

Научная статья

УДК 635.21:631.523+631.526.32

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-04



Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Омского Аграрного научного центра

Д. А. Рыбаков¹, А. И. Черемисин², О. Ю. Антонова¹, И. Г. Чухина¹, Т. А. Гавриленко¹

¹Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

²Омский Аграрный научный центр, Омск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Андреевна Гавриленко, tatjana9972@yandex.ru

В соответствии с правилами Международного кодекса номенклатуры культурных растений оформлены и переданы на хранение в Гербарий ВИР (WIR) номенклатурные стандарты пяти сортов картофеля селекции Омского АНЦ: 'Алена', 'Былина Сибири', 'Вечерний Омск', 'Триумф', 'Хозяюшка'. Согласно разрабатываемой в ВИР новой комплексной стратегии, растительный материал, переданный автором сортов в Гербарий ВИР, был использован для молекулярно-генетической паспортизации. Генетические паспорта включают информацию об аллельном составе восьми хромосомспецифичных микросателлитных локусов, данные о типах оргanelльных геномов сортов, а также о наличии диагностических фрагментов 15 маркеров 11 генов, вовлеченных в контроль устойчивости к наиболее опасным заболеваниям и вредителям картофеля: фитофторозу, цистообразующим картофельным нематодам, вирусам X и Y картофеля. Данные генетических паспортов использовались для проверки идентичности одноименных образцов омских сортов, полученных из различных источников. Сопоставление результатов паспортизации и данных родословных омских сортов позволило установить источники генов устойчивости к вредным организмам и источники разных типов цитоплазм.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, Гербарий ВИР, WIR, молекулярно-генетическая паспортизация, ДНК-маркеры, SSR-генотипирование, родословные сортов

Благодарности: Статья подготовлена по теме НИР № 0481-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей» и теме № 0481-2022-0008 «Использование комплекса современных методов ДНК-генотипирования и молекулярного скрининга для изучения генетических ресурсов культурных растений, их диких родичей и форм собственной селекции».

Для цитирования: Рыбаков Д.А., Черемисин А.И., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Гавриленко Т. А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Омского Аграрного научного центра. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):6-23. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-04

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.

© Рыбаков Д.А., Черемисин А.И., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Гавриленко Т.А., 2022

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-04

Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred by the Omsk Agrarian Research Center

D. A. Rybakov¹, A. I. Cheremisin², Olga Yu. Antonova¹, Irena G. Chukhina¹, Tatjana A. Gavrilenko¹¹N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia²Omsk Agrarian Research Center, Omsk, Russia**Corresponding author:** Tatjana A. Gavrilenko, tatjana9972@yandex.ru

In accordance with the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants, five nomenclatural standards have been prepared for five potato cultivars¹ 'Alena', 'Bylina Sibiri', 'Večernij Omsk', 'Triumf', 'Hozâûška' bred by the Omsk Agrarian Research Center. Genetic passports were issued to these five cultivars according to the new integrated strategy developed at VIR. According to the strategy, the plant material donated by the author of the cultivars to the VIR Herbarium was used for molecular genotyping. Genetic passports included data of allelic composition of eight chromosome-specific microsatellite loci, markers of different types of organelle DNA, as well as data about diagnostic fragments of 15 markers of 11 *R*-genes conferring resistance to the most dangerous diseases and pests of potato, namely late blight, nematodes, potato X and Y viruses. Data from genetic passports of five Omsk cultivars were compared to the results of genotyping samples of the same cultivars obtained from different sources. Based on the analysis of pedigrees and genetic passports of these five cultivars, we established the origin of their resistance to harmful organisms.

Key words: *Solanum tuberosum*, VIR Herbarium, WIR, genetic passport, DNA markers, SSR genotyping, cultivar pedigree

Acknowledgments: The work was performed in accordance with the R&D Topic No. 0481-2022-0004 "Improvement of approaches and methods of *ex situ* conservation of the identified gene pool of vegetatively propagated crops and their wild relatives" and the Topic No. 0481-2022-0008 «The use of a complex of modern methods of DNA-genotyping and molecular screening to study the genetic resources of cultivated plants, their wild relatives and forms of own selective breeding».

For citation: Rybakov D.A., Cheremisin A.I., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Gavrilenko T.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred by the Omsk Agrarian Research Center. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):6-23. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-04

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, and their employers.

© Rybakov D.A., Cheremisin A.I., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Gavrilenko T.A., 2022

¹Примечание. Транслитерация названий сортов здесь и далее дана в соответствии с рекомендацией 33А МКНKP (Brickell et al., 2016).
Note. Transliteration of cultivar names hereinafter is given in accordance with ICNCR recommendation 33A (Brickell et al., 2016)

Сокращения:

ВИР – Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова;

ГСИ – Госсортиспытания;

ЗКН – Золотистая цистообразующая картофельная нематода, *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens;

БКН – Бледная цистообразующая картофельная нематода, *Globodera pallida* (Wollenweber) Behrens;

МКНР – Международный кодекс номенклатуры культурных растений;

НАН Беларуси – Национальная академия наук Беларуси;

Омский АНЦ – Омский аграрный научный центр;

РУП – Республиканское унитарное предприятие;

СибНИИСХ – Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства;

КПНИ_ЭГИ – эколого-географические испытания (ЭГИ) по комплексному плану научных исследований подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации»;

PVX – Potato virus X – X Вирус Картофеля (ХВК);

PVY – Potato virus Y – Y Вирус Картофеля (YBK);

SSR – Simple-sequence repeats – microsatellite markers – микросателлитные маркеры;

WIR – Международный акроним Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (Гербарий ВИР, Санкт-Петербург).

Введение

История и первые результаты селекционных исследований картофеля в Омске берут начало с 1919 года, когда под руководством В.В. Таланова начал работать Л.И. Венени. В качестве метода селекции Л.И. Венени использовал клоновый отбор из местного материала, в котором преобладал сорт ‘Ранняя Роза’. С 1937 года селекционные работы проводились селекционерами Л.В. Катиным-Ярцевым и Л.И. Ивановой на базе СибНИИСХ. В это время был создан сорт ‘Сибиряк’, полученный от самоопыления сорта ‘Ранняя Роза’. Наиболее удачными в Омске на начальных этапах селекции оказались скрещивания раннеспелого клона 1830 ‘Ранней Розы’ со среднеспелым североамериканским сортом ‘Katahdin’ в качестве опылителя. В 1940 году Л.И. Ивановой в открытом грунте было выращено 800 семян этой комбинации. В дальнейшем из них было отобрано три сорта: ‘Седов’, ‘Ермак’ и ‘Северянин’ (Cheremisin et al., 2008).

Приоритетными в сибирской селекции были следующие признаки: раннеспелость, приспособленность к условиям региона, устойчивость к вирусным болезням. Создание селекционного центра в СибНИИСХ позволило выйти на новый уровень селекционной работы. Под руководством известного селекционера кандидата сельскохозяйственных наук Б.Н. Дорожкина была создана коллекция сортов, включенных в Госреестр селекционных достижений России и Казахстана. Борис Николаевич был

первым заведующим лабораторией селекции картофеля. В 1988–2000 годах в Государственный реестр селекционных достижений РФ были включены новые сорта картофеля: ‘Алена’, ‘Сентябрь’, ‘Лазарь’. Благодаря высокому содержанию крахмала сорт ‘Лазарь’ используется многими селекционерами в качестве исходной формы для создания сортов технического назначения.

Исходя из основной задачи создания столовых сортов картофеля для условий Западной Сибири, а также с учетом требований и приоритетов современных потребителей, для вовлечения в селекционный процесс из мировой коллекции ВИР подбирали формы, наиболее пригодные к специфическим условиям региона, обладающие в то же время ценными качественными показателями и устойчивостью к наиболее вредоносным патогенам. В числе основных родительских форм использовали сорта: ‘Алена’, ‘Любава’, ‘Невский’, ‘Ласунак’, ‘Зарево’, ‘Соточка’, ‘Роко’, ‘Гранат’, ‘Наяда’, ‘Агрия’, ‘Rosara’, ‘Sante’ и высокопродуктивные гибриды СибНИИСХ. Вовлечение в селекционный процесс высокопродуктивных сортов мировой коллекции способствовало созданию новых омских сортов с комплексом хозяйственно-ценных признаков, отвечающих требованиям потребителей. Особое внимание уделяли признаку устойчивости к золотистой картофельной нематоде (ЗКН). В 2009 и 2013 годах в Государственный реестр селекционных достижений РФ включены сорта ‘Хозяюшка’ и ‘Соточка’ соответственно. Сорт ‘Хозяюшка’ помимо высоких кулинарных качеств обладает устойчивостью к золотистой картофельной нематоде. В Сибири ЗКН обнаружена еще в 1970-е годы и в настоящее время она выявлена практически во всех районах области.

