Polymorphism of 8 SSR loci in a subset of 37 old potato cultivar accessions from the Polar Experiment Station of VIR

Локус	PIC	Размер аллельных фрагментов (пн)		Число не нулевых аллелей
		min	max	
STG0016	0,789	117	153	8
StI004	0,743	64	100	7
StI032	0,793	109	127	6
StI033	0,731	113	134	6
StI046	0,804	179	206	9
STM0037	0,822	72	88	6
STM2005	0,643	148	190	5
STM5114	0,709	280	304	6
Итого:				53

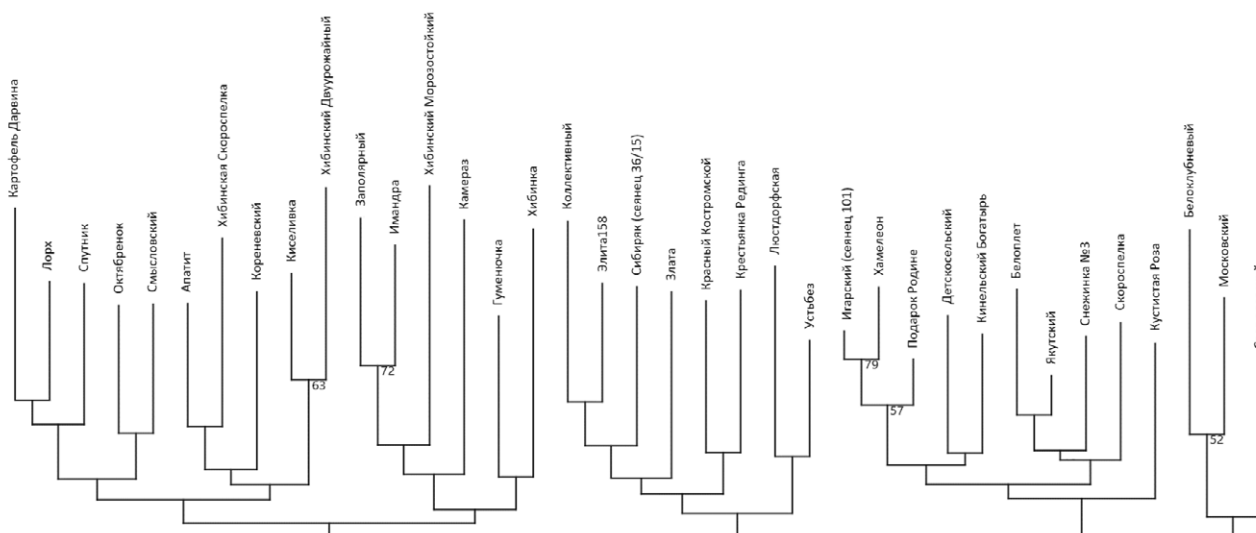


Рис. 3. Дендрограмма, построенная по данным SSR-генотипирования (использован метод ближайшего соседа (NJ) на основе коэффициента Dice)

Fig. 3. Dendrogram constructed using SSR genotyping data (the nearest neighbor-joining (NJ) method was used, based on the Dice coefficient)



Рис. 4. Родословные сортов 'Заполярный' и 'Имандра'

Fig. 4. Pedigrees of cvs. 'Zapolyarny' and 'Imandra'

В то же время для ряда других сортов, имеющих общие родительские формы (например, 'Корневский' и 'Лорх'), совместной кластеризации не наблюдалась.

Заключение

Проведено комплексное изучение выборки, включавшей 39 образцов старых сортов картофеля, сохраняемых на Полярной опытной станции ВИР, большая часть которых была выведена в нашей стране в первой половине XX века, а также несколько зарубежных сортов, которые в этот период широко возделывались в Советском Союзе и/или участвовали в селекционных исследованиях советских селекционеров.

Данные молекулярного скрининга об отсутствии/наличии ряда ДНК-маркеров показали, что подавляющее число образцов имели генетические профили, характерные для старых сортов, созданных в конце XIX века – первой половине XX века. Так, все изученные сорта имели чилийский T-тип цитоплазмы, более половины из них (60%) не имели маркера NL25 гена *Sen1*, контролирующего устойчивость к возбудителю рака картофеля; 95% не имели маркера гена *R1* распецифичной устойчивости к возбудителю фитофтороза и ни один образец не имел маркеров гена *H1*, обуславливающего устойчивость к золотистой цистообразующей картофельной нематодой.

