

НОМЕНКЛАТУРНЫЕ СТАНДАРТЫ СОВРЕМЕННЫХ РОССИЙСКИХ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ, ХРАНЯЩИЕСЯ В ГЕРБАРИИ ВИР (VIR): НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РЕГИСТРАЦИИ СОРТОВОГО ГЕНОФОНДА В ГЕНБАНКАХ

Гавриленко Т.А.^{*}, Чухина И.Г.

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44; *✉ tatjana9972@yandex.ru

В ВИР создается коллекция номенклатурных стандартов сортов различных культур в соответствии с положениями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (МКНКР). Оформление номенклатурных стандартов проводится в виде гербарного образца в сотрудничестве с авторами сортов, которые на опытном поле своей организации отбирают растительный материал с выбранного ими растения каждого сорта и передают его в научный гербарий вместе с сопроводительными документами. После регистрации гербарного образца в научном гербарии проводится обнародование номенклатурных стандартов. В статье обсуждается новая стратегия регистрации в генбанке ВИР отечественных сортов, поступивших от их авторов, которая включает: оформление номенклатурных стандартов; разработку генетического паспорта сорта с использованием ДНК-образцов, выделенных из растения, переданного в научный гербарий; применение биотехнологических методов для сохранения в живом виде эксплантов (почки, меристемы), выделенных из полученного растительного материала. Предложенный комплексный подход позволяет документировать сорта не только с помощью номенклатурных стандартов, но и с использованием молекулярно-генетических методов, а также сохранять в *in vitro* и в крио коллекциях генотипированные образцы, переданные в гербарий. Данный подход может быть применен к любым вегетативно размножаемым культурам. В статье обобщены первые результаты реализации предложенной нами стратегии на примере современных отечественных сортов картофеля. Сбор, передача и подготовка растительного материала для оформления номенклатурных стандартов сортов картофеля имеют свою специфику; в данной статье приведен разработанный нами протокол для проведения этих работ. Осуществление этой стратегии в 2018-2020 годах привело к созданию 66 номенклатурных стандартов российских сортов картофеля и разработке их генетических паспортов, которые представлены в серии статей выпусков №3 и №4, том 3 журнала «Биотехнология и Селекция Растений», развивающих методические подходы к регистрации в коллекции ВИР современных отечественных сортов. Препараты ДНК, полученные из растительного материала, переданного авторами сортов для создания номенклатурных стандартов, будут использоваться и в дальнейшем для получения информации о генетическом потенциале сорта на основе расширения списка ДНК маркеров и применения новых генетических технологий.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, гербарные образцы, номенклатурные стандарты, ДНК маркеры, генотипирование, генетический паспорт, коллекция *in vitro*, криоконсервация.

Прозрачность финансовой деятельности/Financial transparency

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. / The authors have no financial interest in the presented materials or methods.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-3-o2>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the author, and his or her employer

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

NOMENCLATURAL STANDARDS OF MODERN RUSSIAN POTATO CULTIVARS PRESERVED AT THE VIR HERBARIUM (VIR): A NEW APPROACH TO CULTIVAR GENEPOOL REGISTRATION IN A GENE BANK

Gavrilenko T.A.^{*}, Chukhina I.G.

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia; *✉ tatjana9972@yandex.ru

VIR is creating a collection of nomenclature standards for cultivars of different crops in line with the provisions of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP). The nomenclatural standards are designed in the form of a herbarium sample in cooperation with the authors of cultivars, who select plant material for each cultivar in the experimental field of their organization and forward it to the scientific herbarium together with the accompanying documents. Registering of herbarium specimen in the scientific herbarium is followed by the publication of nomenclatural standards. The article presents a new VIR genebank strategy for registering plant material of domestic cultivars received from breeders, which includes the design of nomenclatural standards; the development of a genetic passport of a cultivar using DNA samples from the plant delivered to the scientific herbarium; and application of biotechnological methods for keeping explants (isolated from the acquired plant material as buds or meristems) alive. The proposed integrated approach makes it possible to document cultivars not only with the help of nomenclatural standards, but also with the use of molecular-genetic methods, as well as to save genotyped specimens, transferred to herbarium, in *in vitro* and in cryo collections. This approach is applicable to any vegetatively propagated crop. The article summarizes the first results of our proposed strategy using modern domestic potato cultivars as an example. Collection, transfer and preparation of plant material for nomenclatural standards of potato varieties are specific; this article explains our protocol for this work. The implementation of this strategy in 2018-2020 led to the designation of nomenclatural standards for 66 Russian potato varieties and elaboration of their genetic passports, which are presented in a series of articles included into issues Nos.3 and 4, Volume 3, of the journal "Plant Biotechnology and Breeding", containing an overview of methodological approaches to registration of modern domestic cultivars in the VIR collection. DNA samples obtained from the plant material provided by the cultivar authors for nomenclatural standard designation will continue to be used as a source of information on the genetic potential of a cultivar through the expansion of the list of DNA markers and the application of new genetic technologies.

Key words: *Solanum tuberosum*, herbarium specimens, nomenclatural standards, DNA markers, genotyping, genetic passport, germplasm *in vitro* collections, cryogenic conservation.

Для цитирования: Гавриленко Т.А., Чухина И.Г. Номенклатурные стандарты современных российских сортов картофеля, хранящиеся в гербарии ВИР (VIR): 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

For citation: Gavrilenko T.A., Chukhina I.G. Nomenclatural standards of modern Russian potato cultivars preserved at the VIR herbarium (VIR): A new approach to cultivar gene pool registration in a genebank. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):6-17. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-o2

Gavrilenko T.A. <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>
Chukhina I.G. <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

УДК 635.21:631.523+631.526.32

Поступила в редакцию: 25.09.2020

Принята к публикации: 01.12.2020

Введение

Наименование культурных растений (номенклатура) осуществляется по правилам, закрепленным в двух международных документах: Международном кодексе ботанической номенклатуры (МБК), с 2011 г. – Международном кодексе номенклатуры грибов, водорослей и растений (International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants – ICN Shenzhen Code) (Turland et al., 2018) и в Международном кодексе номенклатуры культурных растений (МКНКР) (International Code of Nomenclature for Cultivated Plants – ICNCP) (Brickell et al., 2016). В основе наименования любого культурного растения лежит название вида или внутривидового таксона (от подвида до формы), номенклатура которых подчиняется принципам Международного кодекса ботанической номенклатуры (Turland et al., 2018). При названии сортов (cultivar) требуется следовать правилам и рекомендациям Международного кодекса номенклатуры культурных растений (МКНКР) (Brickell et al., 2016), который призван содействовать единообразию, точности и стабильности в наименовании сельскохозяйственных, лесохозяйственных и садово-декоративных растений (Brickell et al., 2016). Положения МКНКР формировались в течение почти 70 лет с момента выхода первого издания в 1953 году. Правила МКНКР нацелены на приведение в порядок ранее используемой номенклатуры и обеспечение точности современных названий. Несоблюдение правил номенклатуры культурных растений приводит к ошибкам в документировании растительного материала, например, ошибочному или повторному использованию названий сортов.

МКНКР объединяет принципы, правила и рекомендации по названию сортов и групп сортов. Согласно МКНКР полное наименование сорта пишется после латинского названия таксона (рода и вида) к которому принадлежит сорт, начинается с заглавной буквы и заключается в одинарные кавычки (Article 8: Names and Epithets 8.1) (Brickell et al., 2016). Например, *Solanum tuberosum* ‘Bintje’, *Solanum tuberosum* ‘Early Rose’. Каждый сорт обладает уникальным наименованием, которое не переводится с одного языка на другой, а в случае необходимости, например, для регистрации сортов в странах с разными алфавитами, используется транслитерация их названий. МКНКР рекомендует два международных стандарта, определяющих систему транслитерации национальных алфавитов посредством латиницы – ALA-LC или ISO (Recommendation 33A, Brickell et al., 2016). При этом в рамках одного документа, или одной публикации должен использоваться только один из этих стандартов. В рекомендации 33A даны примеры транслитерации русских названий сортов латинскими буквами с применением обоих стандартов – ALA-LC и ISO 9: 1995 (с использованием диакритики, система А). В Российской Федерации для транслитерации кириллических букв средствами латинского алфавита принят межгосудар-

ственный стандарт ISO 9-95 (ГОСТ 7.79-2000). Учитывая рекомендацию 33А МКНКР и ГОСТ 7.79-2000, в серии статей выпусков №3 и №4, том 3 журнала «Биотехнология и Селекция Растений», публикующих номенклатурные стандарты российских сортов картофеля, использован международный стандарт ISO 9: 1995 (система А) для транслитерации наименований латинским алфавитом.