С 2011 по 2019 год руководителем лаборатории селекции была кандидат с.-х. наук Надежда Викторовна Дергачева. В эти годы с использованием выделившейся по комплексу хозяйственно-ценных признаков гибридной популяции ‘Невский’ × ‘Гранат’ был получен перспективный гибридный материал, на основе которого создавалось новое поколение омских сортов. Так, в 2019 и 2022 годах в Госреестр селекционных достижений РФ были включены сорта ‘Триумф’ и ‘Вечерний Омск’. Сорт ‘Былина Сибири’ выделен на основе другой гибридной комбинации ‘Невский’ × ‘Зарево’.

С 2018 года по инициативе ВИР в сотрудничестве с селекционерами различных учреждений нашей страны создаются номенклатурные стандарты селекционных сортов картофеля в соответствии с Международным кодексом номенклатуры культурных растений МКНР (Brickell et al., 2016). В ВИР данное направление включает дополнительные молекулярно-генетические и биотехнологические подходы, с целью создания генетических паспортов образцов сортов, переданных их авторами в Гербарий ВИР, и сохранения генотипированных клонов в живом виде в контролируемых условиях *in vitro* и криоколлекций (Gavrilenko, Chukhina, 2020). Развитие данной комплексной стратегии уже привело к созданию более 60

номенклатурных стандартов и молекулярно-генетических паспортов российских сортов картофеля (Gavrilenko, Chukhina, 2020; Antonova et al., 2020; Klimenko et al., 2020; Fomina et al., 2020a,b; Rybakov et al., 2020).

Материал и методы

Растительный материал. В 2020 году из Омского Аграрного научного центра (далее Омский АНЦ) в рабочий Гербарий ВИР (WIR) был передан растительный материал пяти сортов картофеля ('Алена', 'Былина Сибири', 'Вечерний Омск', 'Триумф', 'Хозяюшка'), выведенных селекционерами этого института. Отбор растительного материала в Омском АНЦ проведен автором этих сортов, заведующим отделом картофеля этого центра, к.с.-х.н. А.И. Черемисиным. Согласно протоколу, разработанному в ВИР (Gavrilenko, Chukhina, 2020), А.И. Черемисин выбирал определенное растение каждого из перечисленных выше сортов, этикетировал его и отбирал по одному побегу для передачи в Гербарий ВИР. Позднее от каждого этикетированного растения отбирали клубни и также отправляли в ВИР.

Вместе с растительным материалом для каждого сорта в ВИР были переданы копии официальных документов: Патент, Описание селекционного достижения, Анкета сорта, а для сорта 'Вечерний Омск' – Уведомление о приеме заявки, так как на момент передачи этот сорт не имел патента и находился в ГСИ. Оформление номенклатурных стандартов в Гербарии ВИР (WIR) было проведено в соответствии с разработанным в ВИР протоколом (Gavrilenko, Chukhina, 2020). Одновременно с гербаризацией переданного растительного материала проводили фотодокументирование ряда признаков венчика, кожуры и мякоти клубней, а также отбор ткани для выделения ДНК. Один из переданных клубней был оставлен для получения световых ростков и фотодокументирования их признаков. Кроме того, световые ростки клубней были использованы для вычленения эксплантов и введения образцов сортов в культуру *in vitro*. Полученные микрорастения были включены в *in vitro* коллекцию ВИР, всем образцам были присвоены интродукционные («и-») номера ВИР.

Выделение ДНК. Препараты геномной ДНК получали с использованием модифицированного метода с СТАВ-экстракцией (Gavrilenko et al., 2013; Antonova et al., 2020). Экстракцию ДНК проводили из листьев побегов и кожуры клубней каждого сорта, использованных для гербаризации, а также из *in vitro* растений. Таким образом, для каждого сорта было получено как минимум три независимо выделенных препарата ДНК.

Молекулярно-генетическую паспортизацию осу-

ществляли с использованием восьми SSR-маркеров и 15 ДНК-маркеров, ассоциированных с 11 R-генами устойчивости к различным вредным организмам; маркеры были отобраны по литературным источникам (Приложение 1/ Supplement 1²). Формат оформления молекулярно-генетических паспортов соответствовал разработанному нами ранее (Fomina et al., 2020a,b; Rybakov et al., 2020), то же относится к условиям ПЦР и контрольным образцам для проведения молекулярного скрининга и SSR-анализа (Antonova et al., 2020; Klimenko et al., 2020; Rybakov et al., 2020) (см. Приложение 1/ Supplement 1).

Составление родословных и выявление наиболее вероятных источников маркеров генов устойчивости и типов цитоплазм. Данные молекулярно-генетических паспортов сортов были сопоставлены с их родословными. Родословные были составлены на основании информации, полученной от авторов, а также с использованием данных литературы (Muller, Buhr, 1949; Catalogue VIR № 382, 719, 721, 770; Bisgonin, Douches, 2002; van Berloo et al., 2007; Gavrilenko et al., 2007; 2018; 2019; Ahmadvand et al., 2013; Sanetomo, Gebhardt, 2015; Zoteyeva et al., 2016; Kostina, Kosareva, 2017; Fisenko et al., 2021; Klimenko, 2022). Графическая визуализация родословных была выполнена при помощи программного обеспечения Xmind (Xmind Ltd.).

Использование генетических паспортов номенклатурных стандартов в качестве эталонов для верификации одноименных образцов сорта. Результаты микросателлитного анализа и молекулярного скрининга были использованы для проверки идентичности и однородности образцов одного и того же сорта, полученных из разных источников. Для сорта 'Алена' в исследование был включен препарат ДНК, выделенный из одноименного образца полевой коллекции ВИР (к-12145), а для сорта 'Былина Сибири' в изучение были включены дополнительные препараты ДНК, выделенные из разных органов растения образца, участвовавшего в Эколого-географическом испытании КПНИ ЭГИ 2018, и переданного в ВИР из Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха в 2018 году (Приложение 2/ Supplement 2). Образцы пяти омских сортов из *in vitro* коллекции ВИР также были включены в эти исследования.

Результаты и обсуждение

Оформление номенклатурных стандартов сортов картофеля селекции Омского АНЦ

Морфологические признаки переданного материала (форма клубня, глубина глазков, гладкость кожуры, окрас-

² Приложения доступны в онлайн версии статьи /

Supplementary materials are available in the online version of the paper: DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-o4

ка основания глазка, окраска кожуры и мякоти клубня) были сопоставлены с указанными в официальных документах – Описании селекционного достижения и Оценке отличимости, однородности и стабильности. Для сорта ‘Вечерний Омск’ четкого проявления признака окраски кожуры клубня, которая в Описании селекционного достижения указана как «частично красная (светло-розовая)», не выявлено. Автор сорта ‘Вечерний Омск’, подтверждая подлинность переданного материала, объясняет это нестабильностью проявления у сорта данного признака. Фотографии клубней, на которых можно увидеть цвет кожуры и мякоти, а также фото световых ростков размещены на гербарных листах (табл. 1-5). Оформленные номенклатурные стандарты были зарегистрированы в Гербарии ВИР (WIR) и переданы на хранение в типовой фонд.

Номенклатурные стандарты сортов картофеля, выведенных в Омском аграрном научном центре

Solanum tuberosum L., сорт ‘Алена’ (‘Alena’)

Nomenclatural standard: «Происхождение: Сибирский НИИСХ». Репродукция: Омский аграрный научный центр. Собр.: побег 27.08.2020 Черемисин А.И.; клубень 10.09.2020 Черемисин А.И. Опр.: побег Черемисин А.И.; клубень Черемисин А.И.; **WIR-101814**» (см. табл. 1).

Примечание. Образец представлен двумя гербарными листами. На первом листе также представлено фото соцветия, сделанное в сентябре 2020 г., фото клубня – октябре 2020 г., фото светового ростка – апрель 2021 г.