В результате проведенных исследований получены индивидуальные SSR-профили 37 старых отечественных

сортов; данные SSR-анализа подтвердили генетическую идентичность большинства одноименных дублетных образцов. Полученные результаты подтверждают литературные данные о перспективах использования микросателлитного анализа для повышения эффективности традиционных методов верификации сортоспецифичных признаков и выявления дублетных образцов в биоресурсных коллекциях.

References / Литература

- Anikina S.A., Vavilova M.A., Vasilyeva M.E., Kozeletskaya A.M. Potatoes in Murmansk Province (Kartofel v Murmanskoy oblasti). Murmansk; 1986. [in Russian] (Аникина С.А., Вавилова М.А., Васильева Е.М., Козелецкая А.М. Картофель в Мурманской области. Мурманск; 1986).
- Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Rybakov D.A., Fomina N.A., Zheltova V.V., Novikova L.Yu. et al. SSR analysis of modern Russian potato varieties using DNA samples of nomenclatural standards. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(4):77-96. [in Russian] (Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Рыбаков Д.А., Фомина Н.А., Желтова В.В., Новикова Л.Ю. и др. SSR-анализ современных российских сортов картофеля с использованием ДНК номенклатурных стандартов. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(4):77-96). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-4-o2
- Antonova O.Yu., Shvachko N.A., Kostina L.I., Malyshev L.L., Gavrilenko T.A. Genetic differentiation of potato vari-