В МКНКР закреплено положение о том, что для стабилизации применения названий сортов и групп сортов важны создание, сохранение и публикация номенклатурных стандартов, позволяющих закрепить наименование сорта и засвидетельствовать его внешний вид. МКНКР содержит разделы, касающиеся регистрации и требований к номенклатурным стандартам. Предпочтительно, чтобы номенклатурный стандарт был представлен гербарным образцом. Так как для оформления гербарных образцов необходим профессиональный подход, то авторам сортов следует передавать растительный материал в коллекции признанных гербариев, где полученный материал оформляется в виде гербарного листа. Такой гербарный лист хранится в научном гербарии и в дальнейшем может использоваться для документирования сорта как селекционного достижения. Приветствуется сопровождение такого гербарного образца фотографиями, отражающими признаки сорта, и любыми другими документами, дополняющими характеристики сорта, формирующими, таким образом, его портфолио (Brickell et al., 2016). Желательно, чтобы отбор растительного материала для создания номенклатурного стандарта проводился непосредственно селекционером автором сорта. Однако, в Кодексе отмечено, что в случае, если автор сорта не доступен или не желает отбирать материал для подготовки номенклатурного стандарта, то следует обратиться за консультацией к другим экспертам при отборе материала для такого стандарта (Brickell et al., 2016). Отдельно оговариваются требования по созданию номенклатурных стандартов сортов, зарегистрированных после 1 января 2004 года (Brickell et al., 2016). Они должны быть подготовлены с использованием растений, которые выращены из того же запаса семян или вегетативных диаспор, что и при регистрации сорта.

Номенклатурные стандарты, с которыми на постоянной основе соотносятся названия сортов, имеют большое значение для закрепления авторских прав создателей сорта, а также позволяют пользователям избежать неоднородности или засорения сортовых посадок, исключив из употребления материал, не соответствующий тому или иному сорту. Хранение номенклатурных стандартов сортов осуществляется в научных гербарных коллекциях. Обязательно в виде научной публикации проводится обнародование номенклатурных стандартов и гербарной коллекции, в которой они хранятся. При обнародовании номенклатурного стандарта дается наименование сорта на национальном языке, а также его транслитерация при помощи латинского алфавита.

Селекционеры и исследователи передают в гербарий

растительный материал не только сортов, зарегистрированных в соответствии с законодательными актами, регламентирующими права на селекционные достижения, но и растения образцов гибридных клонов, являющихся источниками и донорами ценных признаков, а также селекционных клонов, переданных в госсортоиспытание. Для них в гербарии оформляются ваучерные образцы. После окончания госсортоиспытаний и регистрации новых сортов, уже созданные ваучерные гербарные образцы могут быть выбраны в качестве номенклатурных стандартов.

Со временем по ряду причин (технических и биологических) многие живые коллекционные образцы утрачивают свою однородность, выпадают из *ex situ* коллекций и теряются для истории, но остаются в виде гербарных экземпляров (Smekalova et al., 2012). Так, в Гербарии ВИР хранятся образцы сортов, которые выращивались на территории России в начале XX века; в качестве примера из хранящихся сортов картофеля можно привести гербарный образец сорта 'Казанский', который репродуцировали в 1923 году на опытной станции ВИР «Красный Пахарь». Информация, хранящаяся в виде гербарного образа, не устаревает со временем и создает основу для проведения различных исследований, включая молекулярно-генетические. В последнее десятилетие методы ПЦР-анализа, секвенирования, в том числе и методы секвенирования нового поколения активно используются для изучения гербарных образцов, включая старые образцы, хранящиеся в исторических гербарных коллекциях (см. обзоры: Bieker, Martin, 2018; Inglis et al., 2018 и на русском языке – Фомина и др., 2019). Так, например, на основании результатов ПЦР анализа гербарных образцов картофеля, собранных в период с 1700 по 1910 гг., хранящихся в разных европейских гербариях, была изучена история интродукций картофеля из Южной Америки в Европу (Ames, Spooner, 2008). В нашей работе (Gavrilenko et al., 2017) данные анализа полиморфизма пластидных микросателлитов уникальных аутентичных образцов из Гербария ВИР, позволили оценить генетическое разнообразие аборигенных сортов картофеля, собранных С.В. Юзепчуком на территории Чили в первой трети XX века (Juzepczuk, Bukasov, 1929).

«Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений» (Гербарий ВИР, WIR) является специализированным гербарием мирового значения, с богатыми историческими фондами, включающими уникальные сборы из различных регионов Земного шара; коллекции номенклатурных типов и аутентичных гербарных образцов. Гербарий ВИР является основой для документации и изучения таксономического и географического разнообразия, для решения теоретических вопросов систематики и эволюции культурных растений и их диких родичей, в том числе в связи с проблемой сохранения генетических ресурсов растений.

В последние годы в Гербарии ВИР формируются коллекции номенклатурных стандартов сортов различных

культур, в том числе и современных российских сортов картофеля. В настоящей статье обсуждается новая стратегия и новые подходы к регистрации в генбанке ВИР отечественных сортов, поступивших от их авторов; обобщены первые результаты реализации этой стратегии на примере создания номенклатурных стандартов российских сортов картофеля и их молекулярно-генетической паспортизации, которые представлены в серии статей этого и следующего выпусков журнала (Klimenko et al.; Fomina et al., a, см. в этом же выпуске; Antonova et al.; Rybakov et al.; Fomina et al., b; см. в следующем выпуске). В настоящей статье также приведен разработанный нами протокол сбора и подготовки растительного материала для оформления номенклатурных стандартов сортов картофеля.

Новые подходы к регистрации генофонда отечественных сортов в генбанке ВИР

В 2017 году нами была инициирована разработка новой стратегии, направленной на развитие подходов и методов регистрации в генбанке отечественных сортов вегетативно размножаемых культур, поступивших в ВИР от селекционеров – авторов сортов. Начиная с 2018 года, эта стратегия начала реализовываться в совместных исследованиях сотрудников двух отделов ВИР – отдела биотехнологии и отдела агроботаники и *in situ* сохранения генетических ресурсов растений вместе с селекционерами – авторами сортов. Помимо применения классических методов гербаризации для формирования коллекции номенклатурных стандартов в гербарии ВИР, эти исследования включают молекулярно-генетические методы, применяемые для разработки генетического паспорта сорта с использованием ДНК, выделенной из растительного материала, переданного в Гербарий ВИР автором для создания номенклатурного стандарта, и биотехнологические подходы для сохранения в живом виде растительного материала (почки, меристемы), который был использован для создания гербарного образца.

Предложенная стратегия позволяет документировать сорт не только с помощью номенклатурного стандарта, но и с применением молекулярно-генетических методов, а также сохранять генотипированный образец сорта в *in vitro* коллекции и долгосрочно хранить его в криобанке. Такой комплексный подход может быть применен к любым вегетативно размножаемым культурам.

Разработка генетических паспортов номенклатурных стандартов сортов картофеля. Использование молекулярно-генетических методов, основанных на анализе полиморфизма высоковариабельных участков генома, позволяет оценивать уровень внутривидового генетического разнообразия, проводить генотипирование сортов, выявлять дублетные коллекционные образцы и технические ошибки в поддержании морфологически схожих сортов, что в итоге повышает эффектив-

ность менеджмента при сохранении больших коллекций в генбанках (Hammer, 2003; Spooner et al., 2005). В селекции и семеноводстве такой важной культуры как картофель, применение методов генотипирования позволяет проводить идентификацию сортов, способствует защите авторских прав селекционера и может повысить надежность экспертиз на отличимость, однородность, стабильность (ООС или DUS – testing of Distinctness, Uniformity and Stability), например, при сертификации семенного картофеля (Côté et al., 2013). Как в работе с коллекционными образцами, так и в практических исследованиях по селекции и семеноводству очень важна проблема надежных контролей – ‘эталонных’ образцов для идентификации сорта и оценки его генетической однородности. В качестве такого контрольного образца может выступать номенклатурный стандарт, с которым после его обнародования постоянно соединено название сорта. В этом плане перспективно использование номенклатурных стандартов для проведения оценки подлинности и однородности одноименных образцов сортов из различных источников: из коллекций разных организаций, а также из компаний, занимающихся коммерческим выращиванием сортов.

