

Устойчивость к возбудителям фитофтороза и глободероза современного сортимента семенного картофеля и его фитосанитарное состояние в различных агроклиматических зонах европейской части России

А.В. Хютти^{1,3} ✉, Д.А. Рыбаков², Т.А. Гавриленко^{2,3}, О.С. Афанасенко^{1,3}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, г. Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

³ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

✉ e-mail: khiutti@mail.ru

Аннотация. Активная экспансия зарубежных сортов картофеля на территорию Российской Федерации привела к смене доминирующих видов патогенов этой культуры и появлению новых патотипов возбудителей вредоносных болезней. Целью работы была оценка устойчивости к возбудителям фитофтороза и глободероза современного сортимента картофеля и определение поражаемости возделываемых сортов картофеля грибными и оомицетными болезнями в различных агроклиматических зонах России. Проведена оценка устойчивости 41 сорта зарубежной селекции, разрешенного к использованию на территории РФ, к патотипу Ro1 *Globodera rostochiensis* и к изоляту VZR17 *Phytophthora infestans*, включающего гены вирулентности 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11. Устойчивыми к золотистой картофельной нематодой оказались 38 сортов. У 96.6 % изученных нематодоустойчивых сортов выявлен маркер гена *H1* устойчивости к патотипу Ro1 *G. rostochiensis*, восприимчивые сорта этим маркером не обладали. Абсолютной устойчивостью к возбудителю фитофтороза отличались сорта Alouette и Sarpo Mira (балл 9); высоким уровнем устойчивости (баллы 6 и 7) характеризовались сорта Evolution, Red Fantasy и Ricarda. Сорта Baltic Rose, Damaris, Desiree, Gala, Labella, Laperla, Mia, Sanibel, Zekura, Queen Anne, Red Lady и 7 for 7 были отнесены к восприимчивым, хотя в характеристиках оригинаторов указана средняя устойчивость к фитофторозу. Фитопатологическая экспертиза проведена для 92 образцов 39 сортов семенного картофеля из четырех федеральных округов РФ: Приволжского, Северо-Западного, Центрального и Северо-Кавказского. Наибольшее распространение на всех сортах получили ризоктониоз, сухая фузариозная гниль и серебристая парша. Стопроцентное поражение клубней серебристой паршой отмечено в различных регионах на сортах элитных репродукций Red Scarlett, Evolution, Labella, Colombo, Gala, Невский. Широко распространен антракноз картофеля; сильнее всего были поражены клубни элитной и второй репродукции сорта Red Scarlett – от 50.0 до 71.4 % в Центральном федеральном округе.

Ключевые слова: распространенность болезней картофеля; *Phytophthora infestans*; *Globodera rostochiensis*; серебристая парша; антракноз; сорта картофеля; устойчивость; ДНК-маркеры.

Для цитирования: Хютти А.В., Рыбаков Д.А., Гавриленко Т.А., Афанасенко О.С. Устойчивость к возбудителям фитофтороза и глободероза современного сортимента семенного картофеля и его фитосанитарное состояние в различных агроклиматических зонах европейской части России. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;24(4):363-375. DOI 10.18699/VJ20.629

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

A.V. Khiutti^{1,3} ✉, D.A. Rybakov², T.A. Gavrilenko^{2,3}, O.S. Afanasenko^{1,3}

¹ All-Russian Institute of Plant Protection, Pushkin, St. Petersburg, Russia

² Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

³ Institute of Cytology and Genetics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: khiutti@mail.ru

Abstract. The active expansion of foreign potato cultivars on the territory of the Russian Federation has led to a change in the dominant pathogen species and to the emergence of new pathotypes of causal agents of harmful potato diseases. The aim of the study was to evaluate resistance to *Phytophthora infestans* and *Globodera rostochiensis* of modern potato cultivars and determine the distribution of fungal and oomycetous diseases on potato cultivars in various