- eties using SSR markers. *Agrarian Russia*. 2004;(6):19-24. [in Russian] (Антонова О.Ю., Швачко Н.А., Костина Л.И., Малышев Л.Л., Гавриленко Т.А. Генетическая дифференциация сортов картофеля с использованием SSR-маркеров. *Аграрная Россия*. 2004;(6):19-24). DOI: 10.30906/1999-5636-2004-6-19-24
- Antonova O.Yu., Shvachko N.A., Novikova L.Yu., Shuvalov O.Y., Kostina L.I., Klimenko N.S. 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] (Антонова О.Ю., Швачко Н.А., Новикова Л.Ю., Шувалов О.Ю., Костина Л.И., Клименко Н.С. 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). DOI: 10.18699/VJ16.181
- Beketova M.P., Khavkin E.E. The R1 gene of late blight resistance in susceptible and resistant potato varieties. *Agricultural Biology*. 2006;41(3):109-114. [in Russian] (Бекетова М.П., Хавкин Э.Е. Ген R1 устойчивости к фитофторозу у восприимчивых и устойчивых сортов картофеля. *Сельскохозяйственная биология*. 2006;41(3):109-114).
- Bhardwaj V., Kumar A., Sharma S., Singh B., Poonam, Sood S. et al. Analysis of genetic diversity, population structure and association mapping for late blight resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.) accessions using SSR markers. *Agronomy*. 2023;13(2):294. DOI: 10.3390/agronomy13020294
- Bukasov S.M. 40 years of potato breeding in the USSR (40 лет селекции картофеля в СССР). In: *Agricultural Issues (Voprosy zemledeliya)*. Moscow; 1959. p.326-339. [in Russian] (Букасов С.М. 40 лет селекции картофеля в СССР. В кн.: *Вопросы земледелия*. Москва; 1959. С.326-339).
- Bukasov S.M., Kameraz A.Ya., Lekhnovich V.S., Korneichuk V.A., Kostina L.A. Unified broad COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for potato species of the section *Tuberarium* (Dun.) Buk., genus *Solanum* L. (Shirokiy unifitsirovanny klassifikator SEV i mezhdunarodny klassifikator SEV vidov kartofelya seksii *Tuberarium* (Dun.) Buk. roda *Solanum* L.). Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Букасов С.М., Камераз А.Я., Лехнович В.С., Корнейчук В.А., Костина Л.А. Широкий унифицированный классификатор СЭВ видов картофеля секции *Tuberarium* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L. Ленинград: ВИР; 1977).
- Diekmann K., Seibt K.M., Muders K., Wenke T., Junghans H., Schmidt T. et al. Diversity studies in genetic resources of *Solanum* spp. (section *Petota*) by comparative application of ISAP markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017;64(8):1937-1953. DOI: 10.1007/s10722-016-0484-y
- Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR): [website]. [in Russian] (Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР): [сайт]). URL: <https://www.vir.nw.ru> [дата обращения: 08.02.2026].
- Feingold S., Lloyd J., Norero N., Bonierbale M., Lorenzen J. Mapping and characterization of new EST-derived microsatellites for potato (*Solanum tuberosum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;111(3):456-466. DOI: 10.1007/s00122-005-2028-2
- Gavrilenko T.A., Antonova O.Yu., Kostina L.I. Study of genetic diversity in potato cultivars using PCR analysis of organelle DNA. *Russian Journal of Genetics*. 2007;43(11):1301-1305. DOI: 10.1134/S1022795407110130
- Gavrilenko T.A., Klimenko N.S., Alpatieva N.V., Kostina L.I., Lebedeva V.A., Evdokimova Z.Z. et al. Cytoplasmic genetic diversity of potato varieties bred in Russia and FSU countries. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):753-764. DOI: 10.18699/VJ19.534
- Gebhardt C., Bellin D., Henselewski H., Lehmann W., Schwarzfischer J., Valkonen J.P.T. Marker-assisted combination of major genes for pathogen resistance in potato. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006;112(8):1458-1464. DOI: 10.1007/s00122-006-0248-8
- Ghebresslassie B.M., Githiri S.M., Mehari T., Kasili R.W., Ghislain M., Magembe E. Genetic diversity assessment of farmers' and improved potato (*Solanum tuberosum*) cultivars from Eritrea using simple sequence repeat (SSR) markers. *African Journal of Biotechnology*. 2016;15(35):1883-1891. DOI: 10.5897/AJB2016.15237
- Ghislain M., Nuñez J., del Rosario Herrera M, Pignataro J.D., Guzman F., Bonierbale M. et al. Robust and highly informative microsatellite-based genetic identity kit for potato. *Molecular Breeding*. 2009;23(3):377-388. DOI: 10.1007/s11032-008-9240-0
- Hammer Ø, Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software. Package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1-9. Available from: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf [accessed Sep. 08, 2025].
- Hosaka K., Sanetomo R. Development of a rapid identification method for potato cytoplasm and its use for evaluating Japanese collections. *Theoretical and Applied Genetics*. 2012;125(6):1237-1251. DOI: 10.1007/s00122-012-1909-4
- Ivanova-Pozdejeva A., Kivistik A., Kübarsepp L., Tähtjärv T., Tsahkna A., Droz E. et al. Fingerprinting of potato genotypes from Estonian genebank collection using SSR markers. *Potato Research*. 2022;65(1):153-170. DOI: 10.1007/s11540021-09514-z
- Komarov V.I., Zholudeva E.P., Kostina L.I., Shinkarev V.I. (comp.). Catalogue of the VIR global collection. Issue 382. Potato (Kartofel). K.Z. Budin (ed.). Leningrad: VIR; 1983. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 382. Картофель / сост. В.И. Комаров, З.П. Жолудева, Л.И. Костина, В.И. Шинкарев; под ред. К.З. Будина. Ленинград: ВИР; 1983).
- Kostina L.I. Selection of source material for potato breeding based on genealogy (guidelines) (Vydeleniye iskhodnogo materiala dlya seleksii kartofelya na osnove genealogii [metodicheskiye ukazaniya]). Leningrad: VIR; 1992. [in Russian] (Костина Л.И. Выделение исходного материала для селекции картофеля на основе генеалогии (методические указания). Ленинград: ВИР; 1992).
- Kostina L.I., Kosareva O.S. Genealogy of domestic potato cultivars (Genealogiya otechestvennykh sortov kartofelya). St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Костина Л.И., Косарева О.С. Генеалогия отечественных сортов картофеля. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).
- LI-COR. Environmental monitoring for data-driven insight: [website]. Available from: <https://www.licor.com> [accessed Feb. 08, 2026]
- List No. 4 of wart-resistant and wart-susceptible potato cultivars and seedlings according to the data of state trials (Spisok № 4 ustoychivyykh k raku sortov i seyantsev kartofelya i vospriimchivyykh sortov po dannym gosudarstvennogo sortoispytaniya). All-Union Research Station for Potato Wart of the All-Union Research Institute of Plant Protection; 1956. [in Russian] (Список № 4 устойчивых к раку