Такую верификацию можно проводить не только сопоставляя морфологические признаки проверяемого образца сорта с признаками гербарного растения, выбранного в качестве номенклатурного стандарта сорта, но и применяя молекулярно-генетические методы. В рамках обсуждаемой стратегии, обязательным условием для разработки генетического паспорта сорта является использование ДНК, выделенной из растительного материала, который был передан в научный гербарий для создания номенклатурного стандарта автором сорта (или представителем организации, где был выведен сорт). Таким образом, ДНК-профиль номенклатурного стандарта сорта ассоциирован с генетическим паспортом этого сорта. Оценивая подлинность одноименных образцов, полученных из различных источников, исследователи могут сопоставлять их маркерные профили с данными генетического паспорта (например, с SSR-профилем номенклатурного стандарта).

Для генетической паспортизации сортов картофеля используются различные ДНК маркеры, например, AFLP (Vetelainen et al., 2005; Dyachenko et al., 2020), IRAP и REMAP (Sharma, Nandineni, 2014), однако наиболее широко для этой цели применяют ядерные SSR маркеры (Karaagac et al., 2014; Liao, Guo, 2014; Antonova et al., 2016; Salimi et al., 2016; Biniam et al 2016; Kolobova et al 2017; Tiwari et al., 2018; Bali et al., 2017; Wang et al., 2019), поскольку с их помощью детектируют большое число аллелей высокополиморфных микросателлитных локусов, они характеризуются кодоминантным наследованием, хорошо воспроизводятся, являются относительно доступными и малозатратными.

В ВИР SSR-анализ для генотипирования и изучения генетического разнообразия культурных видов и селекционных сортов картофеля используется на протяжении

10 лет (Gavrilenko et al., 2010; Shvachko, 2012; Antonova et al., 2016). В эти исследования были включены разные наборы монолокусных хромосомспецифичных SSR маркеров, подобранные по литературным источникам (Milbourne et al., 1998; Ghislain et al., 2004, 2009; Feingold et al., 2005). В настоящее время для разработки генетических паспортов сортов картофеля в ВИР применяют модифицированные протоколы выделения ДНК и проведения ПЦР-анализа, а число SSR маркеров в наборе снижено до восьми (см. Antonova et al., в следующем выпуске).

Информация об аллельном составе полиморфных хромосомспецифичных микросателлитных локусов составляет основу генетических паспортов номенклатурных стандартов сортов картофеля, разрабатываемых в отделе биотехнологии ВИР. Эта информация дополняется данными о наличии/отсутствии диагностических фрагментов маркеров генов, детерминирующих устойчивость сортов к наиболее вредоносным патогенам, а также информацией о типах цитоплазм сортов, полученных с использованием маркеров из набора K. Hosaka, R. Sanetomo (2012), специфичных к разным локусам хл- и мтДНК. Совместное применение двух подходов, основанных на анализе полиморфных участков генома и молекулярном скрининге образцов с маркерами генов, вовлеченных в контроль селекционно-ценных признаков, повышает информативность разрабатываемых генетических паспортов. При этом важно подчеркнуть, что в генетический паспорт сорта включали только те данные, которые были генерированы на ДНК, выделенной из растительного материала, использованного для оформления номенклатурного стандарта. При наличии для данного сорта уже опубликованной информации об определенных маркерах, эту информацию размещали в генетическом паспорте сорта только после проверки путем амплификации фрагментов ДНК, соответствующих таким маркерам, с использованием ДНК номенклатурного стандарта.

Помимо результатов молекулярно-генетического анализа, в генетические паспорта сортов включена информация о названии сорта, его происхождении (учреждении, где он был создан), о годе внесения сорта в Госреестр и коде сорта в Госреестре, номере патента (если он оформлялся), об авторах сорта и методах выведения сорта. Эти сведения берутся из официальных документов, которые авторы сортов передают в Гербарий ВИР вместе с растительным материалом, а также из «Государственного реестра селекционных достижений, допущенных к использованию» (2020 г.) (State Register..., 2020) (далее – Госреестр).

В генетические паспорта также включены данные из Госреестра о фитопатологической устойчивости сортов к объекту внутреннего карантина – *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens. (золотистая картофельная нематода, патотип Ro1). Сопоставление этих данных с информацией генетического паспорта о наличии/отсутствии маркеров генов нематодоустойчи-

ности имеет большое практическое значение, поскольку *G. rostochiensis* зарегистрирована в 61 субъекте РФ, а доля включенных в Госреестр нематодоустойчивых сортов составляет только 55,4% (State Register..., 2020). В то же время, данные об устойчивости сортов ко второму карантинному объекту, распространенному в РФ – *Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Perc. (возбудителю рака картофеля), не были внесены в генетические паспорта, поскольку обязательным требованием для включения новых сортов картофеля в Госреестр является их устойчивость к *S. endobioticum* (первый патотип). В связи с этим, фактически все сорта (99,4%) Госреестра отличаются устойчивостью к *S. endobioticum*, исключение составляют четыре (0,6 %) восприимчивых старых сорта (Khiutti et al., 2020), которые не участвовали в наших исследованиях. Информация, размещенная в генетическом паспорте, важна для планирования селекционных программ, анализа родословных, изучения генетического разнообразия, оценки защищенности и уязвимости сортового генофонда. В дальнейшем информация, размещенная в генетическом паспорте сорта, будут расширяться с применением новых маркеров и новых ДНК технологий.

Биотехнологические подходы – возможности сохранения в *in vitro* и в крио коллекциях переданных в гербарий образцов. Применение биотехнологических подходов позволяет сохранять в живом виде в контролируемых условиях среды растительный материал (почки, меристемы), использованный для создания гербарных образцов номенклатурных стандартов сортов картофеля. Пазушные почки и меристемы, вычлененные непосредственно перед гербаризацией побегов, переданных авторами сортов для оформления номенклатурных стандартов, могут быть использованы в качестве эксплантов для введения материала в *in vitro* культуру. При этом следует заметить, что возможность реализации этого этапа определяется хорошим состоянием полученного растительного материала.

Основные преимущества *in vitro* коллекций вегетативно размножаемых культур, включая картофель, заключаются в их компактности, возможностях оздоровления микро-растений от патогенов, круглогодичного микроразмножения и поддержания сортов в контролируемых условиях, изолированно от биотических и абиотических стрессоров. На основе *in vitro* коллекций создаются крио коллекции для долгосрочного хранения сортов при сверхнизких температурах (FAO, 2014; Gavrilenko et al., 2007; Niino et al., 2015). При необходимости, сохраняемые в дублетных *in vitro* и крио коллекциях образцы, могут быть возвращены в полевой генбанк в виде *ex vitro* растений и в дальнейшем репродуцироваться в естественных условиях.

Поскольку с течением времени живые образцы сортов из любых *ex situ* коллекций (полевых, *in vitro*, крио) могут подвергаться генетической эрозии, необходимо их периодически верифицировать, используя в качестве кон-

троля исходные препараты ДНК, полученные из растений, выбранных в качестве номенклатурных стандартов. При этом данные, включенные в генетические паспорта номенклатурных стандартов, могут расширяться и дополняться информацией о других маркерах. Информация генетического паспорта номенклатурного стандарта может быть использована при проведении сортоиспытаний для проверки сортов на ООС (DUS-testing).