Solanum tuberosum L., сорт ‘Былина Сибири’ (‘Bylina Sibiri’)

Nomenclatural standard: «Происхождение: ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». Репродукция: Омский аграрный научный центр. Собр.: побег 27.08.2020 Черемисин А.И.; клубень 10.09.2020 Черемисин А.И. Опр.: побег Черемисин А.И.; клубень Черемисин А.И.; **WIR-101815**» (см. табл. 2).

Примечание. На гербарном листе также представлено фото клубня, сделанное в октябре 2020 г., фото светового ростка – апрель 2021 г.

Solanum tuberosum L., сорт ‘Вечерний Омск’ (‘Večernij Omsk’)

Nomenclatural standard: «Происхождение: ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». Репродукция: Омский аграрный научный центр. Собр.: побег 27.08.2020 Черемисин А.И.; клубень 10.09.2020 Черемисин А.И. Опр.: побег Черемисин А.И.; клубень Черемисин А.И.; **WIR-101816**» (см. табл. 3).

Примечание. Образец представлен двумя гербарными листами. На листе также представлено фото клубня, сделанное в октябре 2020 г., фото светового ростка – апрель 2021 г., фото клубня первой репродукции – сентябрь 2021 г.

Solanum tuberosum L., сорт ‘Триумф’ (‘Triumf’)

Nomenclatural standard: «Происхождение: ООО «Агрофирма «Седек»; ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». Репродукция: Омский аграрный научный центр. Собр.: побег 27.08.2020 Черемисин А.И.; клубень 10.09.2020 Черемисин А.И. Опр.: побег Черемисин А.И.; клубень Черемисин А.И.; **WIR-101817**» (см. табл. 4).

Примечание. Образец представлен двумя гербарными листами. На первом листе также представлено фото клубня, сделанное в октябре 2020 г., фото светового ростка – апрель 2021 г.

Solanum tuberosum L., сорт ‘Хозяюшка’ (‘Hozâüşka’)

Nomenclatural standard: «Происхождение: ГНУ Сибирский НИИСХ». Репродукция: Омский аграрный научный центр. Собр.: побег 27.08.2020 Черемисин А.И.; клубень 10.09.2020 Черемисин А.И. Опр.: побег Черемисин А.И.; клубень Черемисин А.И.; **WIR-101818**» (см. табл. 5).

Примечание. Образец представлен двумя гербарными листами. На первом листе также представлено фото клубня, сделанное в октябре 2020 г., фото светового ростка – апрель 2021 г.

Разработка молекулярно-генетических паспортов омских сортов

Каждый гербарный образец, зарегистрированный как номенклатурный стандарт сорта, был представлен двумя препаратами ДНК, независимо выделенными из листьев побега и из кожуры клубня.

Полученные в результате SSR-анализа данные об аллельном составе восьми хромосомспецифичных микросателлитных локусов были внесены в генетические паспорта омских сортов (см. табл. 1-5). Сопоставление полученных нами результатов с данными о полиморфизме тех же самых восьми SSR-локусов у ранее проанализированной выборки из 77 современных российских сортов картофеля (Antonova et al., 2020) позволило выявить редкие аллели у пяти омских сортов. Так, сорт ‘Алена’ имеет редкий аллель StI004_73, который был найден у трех из 82 сортов: ‘Памяти Рогачева’, ‘Терра’ и ‘Сердолик’. У сортов ‘Былина Сибири’ и ‘Хозяюшка’, детектирован редкий аллель StI033_137, который был выявлен у трех сортов: ‘Памяти Рогачева’, ‘Русский сувенир’ и ‘Эликсред’. Редкий аллель STG0016_150 в выборке из 82 сортов встречается только у трех омских сортов: ‘Алена’, ‘Былина Сибири’ и ‘Хозяюшка’. Отметим, что эти три омских сорта имеют общую родительскую форму – сорт ‘Зарево’, который является отцовской формой упомянутого выше сорта ‘Памяти Рогачева’ и материнской формой сорта ‘Русский сувенир’.

Полученные в результате молекулярного скрининга данные о наличии/отсутствии диагностических фрагментов 15 маркеров, ассоциированных с 11 R-генами устойчивости к различным заболеваниям картофеля, и данные

о типах цитоплазм также были внесены в генетические паспорта омских сортов (см. табл. 1-5). По нашим данным, для этих пяти сортов, впервые было показано наличие/отсутствие маркеров *R*-генов, контролирующих устойчивость к патогенам: вирусу PVY (гены Ry_{adg} , Ry_{sto} , $Ry-f_{sto}$), вирусу PVX (ген RxI), цистообразующим картофельным нематодам – *Globodera rostochiensis*, патотипу Ro 1 (ген HI) и *Globodera pallida*, патотипам Pa 2-3 (ген $Gpa2$), а также к *Phytophthora infestans* (Montagne) de Bary (гены $R1$, $R3a$).

Маркерами гена RxI обладает сорт ‘Хозяюшка’, маркером гена $R1$ – сорта ‘Былина Сибири’ и ‘Вечерний Омск’,

$R3a$ – ‘Алена’ и ‘Былина Сибири’, маркером гена $Gpa2$ – сорт ‘Хозяюшка’. Из пяти сортов только два, ‘Вечерний Омск’ и ‘Хозяюшка’, имели маркеры гена HI , контролирующего устойчивость к ЗКН патотипу Ro 1. В Госреестре оба эти сорта отмечены как нематодоустойчивые. Оставшиеся три омских сорта поражаются ЗКН. Маркеры генов устойчивости к PVY у проанализированных омских сортов не обнаружены.

Из пяти омских сортов два, ‘Алена’ и ‘Хозяюшка’, обладали Т (Т/β) типом цитоплазмы и три сорта, ‘Былина Сибири’, ‘Вечерний Омск’ и ‘Триумф’, – D (W/α) типом.

Таблица 1. Номенклатурный стандарт (WIR - 101814) и генетический паспорт сорта картофеля ‘Алена’.
Table 1. Nomenclatural standard (WIR - 101814) and genetic passport of potato cultivar ‘Alena’

Генетический паспорт / Genetic passport											
Происхождение		Сибирский НИИСХ									
Год внесения в Госреестр		2000									
Код сорта в Госреестре		9703969									
№ патента / дата выдачи		0639 / 15.05.2020									
Авторы:		Дергачева Н.В., Дорожкин Б.Н., Петрякова О.В., Рейтер С.А., Согуляк С.В., Черемисин А.И.									
Метод выведения – сорт получен путем:		Контролируемое скрещивание (Седов × Камераз) × Зарево									
SSR-локус:		Размер (пн):									
STG0016		129; 135; 150									
StH004		73; 76; 79; 100									
StH032		109; 121; 124; 127									
StH033		113; 125									
StH046		191; 194; 200; 203									
STM0037		72; 80; 86									
STM2005		148; 154; 166									
STM5114		286; 295									
Маркеры R-генов устойчивости к вредным организмам:											
Вредный организм:	PVY	PVX	Phytophthora infestans		Globodera pallida (Pa 2, Pa3)		Globodera rostochiensis (Ro 1)		Устойчивость к G. rostochiensis (Ro 1) (Торестр)		
			Rpi-sto1	Rpi-bbl	R3a	Gpa2	Gro1-4.1	HI			
Gen:	Ry ^{f-sto} / Ry ^{adg}	Rx1	R1		RT-R3a		N195		N146		
			BLB1F/R		5Rx1		Gro1-4.1				
Маркер ссть (+) / нест (0):		YES3-3A	YES3-3B	GP122-406/ EcoRV	RYSC3	IRx1	Gpa2-2	Gro1-4.1	57R	N195	N146
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ссть (+) / нест (0):		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Маркер		ссть (+) / нест (0):									
Gen:		Ry ^{f-sto} / Ry ^{adg}									
Вредный организм:		Phytophthora infestans									
PVX		Globodera pallida (Pa 2, Pa3)									
Phytophthora infestans		Globodera rostochiensis (Ro 1)									
Globodera pallida (Pa 2, Pa3)		Globodera rostochiensis (Ro 1)									
Globodera rostochiensis (Ro 1)		Globodera rostochiensis (Ro 1)									
Устойчивость к G. rostochiensis (Ro 1) (Торестр)		Устойчивость к G. rostochiensis (Ro 1) (Торестр)									
Тип цитоплазмы		Тип цитоплазмы									
T (T/β)		T (T/β)									

Номенклатурный стандарт

Сорт: 'Алена' (WIR-101814)
Селекция: ИИСХ
Сорт: *Solanum tuberosum* L.
Характеристика: Сибирский НИИСХ
Рег. - Официальный сорт картофеля
27.08.2020 (сорт)
10.09.2020 (сорт)
Сорт: Черемисин А.И.
Сорт: Черемисин А.И.