- сортов и семян картофеля и восприимчивых сортов по данным государственного испытания. Всесоюзная научно-исследовательская станция по раку картофеля Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений; 1956).
- List No. 5 of wart-resistant and wart-susceptible potato cultivars and seedlings according to the data of state trials (Spisok № 5 ustoychivyykh k raku sortov i seyantsev kartofelya i vospriimchivyykh sortov po dannym gosudarstvennogo sortoispytaniya). All-Union Research Station for Potato Wart of the All-Union Research Institute of Plant Protection; 1958. [in Russian] (Список № 5 устойчивых к раку сортов и семян картофеля и восприимчивых сортов по данным государственного испытания. Всесоюзная научно-исследовательская станция по раку картофеля Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений; 1958).
- List No. 6 of wart-resistant and wart-susceptible potato cultivars and seedlings according to the data of state trials (Spisok № 6 ustoychivyykh k raku sortov i seyantsev kartofelya i vospriimchivyykh sortov po dannym gosudarstvennogo sortoispytaniya). All-Union Research Station for Potato Wart of the All-Union Research Institute of Plant Protection; 1964. [in Russian] (Список № 6 устойчивых к раку сортов и семян картофеля и восприимчивых сортов по данным государственного испытания. Всесоюзная научно-исследовательская станция по раку картофеля Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений; 1964).
- Malcolmson J.F., Black W. New *R* genes in *Solanum demissum* Lindl. and their complementary races of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Euphytica*. 1966;15:199-203. DOI: 10.1007/BF00022324
- Milbourne D., Meyer R.C., Collins A.J., Ramsay L.D., Gebhardt C., Waugh R. Isolation, characterisation and mapping of simple sequence repeat loci in potato. *Molecular and General Genetics*. 1998;259(3):233-245. DOI: 10.1007/s004380050809
- Mori K., Sakamoto Y., Mukojima N., Tamiya S., Naka T., Ishii T. et al. Development of a multiplex PCR method for simultaneous detection of diagnostic DNA markers of five disease and pest resistance genes in potato. *Euphytica*. 2011;180(3):347-355. DOI: 10.1007/s10681-011-0381-6
- Nagel M., Dulloo M.E., Bissessur P., Gavrilenko T., Bamberg J., Ellis D., Giovannini P. A global strategy for the conservation of potato. Bonn: Global Crop Diversity Trust; 2022. DOI: 10.5447/ipk/2022/29
- Plaisted R.L., Hoopes R.W. The past record and future prospects for the use of exotic potato germplasm. *American Potato Journal*. 1989;66(10):603-627. DOI: 10.1007/BF02853982
- Reid A., Hof L., Felix G., Rücker B., Tams S., Milczynska E. et al. Construction of an integrated microsatellite and key morphological characteristic database of potato varieties on the EU Common Catalogue. *Euphytica*. 2011;182(2):239-249. DOI: 10.1007/s10681-011-0462-6
- Ross H. Potato breeding: problems and perspectives. In: W. Horn, G. Robbelen (eds). *Journal Plant Breeding Supplement. Vol. 13*. Berlin: Paul Parey; 1986. p. 82-86.
- Sanetomo R., Gebhardt C. Cytoplasmic genome types of European potatoes and their effects on complex agronomic traits. *BMC Plant Biology*. 2015;15:162. DOI: 10.1186/s12870-015-0545-y
- Schultz L., Cogan N.O.I., McLean K., Dale M.F.B., Bryan G.J., Forster J.N.W. et al. Evaluation and implementation of a potential diagnostic molecular marker for H1-conferred potato cyst nematode resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Breeding*. 2012;131(2):315-321. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2012.01949.x
- Shchibrya M.A. Double-crop potato cultivars (Dvukhurozhaynyye sorta kartofelya). In: I.S. Sidorova (ed.). *Collection of Achievements of Scientific Institutions of Krasnodar Territory. Issue 2 (Sbornik dostizheniy nauchnykh uchrezhdeniy Krasnodarskogo kraya. Vypusk 2)*. Krasnodar; 1954. p.168-171. [in Russian] (Щибря М.А. Двухурожайные сорта картофеля. В кн.: Сборник достижений научных учреждений Краснодарского края. Выпуск 2 / под ред. И.С. Сидоровой. Краснодар; 1954. С.168-171).
- Shvachko N.A. Genetic diversity of potato cultivars in the VIR collection identified by the SSR analysis (Geneticheskoye raznoobrazie selektsionnykh sortov kartofelya kolleksii VIR, vyavlennoye SSR analizom) [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Швачко Н.А. Генетическое разнообразие селекционных сортов картофеля коллекции ВИР, выявленное SSR анализом: дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- Takeuchi T., Sasaki J., Suzuki T., Horita H., Hiura S., Iketani S. et al. DNA markers for efficient selection of disease and pests resistance genes in potato. In: *Hokkaido Nogyo-Shiken-Kaigi-Shiryo 2008*. Tsukuba: NARO; 2009. p.1-26. [in Japanese]
- Travina S.N. Polar Experiment Station of VIR: the northernmost outpost of potato research. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):139-145. [in Russian] (Травина С.Н. Полярная опытная станция ВИР – северный форпост исследований картофеля. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):139-145). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-139-145
- Van Berloo R., Hutten R.C.B., van Eck H.J., Visser R.G.F. An online potato pedigree database resource. *Potato Research*. 2007;50(1):45-57. DOI: 10.1007/s11540-007-9028-3
- Zaytseva N.D. Identification key to potato cultivars (Opredelitel sortov kartofelya). Moscow: State Publishers of Agricultural Literature; 1950. [in Russian] (Зайцева Н.Д. Определитель сортов картофеля. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы; 1950).
- Zaytseva N.D. Identification key to wart-resistant potato cultivars (Opredelitel rakoustoychivyykh sortov kartofelya), Moscow: State Publishers of Agricultural Literature; 1953. [in Russian] (Зайцева Н.Д. Определитель ракоустойчивых сортов картофеля. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы; 1953).
- Zaytseva N.D. Works of the Research Institute of Potato Farming. Issue VII. Description of potato cultivars that participated in the State Variety Trials (Opisaniye sortov kartofelya, uchastvovavshikh v gosudarstvennom sortoispytanii). Moscow: Selkhozgiz; 1935. [in Russian] (Зайцева Н.Д. Работы научно-исследовательского института картофеля, участвовавших в государственном сортоиспытании. Москва: Сельхозгиз; 1935).
- Zaytseva N.D., Maksimova S.A., Chernikova M.F. The best potato cultivars (Luchshiye sorta kartofelya). Moscow: Kolos; 1975. [in Russian] (Зайцева Н.Д., Максимова С.А., Черникова М.Ф. Лучшие сорта картофеля. Москва: Колос; 1975).