Протокол сбора и передачи в Гербарий ВИР растительного материала, подготовка и оформление номенклатурных стандартов сортов картофеля

Согласно МКНКР (Brickell et al., 2016) создание номенклатурного стандарта сорта, как правило, включает следующие этапы: сбор автором сорта растительного материала и передачу его в научный гербарий; фотографирование внешнего вида частей растения, которое может проводиться как во время сбора, так и после поступления материала в гербарий; гербаризацию переданного растения; размещение полученных изображений на гербарном листе; оформление гербарной этикетки, содержащей информацию о происхождении растительного материала и дате его сбора, фамилии коллектора и специалиста идентифицировавшего сорт (обычно автор сорта); регистрационный номер гербарных листов. Обнаrodование номенклатурного стандарта сорта осуществляется в виде научной публикации.

Для сортов картофеля сбор растительного материала и его подготовка к оформлению номенклатурных стандартов имеет свои особенности. Разработанный нами протокол, включающий пять последовательных этапов, приведен ниже.

а) Сбор и передача в Гербарий ВИР побега растения, выбранного автором сорта, подготовка гербарного образца. Селекционер – автор сорта или представитель организации, где был выведен сорт, выбирает на опытном поле селекционного учреждения здоровое, не имеющее повреждений, не обработанное ядохимикатами растение, и отмечает его, например, навешивая пластиковую бирку. С этого растения селекционер отбирает побег, собранный, желательно, в фазе цветения; этикеткует его и передает в Гербарий ВИР с сопроводительными документами. Если передача осуществляется из удаленных регионов, заранее обговариваются сроки и способы транспортировки материала, поскольку картофель относится к травянистым быстро увядающим растениям. В первый день поступления растительного материала в гербарную коллекцию ВИР проводится фотографирование частей растения (соцветия, цветка, побега).

Перед гербаризацией отбирают небольшое количество ткани листьев для выделения ДНК. Впоследствии эта ДНК используется для разработки генетического паспорта сорта.

В зависимости от объема и состояния переданного материала, перед гербаризацией можно отобрать несколько почек из пазух листьев. Эти пазушные почки могут быть использованы для вычленения меристем и введения переданного в гербарий образца в культуру *in vitro*.

Сушку и монтирование гербарных образцов проводят в соответствии с методическими указаниями «Гербаризация культурных растений» (Belozor, 1989). Дополнительно к побегу на гербарных листах размещают и отдельные части высушенных цветков с расправленным венчиком или их фотографии.

б) Сбор и передача в Гербарий ВИР клубней растения, выбранного автором сорта, оформление номенклатурного стандарта. После наступления сроков увядания ботвы, у того же самого отмеченного биркой растения автор сорта собирает клубни (желательно не менее двух-трех), этикетировывает их и передает в Гербарий ВИР вместе с сопроводительными документами. Гербаризация клубневого материала проводится в соответствии с методическими указаниями (Belozor, 1989). Один из переданных в гербарий клубней разрезают на две равные части и используют их для фотографирования окраски мякоти, кожуры, глазков. Впоследствии все фотографии частей клубня размещают на гербарном листе.

Одну из половинок клубня прикладывают к фильтровальной бумаге, обводят контур свежего среза и его отпечаток фиксируют на гербарном листе с указанием даты этой фиксации. После этого делают плоский срез клубня и фрагмента кожуры, которые после высушивания размещают на гербарном листе.

Еще несколько фрагментов кожуры, срезанных перед гербаризацией клубневого материала, используют для выделения ДНК. Оба независимо полученных образца ДНК (из листьев побега и из кожуры клубня одного и того же растения, выбранного селекционером), используются в молекулярно-генетических исследованиях по разработке генетического паспорта, документирующего сорт.

в) Документация признаков световых ростков клубня. Оставшиеся неразрезанными клубни каждого сорта оставляют на хранение на несколько месяцев, и после инициации световых ростков проводят описание и фотографирование их морфологических признаков (размер, форма, опушенность и интенсивность антоциановой окраски верхушки и основания световых ростков клубня, др.), которые важны для сортовой идентификации (RTG/0023/2, 2005). Впоследствии все фотографии размещают на гербарном листе.

В случаях, когда состояние поступившего растительного материала не позволяет определить какие-либо важные признаки сорта (например, были получены поврежденные клубни или переданы экземпляры побегов с цветками в плохом состоянии или побеги без соцветий),

изучение растений продолжается и в следующем году. В этих случаях используются клубневые репродукции, полученные от исходных клубней, переданных автором сорта в гербарий.

г) Верификация морфологических признаков полученного растительного материала, сопоставление их с характеристиками сорта, указанными в официальных документах. Составление описания и фоторегистрация морфологических признаков соцветия, цветка, клубней и световых ростков являются важным моментом при подготовке к оформлению номенклатурных стандартов. Вместе с растительным материалом автор сорта передает в Гербарий ВИР ряд официальных документов, включая «Описание селекционного достижения», форму RTG/0023/2 «Оценка отличимости, однородности и стабильности», форму 378 «Анкета сорта», «Авторское свидетельство», Патент (если он был оформлен) и заверенные Акты о передаче растительного материала. Пример такого портфолио документов приведен в Приложении 1 к статье Н.А. Фоминой с соавторами (Fomina et al., а, см. в этом же выпуске). В первых трех из этих документов приведена информация о 42 признаках сорта, определенных по методике испытаний на отличимость, однородность и стабильность (ООС) «Госсорткомиссии» (RTG/0023/2..., 2005). Информация из перечисленных официальных документов позволяет при фоторегистрации полученных побегов с соцветиями и клубней выбрать наиболее характерные для данного сорта морфологические признаки, а также сопоставить описание сорта и визуально наблюдаемые признаки растительного материала, переданного в гербарную коллекцию. Такое сравнение помогает минимизировать технические ошибки, которые в отдельных случаях могут произойти при сборе, этикетировании или передаче в гербарий побегов и клубней, особенно, когда одновременно передается растительный материал большого числа сортов.

Кроме морфологических признаков сорта, указанных в «Описании селекционного достижения» и в формах 378 и RTG/0023/2, мы документировали несколько дополнительных признаков, например, форму венчика, которую определяли на расправленных высушенных цветках, согласно J. Hawkes (1990); тип окраски внутренней и внешней сторон венчика и положение сочленения на цветоножке, описание которых проводили согласно «Классификатору СЭВ» (Bukasov et al., 1977) и «Descriptors for the cultivated potato» (Huaman et al., 1977). Окраску венчика уточняли, используя цветовую шкалу «Colour Chart Edition V» Королевского садоводческого общества (The Royal Horticultural Society (RHS)), Великобритания.

Как отмечалось выше, цифровые изображения частей растений, переданных авторами сортов, создаются на каждом этапе – как при поступлении в гербарий побегов, а затем клубней, так и после – при появлении на хранящихся клубнях световых ростков, а также в процес-

се изучения растений следующих клубневых репродукций. Цифровые изображения частей растения с подписями к ним размещают на гербарном листе.

д) Эtiquетирование гербарных образцов и регистрация номенклатурных стандартов сортов картофеля в Гербарии ВИР. Первичные этикеточные данные накапливают в ходе сбора и передачи растительного материала и заносят в базу данных. Окончательную этикетку стандартной формы распечатывают и приклеивают в правом нижнем углу гербарного листа. На гербарной этикетке указывают название сорта, происхождение (название организации/ий, в которой/-ых был создан сорт); место репродукции (где было выращено гербаризируемое растение), дату сбора побегов и дату сбора клубней, Ф.И.О. коллектора/-ов и специалиста, определившего сорт (обычно автор сорта); интродукционный номер с префиксом «и-» (присваиваемый при поступлении живых образцов в генбанк), регистрационный номер образца в гербарной коллекции с префиксом «WIR-». После этого проводят сканирование гербарного образца с разрешением ~ 400 dpi; при сканировании на гербарный лист помещают стандартную цветовую шкалу X-rite Colour Chart. Номенклатурные стандарты сортов картофеля регистрируют в электронной базе данных «Гербарий ВИР» и передают на постоянное хранение в типовой фонд.