Номенклатурный стандарт /
Nomenclatural standard (WIR - 101814)

Таблица 2. Номенклатурный стандарт (WIR - 101815) и генетический паспорт сорта картофеля 'Былина Сибири'
Table 2. Nomenclatural standard (WIR - 101815) and genetic passport of potato cultivar 'Bylina Sibiri'

Номенклатурный стандарт		Номенклатурный стандарт / Genetic passport	
Происхождение		ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»	
Год внесения в Госреестр		2018	
Код сорта в Госреестре		8457800	
№ патента / дата выдачи		9683 / 06.06.2018	
Авторы:		Дергачева Н.В., Дорожкин Б.Н., Петрякова О.В., Согуляк С.В., Черемисин А.И., Якимова И.А.	
Метод выведения – сорт получен путем:		Контролируемое скрещивание Невский × Зарево	
SSR-локус:		Размер (пн):	
STG0016		123; 132; 135; 150	
StI004		76; 79; 100	
StI032		112; 124; 127	
StI033		113; 137	
StI046		191; 194; 203	
STM0037		72; 80; 86	
STM2005		154; 166; 190	
STM5114		286; 295	
		Маркеры R-генов устойчивости к вредным организмам:	
Вредный организм:		PVY	
Gen:		PVX	
Marker (+) / нет (0):		Ry st / Ry ^{fst}	
YES3-3A		YES3-3B	
YES3-3B		GP122-406/EcoRV	
GP122-406/EcoRV		Ry ^{adg}	
Ry ^{adg}		Rx1	
Rx1		5Rx1	
5Rx1		Rpi-sto1	
Rpi-sto1		BLB1E/R	
BLB1E/R		R1	
R1		RT-R3a	
RT-R3a		Gpa2	
Gpa2		Gro1-4-1	
Gro1-4-1		57R	
57R		N195	
N195		N146	
N146		Устойчивость к <i>G. rostochiensis</i> (Ro 1) (Госреестр)	
Устойчивость к <i>G. rostochiensis</i> (Ro 1) (Госреестр)		Тип цитоплазмы	
D (W/α)		S	

Номенклатурный стандарт / Nomenclatural standard (WIR - 101815)	
Сорт картофеля «Зарево» С	

Таблица 3. Номенклатурный стандарт (WIR - 101816) и генетический паспорт предсорта картофеля 'Вечерний Омск'
 Table 3. Nomenclatural standard (WIR - 101816) and genetic passport of potato cultivar 'Večernij Omsk'

Номенклатурный стандарт/ Nomenclatural standard (WIR - 101816)	Генетический паспорт / Genetic passport																		
	Происхождение		ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»																
	Год внесения в Госреестр		2022																
	Код сорта в Госреестре		8057958																
	№ патента / дата выдачи		12313 / 14.07.2022																
	Авторы:		Черемисин А.И., Дергачева Н.В., Согуляк С.В., Якимова И.А.																
	Метод выведения – сорт получен путем:		Контролируемое скрещивание Невский × Гранат																
	SSR-локус:		Размер (пн):																
	STG0016		123; 132; 135																
	StI004		76; 94																
	StI032		112; 121; 124																
	StI033		113; 119; 134																
	StI046		191; 194; 206																
	STM0037		72; 88																
	STM2005		166																
	STM5114		280; 286; 295																
	Маркеры R-генов устойчивости к вредным организмам:																		
	Вредный организм:		PVY		PVX		Phytophthora infestans			Globodera pallida (Pa 2, Pa3)		Globodera rostochiensis (Ro 1)		Устойчивость к G. rostochiensis (Ro 1) (Госреестр)		Тип цитоплазмы			
	Ien:		Ry st / Ry ^{f-st} / Ry ^{adg}		Rx1		Rpi-sto1, Rpi-slo, Rpi-blb1			R1		R3a		Gpa2-2		Grol-4-1		H1	
	Маркер (+) / нет (-):		YES3-3A		YES3-3B		GP122-406/ EcoRV		RYSC3		1Rx1		5Rx1		Rpi-sto1		BLB1F/R		R1
0			0		0		0		0		0		0		0		0		
0			0		0		0		0		0		0		0		0		
0			0		0		0		0		0		0		0		0		
D (w/a)		R		+		+		+		0		0		0		0		0	
		+		+		+		+		+		+		+		+		+	
		+		+		+		+		+		+		+		+		+	
		+		+		+		+		+		+		+		+		+	

Использование данных молекулярно-генетических паспортов для проверки идентичности образцов одного и того же сорта, полученных из различных источников

При проведении SSR-анализа и в молекулярном скрининге были использованы восемь дополнительных препаратов ДНК, выделенных из одноименных образцов сортов, полученных из разных источников. Образец сорта

‘Былина Сибири’ был получен из Эколого-географических испытаний КПНИ ЭГИ 2018, пять образцов – из *in vitro* коллекции ВИР (‘Алена’ и-11234, ‘Былина Сибири’ и-638066, ‘Вечерний Омск’ и-638067, ‘Триумф’ и-638068, ‘Хозяюшка’ и-638069) и образец сорта ‘Алена’ из полевой коллекции ВИР (к-12145) (Приложение 2/ Supplement 2). Во всех случаях микросателлитные профили у образцов одного и того же сорта не различались между собой (рис. 1).

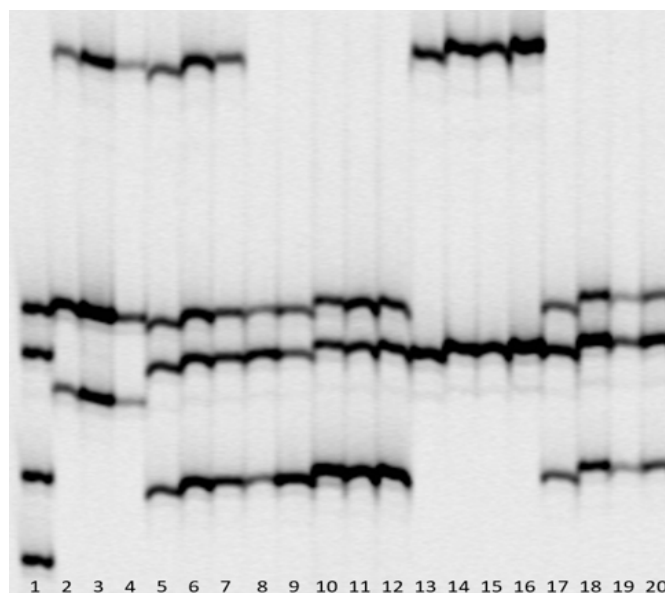


Рис. 1. Сопоставление результатов SSR-генотипирования образцов пяти омских сортов картофеля, сохраняемых в *in vitro* коллекции, с SSR-спектрами номенклатурных стандартов соответствующих сортов; приведен пример для микросателлитного локуса *StI033*.

Контрольный образец, используемый нами в SSR-анализе сортов картофеля (1). Образцы сортов: ‘Алена’ (2, 3, 4); ‘Былина Сибири’ (5, 6, 7); ‘Вечерний Омск’ (8, 9, 10, **11**, 12); ‘Хозяюшка’ (**13**, 14, 15, 16); ‘Триумф’ (8, 17, 18, **19**). В скобках полужирным шрифтом отмечены образцы каждого сорта, сохраняемые в *in vitro* коллекции. Для сортов ‘Былина Сибири’, ‘Вечерний Омск’ и ‘Хозяюшка’ препараты ДНК, выделенные из растительного материала, переданного авторами в Гербарий ВИР для оформления номенклатурных стандартов, были продублированы.

Fig. 1. Comparison of SSR genotyping results for samples of five Omsk potato cultivars maintained in *in vitro* collection with SSR spectra of nomenclature standards of respective cultivars; SSR pattern representing microsatellite locus *StI033* is given as an example.

Control samples (1), ‘Alena’ (2, 3, 4), ‘Bylina Sibiri’ (5, 6, 7), ‘Večernij Omsk’ (8, 9, 10, **11**, 12), ‘Hozâüşka’ (**13**, 14, 15, 16), ‘Triumf’ (17, 18, **19**, 20). In brackets, bold type indicates accessions of each cultivar kept in the *in vitro* collection. DNA preparations isolated from plant material of cvs. ‘Bylina Sibiri’ (5, 6, 7), ‘Večernij Omsk’ (8, 9, 10, **11**, 12), ‘Hozâüşka’ and transferred by the authors to the VIR Herbarium for registration of nomenclature standards, were duplicated.