Информация об авторах

Даниил Александрович Рыбаков, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, da-rybakov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1520-0219>

Ольга Юрьевна Антонова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, olgaant326@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8334-8069>

Светлана Николаевна Травина, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Полярная опытная станция – филиал ВИР, 184209 Россия, Мурманская область, Апатиты, ул. Козлова, 2а, swetusic@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6986-6353>

Ольга Сергеевна Косарева, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, os_kosareva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0151-8349>

Татьяна Андреевна Гавриленко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, tatjana9972@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>

Information about the authors

Daniil A. Rybakov, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, da-rybakov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1520-0219>

Olga Yu. Antonova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, olgaant326@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8334-8069>

Svetlana N. Travina, Cand. Sci. (Biology), Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Polar Experiment Station – branch of VIR, 2a Kozlova St., Apatity, Murmansk Province 184209, Russia, swetusic@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6986-6353>

Olga S. Kosareva, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, os_kosareva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0151-8349>

Tatjana A. Gavrilenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatjana9972@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>

Вклад авторов: Рыбаков Д. А. – поиск литературных данных о происхождении и морфологических признаках сортов выборки; фенотипирование и фотодокументация образцов; верификация морфологических признаков; SSR-анализ; молекулярный скрининг; анализ полученных результатов; участие в подготовке рукописи. Антонова О. Ю. – SSR-генотипирование; молекулярный скрининг; анализ данных молекулярно-генетического анализа. Травина С. Н. – предоставление образцов, сохраняемых в полевой коллекции Полярной ОС ВИР и информации о происхождении и морфологических признаках этих образцов, а также фотографий соцветий и цветков изучаемых образцов. Косарева О. С. – предоставление образцов сохраняемых в полевой коллекции НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» и информации о происхождении и морфологических признаках сортов выборки. Гавриленко Т. А. – концептуализация; планирование и руководство исследованиями; анализ полученных результатов; подготовка рукописи.

Contribution of the authors: Rybakov D. A. – search for published data on the origin and morphological traits of the cultivars; phenotyping and photographic documentation of accessions; verification of morphological traits; SSR analysis; molecular screening; analysis of the obtained results; participation in the preparation of the manuscript. Antonova O. Yu. – SSR genotyping; molecular screening; analysis of the molecular genetic analysis data. Travina S. N. – provision of accessions preserved in the field collection of the Polar Experiment Station of VIR and information on the origin and morphological traits of these accessions, as well as photos of inflorescences and flowers of the studied accessions. Kosareva O. S. – provision of accessions preserved in the field collection of Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR and information on the origin and morphological traits of the sampled cultivars. Gavrilenko T. A. – conceptualization; planning and supervision of the research; analysis of the obtained results; preparation of the manuscript.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.02.2026; одобрена после рецензирования 17.04.2026; принята к публикации 06.05.2026. The article was submitted on 13.02.2026; approved after reviewing on 17.04.2026; accepted for publication on 06.05.2026.