Создание номенклатурных стандартов российских сортов картофеля – сотрудничество с селекционерами

В этом разделе обобщены первые результаты совместной работы сотрудников ВИР с селекционерами из Северо-Западного, Центрального, Приволжского и Сибирского регионов, направленной на создание коллекции номенклатурных стандартов российских сортов картофеля, их генетической паспортизации и последующей криоконсервации генотипированных образцов. Это сотрудничество началось в 2016 году в рамках проведения эколого-географических испытаний по Комплексному Плану Научных Исследований (далее КПНИ ЭГИ) которые продолжались следующие четыре года. В гербарную коллекцию ВИР первый растительный материал российских сортов картофеля поступил в 2018 году для решения задач оформления номенклатурных стандартов и ваучеров и их генетической паспортизации в рамках подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации».

Всего в гербарную коллекцию ВИР с целью оформления номенклатурных стандартов в 2018-2019 годах было передано более 130 образцов картофеля из ВНИИКСХ, Ленинградского НИИСХ «Белогорка», ТатНИИСХ и ИЦиГ СО РАН; но только 84 из них поступили непо-

средственно от авторов сортов (или представителей институтов, где эти сорта создавались) вместе с сопроводительными документами. Во всех случаях оформление номенклатурных стандартов отечественных сортов картофеля выполнено в соответствии с положениями МКНКР и с учетом разработанного нами протокола.

Так, в 2018 году селекционеры – авторы сортов Н.М. Гаджиев, З.З. Евдокимова, В.А. Лебедева собрали на опытном поле Ленинградского НИИ сельского хозяйства «Белогорка» побеги с соцветиями, а позднее клубни от тех же самых растений, и передали их в Гербарий ВИР. В результате совместной работы был оформлен 21 номенклатурный стандарт (Klimenko et al., см. в этом выпуске) (таблица).

В результате совместной работы с авторами сортов Е.А. Гимаевой и З. Сташевски оформлены 4 номенклатурных стандарта сортов, выведенных в Татарском НИИ сельского хозяйства – ОСП ФИЦ КазНЦ РАН (Fomina et al., а, см. в этом же выпуске) (таблица).

Селекционер А.Д. Сафонова на опытном поле Сибирского НИИ растениеводства и селекции отобрала и передала в Гербарий ВИР побеги сортов, выведенных в этом институте. Гербарные образцы четырех сортов оформлены как номенклатурные стандарты (Fomina et al., b, см. в следующем выпуске) (таблица).

Больше всего сортов поступило в гербарную коллекцию ВИР из ведущего исследовательского центра – ВНИИ картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха (далее – ВНИИКСХ), где выполняется наибольший объем работ по селекции картофеля в стране. Так, в 2018 и в 2019 годах в Гербарий ВИР из ВНИИКСХ были переданы побеги и клубни 45 сортов, созданных в этом институте или в других организациях в соавторстве с селекционерами ВНИИКСХ. На опытном поле ВНИИКСХ растительный материал собирал сотрудник этого института селекционер А.А. Мелешин; в 2019 г. в передаче материала также принимали участие известные селекционеры Е.А. Симаков и Х.Х. Апшев. К настоящему времени оформлены 37 номенклатурных стандартов сортов картофеля созданных во ВНИИКСХ, а также сортов, выведенных в сибирских селекцентрах в соавторстве с ВНИИКСХ (таблица) (см. Rybakov et al.; Fomina et al., b, см. в следующем выпуске).

К настоящему времени оформлены, зарегистрированы и переданы на хранение в типовой фонд Гербария ВИР 66 номенклатурных стандартов российских сортов картофеля (таблица). Их обнародование проводится в двух выпусках журнала «Биотехнология и Селекция растений» – №3 и №4, том 3, 2020 (Klimenko et al., Fomina et al., а, см. в этом же выпуске; Rybakov et al.; Fomina et al., b, см. в следующем выпуске). Это первые публикации номенклатурных стандартов на русском языке.

**Таблица. Происхождение растительного материала, переданного в Гербарий ВИР
в 2018-2019 годах, и число оформленных номенклатурных стандартов сортов картофеля**

**Table. Origin of potato cultivars submitted to the VIR Herbarium in 2018-2019
and the number of prepared nomenclatural standards**

Организации, где были выведены сорта (Institutions where cultivars were bred) *	Число (N) и названия сортов, для которых были созданы номенклатурные стандарты / Number (N) and names of cultivars and their nomenclatural standards
Сорта, выведенные селекционерами Ленинградского НИИСХ «Белогорка», включая сорта, созданные ими в соавторстве с селекционерами других организаций; (растительный материал получен из Ленинградского НИИСХ «Белогорка») N = 21 (Klimenko et al., см. в этом выпуске)	
Ленинградский НИИСХ «Белогорка»	‘Даная’, ‘Евразия’, ‘Ломоносовский’, ‘Майский цветок’, ‘Невский’, ‘Русская красавица’, ‘Сиверский’, ‘Сударыня’
Ленинградский НИИСХ «Белогорка» и Холмогорская опытная станция животноводства и растениеводства	‘Памяти Осиповой’, ‘Холмогорский’
Ленинградский НИИСХ «Белогорка» и Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова	‘Весна белая’, ‘Снегирь’, ‘Чародей’
Ленинградский НИИСХ «Белогорка», Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова, ООО Селекционная фирма «ЛиГа»	‘Очарование’
Ленинградский НИИСХ «Белогорка» и ООО Селекционная фирма «ЛиГа»	‘Чароит’
ООО Селекционная фирма «ЛиГа» и Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова	‘Вдохновение’, ‘Наяда’, ‘Сказка’
ООО Селекционная фирма «ЛиГа»	‘Гусар’, ‘Лига’, ‘Сиреневый туман’
Сорта, выведенные селекционерами ТатНИИСХ - ОСП ФИЦ КазНЦ, включая сорта, созданные ими в соавторстве с ВНИИХ им. А.Г. Лорха (растительный материал получен из ТатНИИСХ - ОСП ФИЦ КазНЦ) N = 4 (Fomina et al., а, см. в этом же выпуске)	
ТатНИИСХ - ОСП ФИЦ КазНЦ	‘Зумба’, ‘Регги’
ТатНИИСХ - ОСП ФИЦ КазНЦ и ВНИИХ	‘Кортни’, ‘Самба’
Сорта, выведенные селекционерами СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН (растительный материал получен из СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН) N = 4 (Fomina et al., b, см. в следующем выпуске)	
ИЦиГ СО РАН	‘Златка’
СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН	‘Лина’, ‘Сафо’, ‘Юна’
Сорта, выведенные селекционерами ВНИИХ им. А.Г. Лорха, включая сорта, созданные ими в соавторстве с селекционерами других организаций; (растительный материал получен из ВНИИХ) N = 30 (Rybakov et al., см. в следующем выпуске)	
ВНИИХ им. А.Г. Лорха	‘Барин’, ‘Варяг’, ‘Василек’, ‘Великан’, ‘Голубизна’, ‘Ильинский’, ‘Колобок’, ‘Красавчик’, ‘Крепыш’, ‘Метеор’, ‘Пламя’, ‘Третьяковка’, ‘Утро’, ‘Фиолетовый’
ВНИИХ им. А.Г. Лорха и ООО «Агроцентр «Коренево»	‘Вымпел’, ‘Гранд’, ‘Гулливёр’, ‘Дебют’, ‘Краса Мещеры’, ‘Фрителла’
ВНИИХ, ЗАО «Акросия»	‘Купец’, ‘Призер’
ВНИИХ им. А.Г. Лорха и ООО «Маккейн агрокультура (РУС)»	‘Фаворит’
ВНИИХ им. А.Г. Лорха и ООО «Редкинская агропромышленная компания»	‘Северное сияние’
КБНИИСХ и ВНИИХ им. А.Г. Лорха	‘Нальчикский’
Пензенский НИИСХ и ВНИИХ	‘Бабушка’, ‘Матушка’, ‘Русский сувенир’
Федеральный научный центр лубяных культур и ВНИИХ им. А.Г. Лорха	‘Арлекин’
СамНЦ РАН и ВНИИХ им. А.Г. Лорха	‘Жигулевский’
Сорта, выведенные селекционерами сибирских институтов в соавторстве с ВНИИХ им. А.Г. Лорха (растительный материал получен из ВНИИХ) N = 7 (Fomina et al., b, см. в следующем выпуске)	
СФНЦА РАН и ВНИИХ им. А.Г. Лорха	‘Антонина’, ‘Любава’, ‘Накра’, ‘Памяти Рогачева’, ‘Саровский’, ‘Солнечный’, ‘Тулеевский’
Итого	N = 66