agroclimatic zones of Russia. The resistance of 41 foreign cultivars was evaluated to pathotype Ro1 *G. rostochiensis* and to isolate VZR17 *P. infestans* with virulence genes 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11. Resistant to *G. rostochiensis* were 38 cultivars. 57R marker of the H1 gene conferring resistance to the Ro1 pathotype of *G. rostochiensis* was detected in 96.6 % of the nematode resistant cultivars studied; susceptible varieties did not possess this marker. Absolute resistance to the causative agent of late blight was demonstrated by the cultivars Alouette and Sarpo Mira (score 9); high levels of resistance (score 6 and 7) were determined for the cultivars Evolution, Red Fantasy and Ricarda. The cultivars Baltic Rose, Damaris, Desiree, Gala, Labella, Laperla, Mia, Sanibel, Zekura, Queen Anne, Red Lady and '7 for 7' were classified as susceptible, although the characteristics of originators indicated average resistance to late blight. A phytopathological test was conducted on 92 samples of 39 varieties of seed potatoes from four federal districts of the Russian Federation: Volga, North-West, Central and North Caucasus. *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp. and *Helminthosporium solani* are most common on all varieties. 100 % defeat of tubers by *H. solani* was recorded in various regions on the cultivars Red Scarlett, Evolution, Labella, Colombo, Gala and Nevsky. Widespread *Colletotrichum coccodes* on tubers of the elite and 2nd reproductions of the potato cultivar Red Scarlett (50.0–71.4 %) was recorded in the Central District.

Key words: distribution of potato diseases; *Phytophthora infestans*; *Globodera rostochiensis*; potato cultivars; resistance to diseases; *Helminthosporium solani*; *Colletotrichum coccodes*; DNA markers.

For citation: 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. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(4):363-375. DOI 10.18699/VJ20.629 (in Russian)

Введение

В 2015 г. в Берлине, на Международном конгрессе по защите растений (IPPC 2015) были представлены данные о том, что на картофеле даже при применении химических средств защиты потери от болезней составляют 25–30 % (Oerke, 2006).

Российская Федерация является лидером по выращиванию зарубежных сортов картофеля: из 455 сортов, включенных в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» в 2019 г., 182 (40.0 %) – селекции стран дальнего зарубежья, 34 (7.5 %) – стран СНГ, и только 239 (52.5 %) сортов созданы российскими селекционерами (www.gossortrf.ru). Отметим также, что в большинстве картофелеводческих хозяйств представленность зарубежных сортов достигает 100 %.

Активная экспансия зарубежных сортов и несоблюдение регламента по их агротехнике привели к плачевному результату: на территории РФ распространились новые патотипы, относящиеся как к оомицетам и грибам, так и к вирусам, бактериям и нематодам (Еланский, 2015; Кузнецова и др., 2016). Кроме того, появляются новые патогены, например возбудители черной ножки и мокрой гнили *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense*, *P. carotovorum* subsp. *odoriferum*, *P. parmentieri*, новый для России вирус Р (PVP), возбудитель розового фитофтороза *Phytophthora erythroseptica* Pethybr. (Игнатов и др., 2019; Yanagisawa et al., 2019).

Наиболее вредоносными в России являются следующие оомицетные и грибные болезни картофеля: фитофтороз (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary), потери урожая от которого без применения химических средств защиты варьируют от 80 до 100 %; комплекс паршей картофеля, включающий ризоктониоз (*Rhizoctonia solani* Kühn), серебристую (*Helminthosporium solani* Durieu et Mont.), обыкновенную (*Streptomyces* spp.), бугорчатую (*Polyscytalum pustulans* (Owen & Wakef.) Ellis) и порошистую (*Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* Toml.) паршу, потери от которых достигают 30 %; а также антракноз (*Colletotrichum coccodes* (Wallr.) Hughes) – потери до 20–

30 %, сухая фузариозная гниль (грибы рода *Fusarium* spp.) и фомоз (*Phoma* spp.) – потери не менее 20 %, и объект как внутреннего, так и внешнего карантина – золотистая картофельная нематода (*Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Skarbilovich, 1959), вредоносность которой достигает 80–90 % (Winslow, Willis, 1972; Dillard, 1992; Johnson, Miliczky, 1993; Johnson, 1994; Tsror et al., 1999; Collins, 2000; Lees, Hilton, 2003; Judelson, Blanco, 2005; Haldar et al., 2006; Gudmestad et al., 2007; Haverkort et al., 2009; Tsror, 2010; Abbas et al., 2013).