Полученные нами результаты молекулярного скрининга были сопоставлены с данными из литературных источников. Разночтения были получены только в одном случае – для образца к-12145 сорта ‘Алена’, у которого в настоящей работе выявлен Т-тип цитоплазмы (см. Приложение 2/ Supplement 2), тогда как в работе Н.С. Клименко у этого же образца (к-12145) был выявлен D-тип цитоплазмы (Klimenko, 2022). В обоих случаях растительный материал для выделения ДНК был получен из

полевой коллекции ВИР, но с разницей в 10 лет – в 2006 и в 2016 годах соответственно. Эти различия могут быть связаны как с техническими ошибками в поддержании образца в полевой коллекции, так и с ошибкой в маркировке препарата ДНК при проведении молекулярного скрининга. Использование в настоящей работе препаратов ДНК номенклатурного стандарта однозначно указывает на Т-тип цитоплазмы у сорта ‘Алена’, которому соответствовало растение образца к-12145, полученное

в 2006 году из полевой коллекции ВИР.

Анализ родословных омских сортов

Данные молекулярно-генетических паспортов сортов также были сопоставлены с их родословными и с данными литературы, что позволило установить источники разных типов цитоплазм, а также источники генов устойчивости к вредным организмам (рис. 2).

Установлено, что сорта ‘Былина Сибири’, ‘Вечерний Омск’ и ‘Триумф’ получили D-тип цитоплазмы от общей материнской формы (♀) – сорт ‘Невский’, для которого тип цитоплазмы был определен ранее (Gavrilenko et al., 2018) (рис. 2b, c, d). В свою очередь, сорту ‘Невский’ D-тип цитоплазмы был передан от сорта ‘Веселовский 2-4’, который по материнской линии происходит от межвидового гибрида *Solanum demissum* Lindl. × *S. tuberosum*, сорт ‘Перо’ (Kostina, Kosareva, 2017). Эта информация согласуется с данными литературных источников, указывающими на то, что дикий мексиканский вид *S. demissum* является донором D-типа цитоплазмы в мировом селекционном генофонде картофеля (Sanetomo, Hosaka, 2011; Hosaka, Sanetomo, 2012).

Источником T/β типа цитоплазмы омского сорта ‘Хозяюшка’ является голландский сорт ♀ ‘Sante’ (Sanetomo, Gebhardt, 2015) (рис. 2e).

По данным А.И. Черемисина, материнской формой

сорта ‘Алена’ является гибрид (‘Седов’ × ‘Камераз’), для сорта ‘Седов’ тип цитоплазмы не известен (рис. 2a). В то же время, материнской формой сорта ‘Седов’ является ‘Early Rose’, для которого T (T/β) тип был установлен рядом авторов (Hosaka, 1986; Gavrilenko et al., 2007; Sanetomo, Gebhardt, 2015). Поэтому мы предполагаем, что источником T-типа цитоплазмы, в случае сорта ‘Алена’, являются сорта ‘Седов’ и ‘Early Rose’.

Сопоставление данных молекулярного скрининга с родословными сортов и данными литературы также позволяет установить источники R-генов устойчивости. Ранее отмечалось, что селекция нематодоустойчивых сортов является приоритетной для омских селекционеров. Сорту ‘Вечерний Омск’ признак устойчивости к патотипу Ro 1 *G. rostochiensis*, контролируемый геном *H1*, передан от отцовской (♂) формы – от сорта ‘Гранат’ (Klimenko et al., 2017), поскольку материнская форма, сорт ‘Невский’, поражается ЗКН и не обладает данным геном (Gavrilenko et al., 2018) (см. рис. 2c).

Можно полагать, что сорту ‘Хозяюшка’ гены *H1* и *Gra2*, вовлеченные в контроль устойчивости к двум видам цистообразующих картофельных нематод, ЗКН и БКН, были переданы от ♀ родительской формы – нематодоустойчивого голландского сорта ‘Sante’ (Fisenko et al., 2021), так как ♂ форма – сорт ‘Зарево’ – не обладает маркерами этих генов (Klimenko et al., 2017; 2019) (см. рис. 2e).