Примечания: *В таблице указана аббревиатура названий институтов, актуальная на момент передачи растительного материала в Гербарий ВИР:

ВНИИКСХ – ВНИИ картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха,

ИЦИГ СО РАН – Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской Академии Наук,

КБНИИКСХ – Кабардино-Балкарский НИИ сельского хозяйства,

Ленинградский НИИКСХ «Белогорка» – Ленинградский НИИ сельского хозяйства «Белогорка»,

Пензенский НИИКСХ – Пензенский НИИ сельского хозяйства,

СФНЦА РАН – Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН,

СамНЦ РАН – Самарский федеральный исследовательский центр РАН,

СибНИИРС – Сибирский НИИ Растениеводства и Селекции,

ТатНИИКСХ – ОСП ФИЦ КазНЦ РАН – Татарский НИИ сельского хозяйства обособленное структурное подразделение в ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук».

В гербарную коллекцию ВИР селекционеры также передавали побеги и клубни созданных ими предсортов, находящихся в госсортоиспытании, и селекционных клонов, являющихся донорами ценных признаков. Эти образцы загербаризированы, на данный момент 11 из них оформлены в качестве ваучерных гербарных образцов, документирующих выполненные исследования по генотипированию и молекулярному скринингу. После окончания госсортоиспытаний и регистрации новых сортов, уже созданные ваучерные гербарные образцы могут быть выбраны в качестве номенклатурных стандартов.

Начальные этапы сбора и этикетирования растительного материала, а также пробоподготовки для выделения ДНК являются наиболее ответственными в оформлении номенклатурного стандарта сорта. Любая ошибка на этом этапе может нивелировать последующий большой объем работы. Разработанный в ВИРе протокол позволяет снизить вероятность редких технических ошибок, которые могут произойти на этой стадии. Так, например, при сопоставлении морфологических признаков переданных для гербаризации клубней с описанием признаков из «Анкеты сорта» в 3,6% случаев (три из 84 образцов, переданных с официальными документами) были выявлены несоответствия по признаку окраски кожуры (см. Rybakov et al., в следующем выпуске). В такой ситуации растительный материал, для оформления номенклатурного стандарта, запрашивали у авторов сорта заново.

Использование в SSR анализе независимо выделенных образцов ДНК одного сорта также позволяет избежать редкие технические и/или методические ошибки. Как отмечено выше, генетический паспорт сорта разрабатывался с использованием двух образцов ДНК, независимо выделенных из тканей листьев и из кожуры клубня одного и того же растения, отобранного селекционером. В исследованиях по молекулярно-генетической паспортизации сортов картофеля, выведенных с участием селекционеров из ВНИИКСХ, был использован дополнительный, третий образец ДНК. Это связано с тем, что на опытном поле ВНИИКСХ селекционер, отбирая растительный материал от одного и того же растения, передавал его в два института: в ВИР – для оформления номенклатурного стандарта, и в ФИЦ Биотехнологии РАН – для изучения полиморфизма генов, определяющих содержание

крахмала. Благодаря согласованным планам трех институтов (ВИР, ВНИИКСХ, ФИЦ Биотехнологии РАН) разные исследовательские группы получали дополнительные независимо выделенные контрольные образцы ДНК. В единичных случаях (2,4%) были выявлены различия в SSR спектрах, генерированных на независимо выделенных образцах ДНК одного сорта. В таком случае оформление номенклатурного стандарта приостанавливалось до получения нового растительного материала от авторов сорта.

Из 84 образцов, поступивших в гербарную коллекцию ВИР непосредственно из селекционеров, где сорта создавались, к настоящему времени создано 66 номенклатурных стандартов и оформлено 11 ваучерных образцов. Для каждого из этих 77 образцов разработан генетический паспорт, в котором размещена информация об аллельном составе высокополиморфных микросателлитных локусов, о наличии/отсутствии диагностических фрагментов маркеров генов устойчивости к болезням и вредителям, а также данные о типах цитоплазм сортов (см. статьи: Klimenko et al., Fomina et al., a, см. в этом же выпуске; Rybakov et al., Fomina et al., b, см. в следующем выпуске). Генотипирование остальных образцов продолжается. Во всех случаях для паспортизации использованы образцы ДНК, выделенные из частей растения, переданных авторами сортов в Гербарий ВИР для оформления номенклатурных стандартов и ваучеров. При наличии уже опубликованных данных о ДНК маркерах у образцов сорта, такую информацию размещали в генетическом паспорте сорта только после подтверждения результата в повторном опыте с препаратами ДНК номенклатурных стандартов.

В рамках развиваемой стратегии, биотехнологические методы применяли для сохранения в живом виде образцов, переданных авторами сортов для создания номенклатурных стандартов. Такой подход был использован для введения в культуру *in vitro* сортов, выведенных в Ленинградском НИИКСХ «Белогорка», ТатНИИКСХ – ОСП ФИЦ КазНЦ РАН, и отдельных сортов селекции других институтов. Полученные *in vitro* растения включали в криоконсервацию (Efremova et al., в этом же номере).

В совместных работах с каждым селекционным

институтом имелись свои особенности. Так, параллельно с передачей в гербарную коллекцию побегов с соцветиями и клубней сортов собственной селекции, из двух институтов были переданы в ВИР образцы сортов в виде пробирочных растений: 28 – из Банка Здоровых Сортот Картофеля ВНИИКС и 5 – из СибНИИРС-филиала ИЦиГ СО РАН. Из этих *in vitro* растений также была выделена ДНК для проведения SSR анализа. При совпадении результатов генотипирования переданных *in vitro* образцов с SSR-профилем номенклатурного стандарта сорта, микрорастения включали в опыты по криоконсервации (Efremova et al., в этом же номере).

Информация о полиморфизме микросателлитных локусов, размещенная в генетических паспортах номенклатурных стандартов и гербарных ваучеров, позволила использовать их в качестве контролей для оценки подлинности и однородности образцов одного и того же сорта, полученных из различных источников: из выборок КПНИ_ЭГИ-2016, КПНИ_ЭГИ-2017, КПНИ_ЭГИ-2018 и КПНИ_ЭГИ-2019, а также из полевых и из *in vitro* коллекций разных институтов (Klimenko et al., Fomina et al., а, см. в этом же выпуске; Rybakov et al., Fomina et al., b, см. в следующем выпуске). Так, например, несовпадения в SSR-спектрах встречались у 7,5% проанализированных образцов выборки КПНИ_ЭГИ-2018. Таким образом, наличие генетического паспорта номенклатурного стандарта позволяет верифицировать подлинность ('trueness to type') образцов определенного сорта, полученных из различных источников (Klimenko et al., Fomina et al., а, см. в этом же выпуске; Rybakov et al., Fomina et al., b, см. в следующем выпуске).

Заключение

В последние годы в Гербарии ВИР формируются коллекции номенклатурных стандартов сортов различных культур. Предложенная нами новая стратегия регистрации в генбанке ВИР отечественных сортов, полученных от их авторов, включает использование комплекса ботанических, молекулярно-генетических и биотехнологических методов для создания номенклатурного стандарта сорта, разработки его генетического паспорта и сохранения переданного растительного материала в живом виде.

В настоящей статье обобщены первые результаты реализации этой стратегии, которые публикуются в этом и в следующем выпусках журнала, развивающие методические подходы к регистрации, документации и сохранению в коллекции ВИР отечественного сортового генофонда (Klimenko et al.; Fomina et al., а, см. в этом же выпуске; Antonova et al.; Rybakov et al.; Fomina et al., b, см. в следующем выпуске). Результатом этих работ является создание 66 номенклатурных стандартов современных российских сортов картофеля и оформление 11 ваучерных образцов, а также разработка их генетических паспортов. Оформление номенклатурных стандартов отечественных сортов картофеля и их молекулярно-генетическая паспортизация продолжаются, в том числе и с развитием сотрудничества

с новыми селекционными учреждениями.