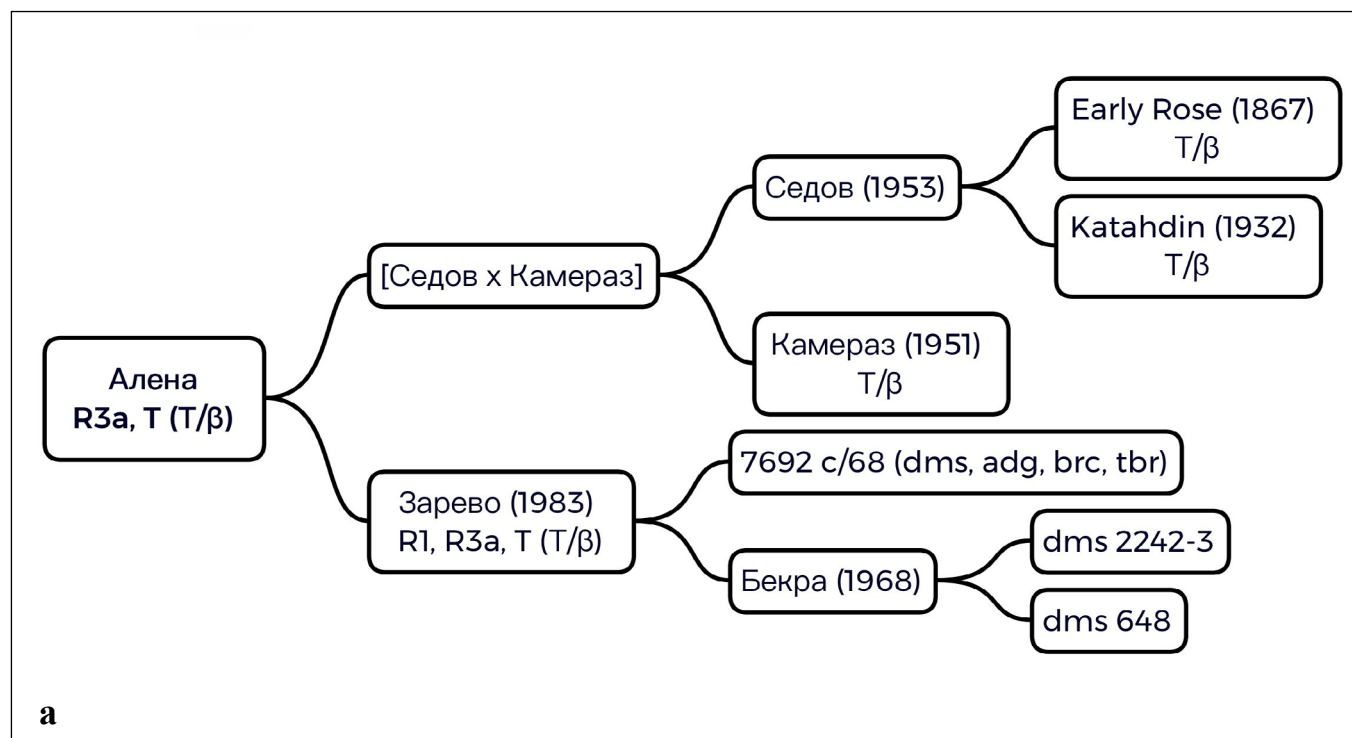


Рис. 2 / Fig. 2

легенду к Рис. 2 см. после Рис.2e/ for the legend to Fig.2 look after Fig.2e

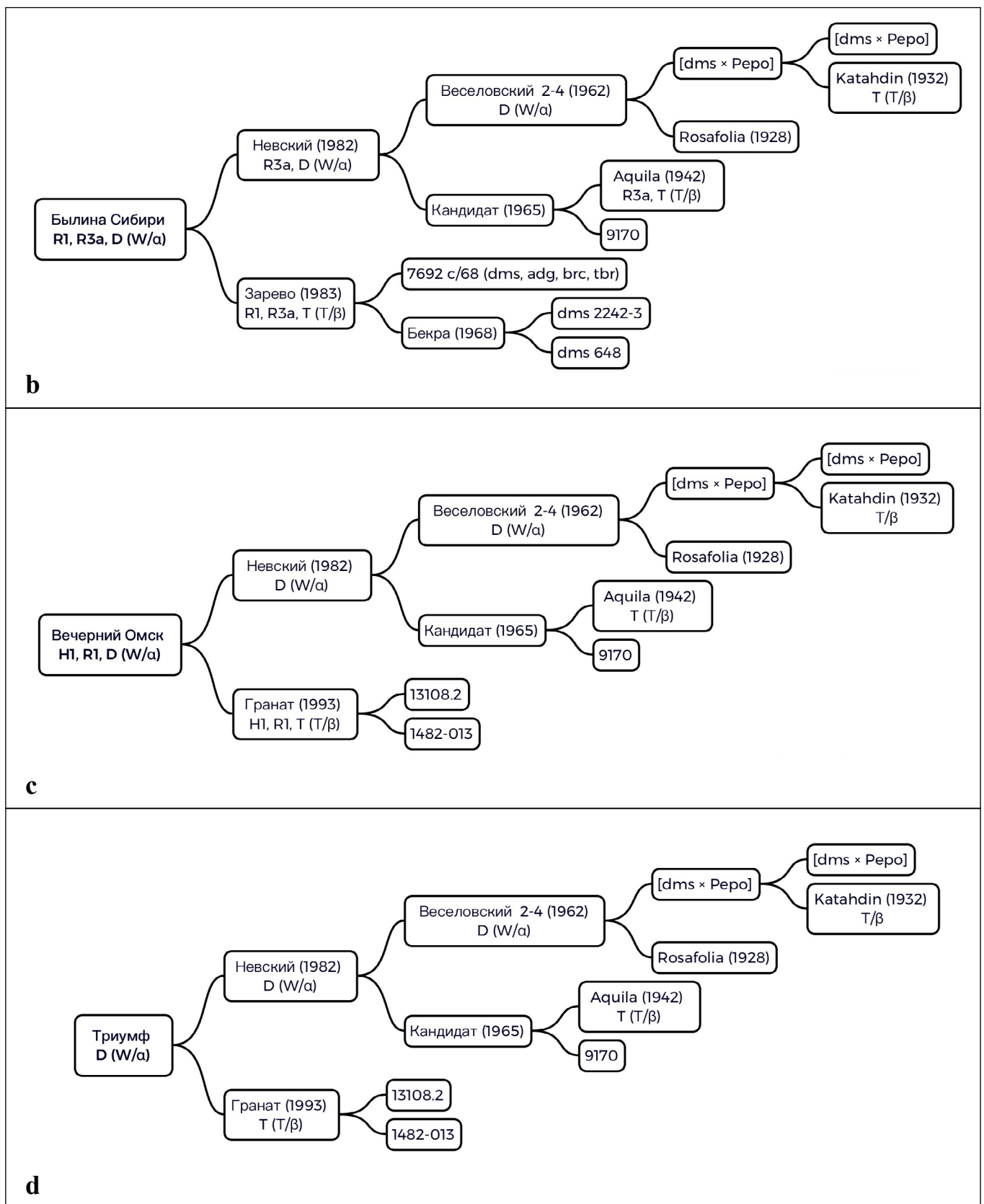
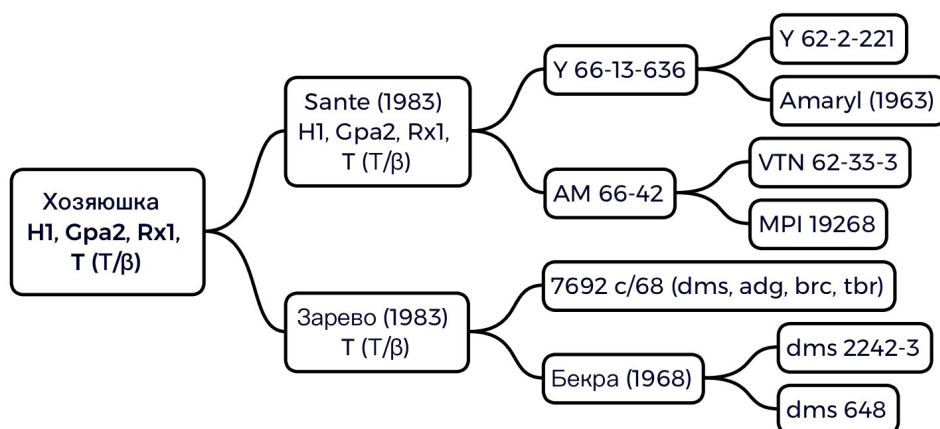


Рис. 2 / Fig. 2
 легенду к Рис. 2 см. после Рис.2e/ for the legend to Fig.2 look after Fig.2e



е

Рис. 2. Родословные сортов селекции Омского АНЦ.
(а) 'Алена', (б) 'Былина Сибири', (с) 'Вечерний Омск', (д) 'Триумф', (е) 'Хозяюшка'

Fig. 2. Pedigrees of cultivars bred at the Omsk Agricultural Research Center.
(a) 'Alena', (b) 'Bylina Sibiri', (c) 'Večernij Omsk', (d) 'Triumf', (e) 'Hozâûška'

Как отмечалось ранее, маркер гена *R3a* выявлен у двух из пяти омских сортов (см. рис. 2а, б, е). Можно предположить, что источником гена *R3a* у сорта 'Алена' был сорт 'Зарево', в родословной которого, как по материнской, так и по отцовской линии, участвовали межвидовые гибриды с мексиканским видом *S. demissum* (Zoteyeva et al., 2016). Образцы последнего характеризуются устойчивостью к фитофторозу. У сорта 'Былина Сибири' источником гена *R3a* могли быть как 'Невский', так и 'Зарево' (см. рис 2б), у обоих этих сортов маркер гена *R3a* был выявлен ранее (Zoteyeva et al., 2016; Gavrilenko et al., 2018); в их родословных участвовали гибриды с *S. demissum*.

Маркер гена *R1* выявлен у двух омских сортов, 'Былина Сибири' и 'Вечерний Омск', имеющих одинаковые родительские формы (см. рис. 2б, с). Можно полагать, что отцовская форма этих двух омских сортов, сорт 'Гранат', является источником гена *R1*, поскольку у этого сорта маркер *R1* был выявлен ранее (Klimenko, 2022), а у материнской формы (сорт 'Невский') маркер этого гена не выявлен (Gavrilenko et al., 2019).

Маркеры гена *Rx1* (контролирующего устойчивость к PVX), выявленные только у одного из пяти омских сортов, у сорта 'Хозяюшка', были переданы ему от ♂ формы – сорта 'Sante', обладающего маркерами данного гена (Ahmadvand et al., 2013).

Заключение

Результатом данного исследования является создание пяти номенклатурных стандартов сортов картофеля селекции Омского АНЦ: 'Алена', 'Былина Сибири', 'Вечерний Омск', 'Триумф', 'Хозяюшка'. Все номенкла-

турные стандарты зарегистрированы в Гербарии ВИР (WIR) и переданы на хранение в типовой фонд гербария.

Для этих пяти сортов разработаны генетические паспорта с использованием ДНК-препаратов, выделенных из растительного материала, переданного автором сорта в Гербарий ВИР для создания номенклатурных стандартов. Данные генетических паспортов были использованы для проверки идентичности и однородности восьми одноименных образцов омских сортов, полученных из различных источников.

Проанализированы родословные пяти сортов селекции Омского АНЦ, установлены источники *R*-генов устойчивости и типов цитоплазм.

Дополнительная информация

Сотрудники ВИР совместно с селекционерами различных регионов РФ оформили около 80 номенклатурных стандартов и гербарных ваучерных образцов российских сортов картофеля (Klimenko et al., 2020; Rybakov et al., 2020; Fomina et al., 2020a,b). Ниже приведен список образцов трех сортов, которые ранее были зарегистрированы в Гербарии ВИР как ваучерные образцы, поскольку на момент соответствующих публикаций (2020 год) они не были включены в Госреестр РФ, так как еще участвовали в ГСИ. За прошедший период эти предсорты были зарегистрированы в Госреестре РФ (табл. 6), поэтому ваучерным образцам, хранящимся в Гербарии ВИР, присвоен статус номенклатурных стандартов. Отметим, что в цитированных выше статьях были опубликованы результаты генотипирования предсорт, которые можно рассматривать как генетические паспорта этих сортов.