Данные генетических паспортов номенклатурных стандартов были успешно использованы для верификации подлинности ('trueness to type') образцов одного и того же сорта, полученных из различных источников и выявления вариантов «засорения» коллекционных образцов (Klimenko et al.; Fomina et al., а, см. в этом же выпуске; Rybakov et al.; Fomina et al., b, см. в следующем выпуске). Генотипированные образцы сортов из *in vitro* коллекции ВИР, микросателлитные профили которых совпали с SSR-спектрами номенклатурных стандартов соответствующих сортов, участвуют в криоконсервации, после чего передаются на длительное хранение в криобанк ВИР (Efremova et al., в этом же выпуске).

Препараты ДНК, выделенные из растений номенклатурных стандартов, могут быть использованы и в системе госсортоиспытания для оценки генетической однородности и отличимости сорта (ООС). Номенклатурный стандарт сорта и образец ДНК, выделенный из него, может быть использован в качестве контроля для идентификации генетически модифицированных образцов этого сорта, полученных с применением индуцированного мутагенеза, ГМО технологий или современных методов геномного редактирования, что в перспективе актуально не только для селекционных и семеноводческих учреждений, но и для генбанков.

Информация, размещенная в генетическом паспорте, важна для идентификации сорта, анализа родословных, изучения генетического разнообразия, подбора пар для скрещиваний и планирования селекционных программ, а также для оценки защищенности и уязвимости отечественного сортового генофонда. Препараты ДНК, выделенные из растений номенклатурных стандартов, будут использоваться и в дальнейшем для получения дополнительной информации о генетическом потенциале сорта на основе расширения списка ДНК маркеров и применения новых генетических технологий.

Поскольку в длительной перспективе живые образцы из *ex situ* коллекций могут подвергаться генетической эрозии или могут быть утеряны из любых дублетных (полевых, *in vitro*, крио-) коллекций, то в долговременной перспективе номенклатурный стандарт и разработанный на его основе генетический паспорт могут быть использованы в качестве наиболее надежного растительного материала, документирующего сорт.

Благодарности/Acknowledgments

В статье представлены материалы, подготовленные при поддержке: в 2017-2018 гг. подпрограммы "Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации" (создание номенклатурных стандартов и разработка генетических паспортов сортов, полученных от селекционеров в 2018 году); в 2019-2020 гг. – при поддержке темы НИР № 0662-2019-0004, номер государственной регистрации (РК) АААА-А19-119013090158-8 (создание

номенклатурных стандартов сортов, полученных в 2019 году) и Госзадания № 0481-2019-0002 (генотипирование и молекулярный скрининг сортов, полученных от селекционеров в 2019 году).

Авторы высказывают глубокую благодарность селекционерам – авторам сортов, передавшим растительный материал в научный гербарий культурных растений ВИР (WIR) для создания номенклатурных стандартов и разработки генетических паспортов.

The paper presents the materials prepared with assistance provided in 2017-2018 within the framework of: the subprogram “Development of potato breeding and seed production in the Russian Federation” (preparing of the nomenclatural standards and genetic passports of the potato cultivars received from breeders in 2018); in 2019-2020 within the framework of the R&D Topic No. 0662-2019-0004, State Registration No. AAAA-A19-119013090158-8 (preparing of the nomenclatural standards of the potato cultivars received from breeders in 2019) and within the State Assignment No. 0481-2019-0002 (genotyping and molecular screening of the cultivar samples received in 2019).

The authors are deeply grateful to the breeders (the cultivar authors) for submitting plant material to the VIR scientific herbarium of cultivated plants (WIR) for the preparati of nomenclatural standards.

References / Литература

- Ames M., Spooner D.M. DNA from herbarium specimens settles a controversy about origins of the European potato. *American Journal of Botany*. 2008;95(2):252-257. DOI: 10.3732/ajb.95.2.252
- 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
- Bali S., Sathuvalli V., Brown C., Novy R., Ewing L., Debons J., Douches D., Coombs J., Navarre D., Whitworth J., Charlton B., Yilma S., Shock C., Stark J., Pavek M., Knowles N. R. Genetic fingerprinting of potato varieties from the Northwest potato variety development program. *American Journal of Potato Research*. 2017;94(1):54-63. DOI: 10.1007/s12230-016-9547-z
- Biniyam M.G., Githiri S.M., Tadesse M., Remmy W.K., Marc G., Eric M. Genetic diversity assessment of farmers and improved potato (*Solanum tuberosum*) cultivars from Eritrea using simple sequence repeat (SSR) markers. *Afr.J.Biotechnol.* 2016;15(35):1883-1891. DOI: 10.5897/ajb2016.15237
- Belozor N.I. Herbarization of cultivated plants: (Guidelines) (Gerbarizatsiya kulturnykh rastenii: (Metodicheskie ukazaniya)). Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Белозор Н.И. Гербаризация культурных растений: (методические указания). Ленинград: ВИР; 1989).
- Bieker V.C., Martin M.D. Implications and future prospects for evolutionary analyses of DNA in historical herbarium collections. *Botany Letters*. 2018;165(3-4):409-418. DOI: 10.1080/23818107.2018.1458651
- 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.
- Bukasov S.M., Kameraz A.Y.A., Lekhnovich V.S., Kornejchuk V.A., Kostina L.I. A comprehensive unified COMECON list of descriptors and the international COMECON list of descriptors for potato species of the *Tuberculosis* (Dun.) Buk. section of the genus *Solanum* L. (Shirokij unifikirovannyj klassifikator SEV i mezhdunarodnyj klassifikator SEV vidov kartofelya sekcii *Tuberculosis* (Dun.) Buk. roda *Solanum* L.). Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Букасов С.М., Камераз А.А., Лехнович В.С., Корнейчук В.А., Костина Л.И. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов картофеля секции *Tuberculosis* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L. Ленинград: ВИР; 1977).
- Côté M.J., Leduc L., Reid A. Evaluation of Simple Sequence Repeat (SSR) Markers Established in Europe as a Method for the Identification of Potato Varieties Grown in Canada. *American Journal of Potato Research*. 2013;90:340-350. DOI: 10.1007/s12230-013-9310-7
- FAO. Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture Rev. ed. Rome; 2014.
- 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;111:456-466. DOI: 10.1007/s00122-005-2028-2
- Fomina N.A., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Gavrilenko T.A. Herbarium collections in molecular genetic studies. *Turczaninowia*. 2019;22(4):104-118 [In Russian] (Фомина Н.А., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Гавриленко Т.А. Гербарные коллекции в молекулярно-генетических исследованиях. *Turczaninowia*. 2019;22(4):104-118) DOI: 10.14258/turczaninowia.22.4.12
- Gavrilenko T., Antonova O., Ovchinnikova A., Novikova L., Krylova E., Mironenko N., Pendinen G., Islamshina A., Shvachko N., Kiru S., Kostina L., Afanasev O., Spooner D. A microsatellite and morphological assessment of the Russian National Potato Collection. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2010;57:1151-1164. DOI: 10.1007/s10722-010-9554-8
- Gavrilenko T.A., Chukhina I.G., Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Novikova L.Yu. On the origin of Chilean cultivated potato (*Solanum* sect. *Petota* Dumort.). In: *Taxonomy and evolutionary morphology of plants: Materials of the Conference dedicated to 85 anniversary of Tikhomirov V.N. (2017 January 31 – February 3)*. Moscow; 2017. p.136-140. [In Russian]. (Гавриленко Т.А., Чухина И.Г., Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Новикова Л.Ю. О происхождении чилийского культурного картофеля (*Solanum* sect. *Petota* Dumort.). В кн.: *Систематика и эволюционная морфология растений: Материалы конференции, посвященной 85-летию со дня рождения Тихомирова В.Н. (31 января – 3 февраля 2017)*. Москва; 2017. С.136-140).
- Gavrilenko T.A., Dunaeva S.E., Truskinov E.V., Antonova O. Yu., Pendinen G.I., Lupysheva Yu.V., Rogovaya V.V., Shvachko N.A. The strategy of long-term conservation of the gene pool of vegetatively propagated agricultural plants under controlled environmental conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2007;164:273-283 [in Russian] (Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Трускинов Э.В., Антонова О.Ю., Пендинен Г.И., Лупышева Ю.В., Роговая В.В., Швачко Н.А. Стратегия долгосрочного сохранения генофонда вегетативно размножаемых сельскохозяйственных растений в контролируемых условиях среды. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2007;164:273-283).
- 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
- Ghislain M., Spooner D.M., Rodriguez F., Villamón F., Núñez J., Vázquez C., Waugh R., Bonierbale M. Selection of highly informative and user-friendly microsatellites (SSRs) for genotyping of cultivated potato. *Theoretical and Applied Genetics*. 2004;108(5):881-890. DOI: 10.1007/s00122-003-1494-7
- Dyachenko E.A., Kulakova A.V., Shchennikova A.V., Kochieva E.Z. Genome variability of Russian potato cultivars: AFLP-analysis data. *Agricultural Biology*. 2020;55(3):499-509. [in Russian]