Таблица 6. Ваучерные образцы, которым присвоен статус номенклатурных стандартов

Table 6. Voucher specimens, which were assigned the status of nomenclatural standard

Сорт, название/ Cultivar name	Код Госреестра/ State Registry code	Номенклатурный стандарт/ Nomenclatural standard	Ссылка на публикацию/ Reference
‘Калибр’	8057136	WIR-53979	Klimenko et al., 2020
‘Сальса’	8153548	WIR-53985	Fomina et al., 2020a
‘Сердолик’	8057596	WIR-53980	Klimenko et al., 2020

References / Литература

- 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. DOI: 10.1007/s11540-013-9244-y
- Antonova O.Y., Klimenko N.S., Evdokimova Z.Z., Kostina L.I., Gavrilenko T.A. Finding RB/Rpi-blb1/Rpi-sto1-like sequences in conventionally bred potato varieties. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):693-702. DOI: 10.18699/VJ18.412
- Antonova O.Y., Shvachko N.A., Novikova L.Y., Shuvalov O.Y., Kostina L.I., Klimenko N.S., Shuvalova A.R., Gavrilenko T.A. 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., Шувалова А.Р., Гавриленко Т.А. 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
- Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Rybakov D.A., Fomina N.A., Zheltova V.V., Novikova L.Yu., Gavrilenko T.A. SSR analysis of modern Russian potato varieties using DNA samples of nomenclatural standards. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020. 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., Гавриленко Т.А. 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
- 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. DOI: 10.1270/jsbbs.62.142
- Ballvora A., Ercolano M.R., Weiss J., Meksem K., Bormann C.A., Oberhagemann P., Salamini F., Gebhardt C. The *R1* gene for potato resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) belongs to the leucine zipper/NBS/LRR class of plant resistance genes. *The Plant Journal*. 2002;30(3):361-371. DOI: 10.1046/j.1365-3113X.2001.01292.x
- Bisgonin D.A., Douches D.S. Genetic diversity in diploid and tetraploid late blight resistant potato germplasm. *HortScience*. 2002;37(1):178-183. DOI: 10.21273/HORTSCI.37.1.178
- Brickell C.D., Alexander C., Cubey J.J., David J.C., Hoffman M.H.A., Leslie A.C., Malécot V., Xiaobai Jin (eds). International code of nomenclature for cultivated plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:I–XVII+1-190.
- Bryan G.J., McNicoll J., Ramsay G., Meyer R.C., De Jong W.S. Polymorphic simple sequences repeat markers in chloroplast genomes of Solanaceous plants. *Theoretical and Applied Genetics*. 1999;99(5):859-867. DOI: 10.1007/s001220051306
- Cheremisin A.I., Dergacheva N.V., Shmaylova Y.S. Breeding and seed-growing work on the potato in Omsk Region. *Achievement of science and technology of the agro-industrial complex*. 2008;12:20-23. [in Russian] (Черемисин А.И., Дергачева Н.В., Шмайлова Ю.С. Селекционная и семеноводческая работа по картофелю в Омской области. *Достижение науки и техники АПК*. 2008;12:20-23).
- 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
- Fisenko P., Sobko O., Kim I., Matsishina N., Volkov D. Screening of potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) and identification of markers of resistance genes to PVX, PVY, *Globodera Pallida* and *Globodera Rostochiensis*. In: Muratov A., Ignateva S. (eds.). *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2021)*. AFE 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 353. Springer; 2022. p.1-8. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8_1
- Flis B., Hennig J., Strzelczyk-Zyta D., Gebhardt C., Marczewski W. The *Ry-f_{ab}* gene from *Solanum stoloniferum* for extreme resistant to *Potato virus Y* maps to potato chromosome XII and is diagnosed by PCR marker GP122₁₈ in PVY resistant potato cultivars. *Molecular Breeding*. 2005;15(1):95-101. DOI: 10.1007/s11032-004-2736-3
- Fomina N.A., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Gimaeva E.A., Stashevski Z., Gavrilenko T.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred by the Tatar Research Institute of Agriculture “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020a;3(3):55-67. [in Russian] (Фомина Н.А., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Гимаева Е.А., Сташевски З., Гавриленко Т.А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Татарского НИИСХ «Казанский научный центр РАН». *Биотехнология и селекция растений*. 2020a;3(3):55-67). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-o4
- Fomina N.A., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Rybakov D.A., Safonova A.D., Meleshin A.A., Gavrilenko T.A. Nomenclatural standards, voucher specimens and genetic passports of potato cultivars created in the Siberian and Ural breeding centers. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020a;3(4):53-76. [in Russian] (Фомина Н.А., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Рыбаков Д.А., Сафонова А.Д., Мелешин А.А., Гавриленко Т.А. Номенклатурные стандарты, ваучерные образцы и генетические паспорта сортов картофеля, выведенных в селекционных центрах Сибири и Урала. *Биотехнология и селекция растений*. 2020b;3(4):53-76). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-4-o3
- Gavrilenko T.A., Antonova O.Y., 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., Chukhina I.G. Nomenclatural standards of modern Russian potato cultivars preserved at the VIR herbarium (WIR): A new approach to cultivar gene pool registration in a genebank. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):6-17. [in Russian] (Гавриленко Т.А., Чухина И.Г. Номенклатурные стандарты современных российских сортов картофеля, хранящиеся в гербарии ВИР (WIR): новые подходы к регистрации сортового генофонда в генбанках. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(3):6-17). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-o2
- Gavrilenko T., Antonova O., Shuvalova A., Krylova E., Alpatyeva N.,