- (Дьяченко Е.А., Кулакова А.В., Щенникова А.В., Кочисева Е.З. Вариабельность генома отечественных сортов картофеля: данные AFLP-анализа. *Сельскохозяйственная биология*. 2020;55(3):499-509). DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.499rus
- Hammer K. A paradigm shift in the discipline of plant genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2003;50:3-10. DOI: 10.1023/A:1022944910256
- Hawkes J.G. The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. London: Belhaven Press; 1990.
- Huaman Z., Williams J.T., Salhuana W., Vincent L. Descriptors for the cultivated potato and for the maintenance and distribution of germplasm collections. Rome, Italy: International Board for Plant Genetic Resources; 1977.
- 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
- Inglis P.W., Marilia de Castro R.P., Resende L.V., Grattapaglia D. Fast and inexpensive protocols for consistent extraction of high quality DNA and RNA from challenging plant and fungal samples for highthroughput SNP genotyping and sequencing applications. *PLoS ONE*. 2018;13(10):e0206085. DOI: 10.1371/journal.pone.0206085
- Juzepczuk S.W., Bukasov S.M. A contribution to the question of the origin of the potato. In: *Trudy Vsesoyuzn Szeda Genet Selek*. Vol. 3. Leningrad; 1929. p.593-611 [in Russian] (Юзепчук С.В., Букасов С.М. К вопросу о происхождении картофеля. В кн.: *Труды Всесоюзного съезда по генетике, селекции, семеноводству и племенному животноводству*. Т. 3. Ленинград, 1929; С.593-611).
- Karaagac E., Yilma S., Cuesta-Marcos A. et al. Molecular analysis of potatoes from the Pacific Northwest Tri-State Variety Development Program and selection of markers for practical DNA fingerprinting applications. *American Journal of Potato Research*. 2014; 91:195-20. DOI: 10.1007/s12230-013-9338-8
- Khiutti A.V., Rybakov D.A., Gavrilenko T.A., Afanasenko O.S. Resistance to causal agents of late blight and golden potato nematode of the modern cultivars of seed potatoes and their phytosanitary status in various agroclimatic zones of the European part of Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(4):363-375. DOI: 10.18699/VJ20.629 [in Russian] (Хютти А.В., Рыбаков Д.А., Гавриленко Т.А., Афанасенко О.С. Устойчивость к возбудителям фитофтороза и глободероза современного сорта семенного картофеля и его фитосанитарное состояние в различных агроклиматических зонах европейской части России. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;24(4):363-375). DOI: 10.18699/VJ20.629
- Kolobova O.S., Maluchenko O.P., Shalaeva T.V., Shanina E.P., Shilov I.A., Alekseev Ya.I., Velishaeva N.S. Multiplexed set of 10 microsatellite markers for identification of potato varieties. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(1):124-127. [in Russian] (Колобова О.С., Малюченко О.П., Шалаева Т.В., Шанина Е.П., Шилов И.А., Алексеев Я.И., Велишаева Н.С. Генетическая паспортизация картофеля на основе мультиплексного анализа 10 микросателлитных маркеров. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(1):124-127). DOI: 10.18699/VJ17.230
- Liao H., Guo H. Using SSR to evaluate the genetic diversity of potato cultivars from Yunnan province (SW CHINA) Hong Liao and Huachun Guo. *Acta Biologica Cracoviensis, Series Botanica*. 2014; 56:16-27. DOI: 10.2478/abcsb-2014-0003
- 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
- Niino T., Arizaga M.V. Cryopreservation for preservation of potato genetic resources. *Breeding Science*, 2015;65(1):41-52. DOI: 10.1270/jsbbs.65.41.
- RTG/0023/2 (from the 26.12.2005). DUS (distinctness, uniformity, stability) testing methodologies: Potato (*Solanum tuberosum* L.). State Commission of the Russian Federation for Selection Achievements Test and Protection [in Russian] (RTG/0023/2 (от 26.12.2005). Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность: Картофель (*Solanum tuberosum* L.). Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений). URL: <https://gossortrf.ru/metodiki-ispytaniy-na-oos/> [дата обращения: 09.11.2020].
- Salimi H., M. Bahar, A. Mirlohi, M. Talebi. Assessment of the genetic diversity among potato cultivars from different geographical areas using the genomic and EST microsatellites. *Iranian Journal of Biotechnology*. 2016;14(4):e1280. DOI: 10.15171/ijb.1280
- Sharma V., Nandineni M.R. Assessment of genetic diversity among Indian potato (*Solanum tuberosum* L.) collection using microsatellite and retrotransposon based marker systems. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2014;73:10-17. DOI: 10.1016/j.ympev.2014.01.003
- Shvachko N.A. Genetic diversity of potato varieties of VIR collection detected by SSR analysis (Geneticheskoe raznoobrazie selektsionnykh sortov kartofelya kollektzii VIR, vyvaylennoe SSR analizom) [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Швачко Н.А. Генетическое разнообразие селекционных сортов картофеля коллекции ВИР, выявленное SSR анализом: дис. ... кандидата биологических наук. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- Smekalova T.N., Bagmet L.V., Chukhina I.G. VIR (N.I. Vavilov Institute of Plant Industry) herbarium (WIR) and its role in decision of plant genetic resources mobilization, conservation and studying problems. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2012;169:180-192 [in Russian] (Смекалова Т.Н., Багмет Л.В., Чухина И.Г. Гербарий ВИР им. Н.И. Вавилова (WIR) и его роль в решении проблем мобилизации, сохранения и изучения генетических ресурсов растений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;169:180-192).
- Spooner D., van Treuren R., de Vicente M.C. Molecular Markers for Genebank Management. Bioversity International: Rome, Italy; 2005.
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage. 2020. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. 2020). URL: <https://gossortrf.ru/gosreestr/> [дата обращения: 13.10.2020].
- Tiwari J.K., Ali N., Devi S., Kumar V., Zinta R., Chakrabarti S.K. Development of microsatellite markers set for identification of Indian potato varieties. *Scientia Horticulturae*. 2018;231:22-30. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.11.027
- Turland N.J., Wiersema J.H., Barrie F.R., Greuter W., Hawksworth D.L., Herendeen P.S., Knapp S., Kusber W.-H., Li D.-Z., Marhold K., May T.W., McNeill J., Monro A.M., Prado J., Price M.J., Smith G.F. (eds.). International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code). Adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017. Regnum Vegetabile 159. Glashütten: Koeltz Botanical Books; 2018. DOI: 10.12705/Code.2018
- Vetelainen M., Gammelgard E., Valkonen J.P.T. Diversity of Nordic landrace potatoes (*Solanum tuberosum* L.) revealed by AFLPs and morphological characters. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2005;52:999-1010. DOI: 10.1007/s10722-003-6129-y
- Wang Y., Rashid M.A.R., Li X., Yao C., Lu L., Bai J., Li Y., Xu N., Yang Q., Zhang L., Bryan G.J., Sui Q., Pan Z. Collection and Evaluation of Genetic Diversity and Population Structure of Potato Landraces and Varieties in China. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:39. DOI: 10.3389/fpls.2019.00139