- Spooner D.M., Novikova L. Genetic diversity and origin of cultivated potatoes based on plastid microsatellite polymorphism. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2013;60(7):1997-2015. DOI: 10.1007/s10722-013-9968-1
- Gavrilenko T.A., Klimenko N.S., Alpatieva N.V., Kostina L.I., Lebedeva V.A., Evdokimova Z.Z., Apalikova O.V., Novikova L.Y., Antonova O.Yu. 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
- Gavrilenko T.A., Klimenko N.S., Antonova O.Yu., Lebedeva V.A., Evdokimova Z.Z., Gadjiyev N.M., Apalikova O.V., Alpatieva N.V., Kostina L.I., Zoteyeva N.M., Mamadbokirova F.T., Egorova K.V. 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] (Гавриленко Т.А., Клименко Н.С., Антонова О.Ю., Лебедева В.А., Евдокимова З.З., Гаджиев Н.М., Апаликова О.В., Алпатьева Н.В., Костина Л.И., Зотеева Н.М., Мамадобокорова Ф.Т., Егорова К.В. Молекулярный скрининг сортов и гибридов картофеля северо-западной зоны Российской Федерации. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(1):35-45). DOI: 10.18699/VJ18.329
- Ghislain M., Nunez J., Herera M. del R., Pignataro J., Guzman F., Bonierbale M., Spooner D.M. Robust and highly informative microsatellite-based genetic identity kit for potato. *Molecular Breeding*. 2009;23:377-388. DOI: 10.1007/s11032-008-9240-0
- Hosaka K. Distribution of the 241 bp deletion of chloroplast DNA in wild potato species. *American Journal of Potato Research*. 2002;79(2):119-123. DOI: 10.1007/BF02881520
- Hosaka K. Who is the mother of the potato? – restriction endonuclease analysis of chloroplast DNA of cultivated potatoes. *Theoretical and Applied Genetics*. 1986;72(5):606-618. DOI: 10.1007/BF00288998
- 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
- Huang S., van der Vossen E.A.G., Kuang H., Vleeshouwers V.G.A.A., Zhang N., Borm T.J.A., van Eck H.J., Baker B., Jacobsen E., Visser R.G.F. Comparative genomics enabled the isolation of the *R3a* late blight resistance gene in potato. *The Plant Journal*. 2005;42(2):251-261. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2005.02365.x
- Kasai K., Morikawa Y., Sorri V.A., Valkonen J.P.T., Gebhardt C., Watanabe K.N. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene *Ry*^{adg} based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome*. 2000;43(1):1-8. DOI: 10.1139/g99-092
- Klimenko N.S. Genetic diversity of potato varieties studied using different types of DNA markers (Geneticheskoye raznoobrazie sortov kartofelya otechestvennoy selektsii, izuchennoye s ispolzovaniyem razlichnykh tipov DNK-markirov) [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 2022. [in Russian] (Клименко Н.С. Генетическое разнообразие сортов картофеля отечественной селекции, изученное с использованием различных типов ДНК-маркеров: дис. канд. биол. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 2022).
- Klimenko N.S., Gavrilenko T.A., Chukhina I.G., Gadzhiev N.M., Evdokimova Z.Z., Lebedeva V.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred in the Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture “Belogorka”. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):18-54. [in Russian] (Клименко Н.С., Гавриленко Т.А., Чухина И.Г., Гаджиев Н.М., Евдокимова З.З., Лебедева В.А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка». *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(3):18-54). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-03
- Klimenko N.S., Antonova O.Yu., Zheltova V.V., Fomina N.A., Kostina L.I., Mamadbokirova F.T., Gavrilenko T.A. Screening of Russian potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) with DNA markers linked to the genes conferring extreme resistance to Potato Virus Y. *Agricultural Biology* 2019;54(5):958-969. [in Russian] (Клименко Н.С., Антонова О.Ю., Желтова В.В., Фомина Н.А., Костина Л.И., Мамадобокорова Ф.Т., Гавриленко Т.А. Скрининг сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) российской селекции с помощью маркеров R-генов устойчивости к Y-вирусу картофеля. *Сельскохозяйственная биология*, 2019;54(5):958-969). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.958rus
- 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] (Клименко Н.С., Гавриленко Т.А., Костина Л.И., Мамадобокорова 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). DOI: 10.30901/2658-6266-2019-1-42-48
- Komarov V.I., Zhuludeva Z.P., Kostina L.I., Shinkarev V.I. Catalog of the world collection of VIR. Vol. 382. Potato (Kartofel). Budin K.Z. (ed.). Leningrad: VIR; 1983. [in Russian] (Комаров В.И., Жолудева З.П., Костина Л.И., Шинкарев В.И. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 382. Картофель / под редакцией К.З. Будина. Ленинград; 1983).
- Kostina L.I., Fomina V.E. Catalog of the VIR world collection. Issue 721. Potato varieties of Russia and the CIS (Sorta kartofelya Rossii i SNG). Blinova N.M. (ed.). St. Petersburg: VIR; 2000. [in Russian] (Костина Л.И., Фомина В.Е. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 721. Сорта картофеля России и СНГ / под редакцией Н.М. Блиновой. Санкт-Петербург; 2000).
- Kostina L.I., Fomina V.E., Bychkov D.A., Kirpicheva T.V. Catalog of the world collection of VIR. Issue 719. Potatoes (varieties with high starch content) (Kartofel (sorta s vysokim sodержaniem krahmala)). Zorina V.P. (ed.). St. Petersburg: VIR; 2002. [in Russian] (Костина Л.И., Фомина В.Е., Бычков Д.А., Кирпичева Т.В. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 719. Картофель (сорта с высоким содержанием крахмала) / под редакцией В.П. Зориной. Санкт-Петербург; 2002).
- Kostina L.I., Fomina V.E., Kosareva O.S. Catalog of the world collection of VIR. Issue 770. Potatoes. Nematode resistant varieties (Kartofel. Nematodoustojchivye sorta). Kiru S.D. (ed.). St. Petersburg: VIR; 2005. [in Russian] (Костина Л.И., Фомина В.Е., Косарева О.С. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 770. Картофель. Нематодоустойчивые сорта / под редакцией С.Д. Киру. Санкт-Петербург; 2005).
- Lössl A., Götz M., Braun A., Wenzel G. Molecular markers for cytoplasm in potato: male sterility and contribution of different plastid-mitochondrial configurations to starch production. *Euphytica*. 2000;116(3):221-230. DOI: 10.1023/A:1004039320227
- 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;259:233-245. DOI: 10.1007/s004380050809
- Mori K., Sakamoto Y., Mukojima N., Tamiya S., Naka T., Ishii T., Hosaka K. 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
- Muller K.O., Behr L. ‘Mechanism’ of *Phytophthora* resistance of potatoes. *Nature*. 1949;163(4143):498-499. DOI: 10.1038/163498a0
- Rybakov D.A., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Fomina N.A., Klimenko N.S., Zheltova V.V., Meleshin A.A., Kochieva E.Z., Oves E.V., Apshev Kh.Kh., Simakov E.A., Gavrilenko T.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred in the A.G. Lorkh All-Russian Potato Research Institute of Potato Farming. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(4):5-52. [in Russian] (Рыбаков Д.А., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Фомина Н.А., Клименко Н.С., Желтова В.В., Мелешин А.А., Кочиева Е.З., Овэс Е.В., Апшев Х.Х., Симаков Е.А., Гавриленко Т.А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Всероссийского научно-исследовательского института картофеля им. А.Г. Лорха. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(4):5-52). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-4-01

- Sanetomo R., Gebhardt C. Cytoplasmic genome types of European potatoes and their effects on complex agronomic traits. *BMC Plant Biology*. 2015;15(1):1-16. DOI: 10.1186/s12870-015-0545-y
- Sanetomo R., Hosaka K. A maternally inherited DNA marker, descended from *Solanum demissum* ($2n = 6x = 72$) to *S. tuberosum* ($2n = 4x = 48$). *Breeding Science*. 2011;61(4):426-434. DOI: 10.1270/jsbbs.61.426
- Schultz L., Cogan N.O.I., McLean K., Dale M.F.B., Bryan G.J., Forster J.N.W., Slater A.T. 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
- Song Y.-S., Schwarzfischer A. Development of STS markers for selection of extreme resistance ($R_{Y_{sto}}$) to PVY and maternal pedigree analysis of extremely resistant cultivars. *American Journal of Potato Research*. 2008;85(2):159-170. DOI: 10.1007/s12230-008-9012-8
- Takeuchi T., Sasaki J., Suzuki T., Horita H., Hiura S., Iketani S., Fujita R., Senda K. DNA markers for efficient selection of disease and pests resistance genes in potato [in Japanese]. *Hokkaido Nogyo-Shiken-Kaigi-Shiryo* 2008. 2009;1-26.
- Valkonen J., Wiegmann K., Hämäläinen J., Marczewski W., Watanabe K. Evidence for utility of the same PCR-based markers for selection of extreme resistance to *Potato virus Y* controlled by $R_{Y_{sto}}$ of *Solanum stoloniferum* derived from different sources. *Annals of Applied Biology*. 2008;152(1):121-130. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2007.00194.x
- 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
- Wang M., Allefs A., van den Berg R.G., Vleeshouwers V.G.A.A., van der Vossen E., Vosman B. Allele mining in *Solanum*: conserved homologues of *Rpi-blb1* are identified in *Solanum stoloniferum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116(7):933-943. DOI: 10.1007/s00122-008-0725-3
- Zhu S., Li Y., Vossen J.H., Visser R.G.F., Jacobsen E. Functional stacking of three resistance genes against *Phytophthora infestans* in potato. *Transgenic Research*. 2012;21(1):89-99. DOI: 10.1007/s11248-011-9510-1
- Zoteyeva N., Skrabule I., Mežaka I., Vilcāne D., Usele G., Rostoks N. The impact of *R1* and *R3a* genes on tuber resistance to late blight of the potato breeding clones. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*. 2016;70(2):58-63. DOI: 10.1515/prolas-2016-0010

Информация об авторах

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

Александр Иванович Черемисин, кандидат с.-х. наук, заведующий отделом картофеля, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр», 644012 Россия, Омская область, г. Омск, пр. Королева, 26, biocentr@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8070-0661>

Ольга Юрьевна Антонова, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, olgaant326@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8334-8069>

Ирена Георгиевна Чухина, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела агроботаники и *in situ* сохранения генетических ресурсов растений, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.chukhina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

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

Information about the authors

Daniil A. Rybakov, Junior Researcher, Department of Biotechnology, 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>

Alexander I. Cheremisin, Cand. Sci. (Agriculture), Head, Potato Department, Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agrarian Research Center", 26, Korolev Avenue, Omsk, Omsk Region, 644012 Russia, biocentr@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8070-0661>

Olga Yu. Antonova, Cand. Sci. (Biology), Head of laboratory, Department of Biotechnology, 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>

Irena G. Chukhina, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Agrobotany and *in situ* Conservation of Plant Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.chukhina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

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

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 28.11.2022; одобрена после рецензирования 15.12.2022; принята к публикации 27.12.2022.

The article was submitted on 28.11.2022; approved after reviewing on 15.12.2022; accepted for publication on 27.12.2022.