Конкурентоспособность сортов картофеля определяется главным образом устойчивостью к наиболее вредоносным в зоне возделывания болезням. В связи с этим создание сортов картофеля, устойчивых к основным болезням, является приоритетным направлением селекции. Доля устойчивых к болезням сортов картофеля, зарегистрированных в Госреестре селекционных достижений, с каждым годом увеличивается. Наиболее существенные результаты получены при селекции картофеля на устойчивость к карантинным болезням. Все новые сорта, внесенные в Госреестр, отличаются устойчивостью к возбудителю рака картофеля, кроме четырех старых сортов (Волжанин, Ермак улучшенный, Лорх и Приобский), доля которых составляет 0.6 %. К настоящему времени 55.4 % сортов, включенных в Госреестр, устойчивы к золотистой картофельной нематоде (ЗКН) (www.gossortrf.ru). Зарегистрированные в Госреестре в 2019 г. 22 сорта картофеля охарактеризованы оригинаторами и Госсортокомиссией по устойчивости только к четырем возбудителям: раку (все устойчивы), золотистой картофельной нематоде (устойчивы 15 сортов) и морщинистой и полосчатой мозаике, возбудителем которых является PVY (устойчивы 8 сортов). Между тем ни отечественные, ни зарубежные сорта в Госреестре не охарактеризованы на устойчивость к таким вредоносным заболеваниям, как фитофтороз, ризоктониоз, обыкновенная и серебристая парша, антракноз, а также к другим вирусным болезням. Информацию по устойчивости некоторых новых отечественных сортов можно найти в издании «Сорта картофеля российской селекции» (2018).

На сайтах зарубежных селекционных фирм приводятся характеристики устойчивости к наиболее экономически значимым болезням, в частности к цистообразующим нематодам, вирусу картофеля Y (PVY) и к фитофторозу. Однако возможны расхождения в оценках, сделанных за рубежом и в условиях разных агроклиматических зон России. Связано это прежде всего с различным составом популяций патогенов и особенностями экологических условий. В этом плане большое значение имеет информация о генах устойчивости сортов, особенно тех, что обладают устойчивостью к различным патотипам и видам цистообразующих нематод, поскольку фитопатологические тесты длительны, трудоемки и не всегда возможны для карантинных объектов. В зарубежных селекционных центрах давно и успешно используются методы ДНК-маркирования для оценки генетической защищенности сортового генофонда. В последнее время такие данные появляются и для отечественных сортов. Так, сотрудниками ВИР проведен скрининг 225 отечественных сортов картофеля, 114 из которых входят в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» (Антонова и др., 2016; Клименко и др., 2017; Гавриленко и др., 2018). Наиболее эффективный маркер 57R гена *H1* выявлен лишь у 28 % изученных сортов (и у 26 %, входящих в Госреестр); эти сорта по данным госсортоиспытаний являются устойчивыми к патотипу Ro1 золотистой картофельной нематоды.

В связи с экономической значимостью особо опасных болезней, характеристика поражаемости современных сортов возбудителями этих болезней имеет важное значение для селекции и семеноводства, а также для выбора сортов для возделывания, особенно семенного картофеля, в эпидемиологически опасных зонах. Целью работы была оценка устойчивости к возбудителям фитофтороза и глободероза и определение поражаемости возделываемых сортов картофеля грибными и оомицетными болезнями в различных агроклиматических зонах России.

Материалы и методы

Растительный материал. Экспериментальной выборкой для изучения устойчивости к патогенам послужили 42 сорта зарубежной и 1 сорт (восприимчивый контроль) отечественной селекции. Для 21 сорта из выборки была проведена фитопатологическая экспертиза образцов семенного картофеля из различных регионов РФ.

Оценка на устойчивость к ЗКН. Оценка на устойчивость сеянцев картофеля к *G. rostochiensis* проводили по методике, рекомендованной Европейской и Средиземноморской организацией по защите растений, с небольшими модификациями (ОЕПР/ЕРРО, 2006). Исследуемые сорта высаживали в пластиковые горшки объемом 500 см³, наполовину наполненные почвой (по одному клубню в каждый горшок). В качестве инфекционного материала для инокуляции сортов использовали популяцию золотистой картофельной нематоды, отобранную в Ленинградской области из известного очага *G. rostochiensis* и типированную до патотипа Ro1 (Limantseva et al., 2014).

В каждый горшок вносили инокулом ЗКН из расчета 1500 яиц и личинок в 100 см³ почвы. Яйца и личинки получали методом раздавливания цист ЗКН в капле воды

на предметном стекле. После инокуляции клубней дополнительно досыпали почву до верха горшка. Горшки оставляли в контролируемых условиях при температуре 22 °С. В качестве восприимчивого контроля использовали сорт Невский, в качестве устойчивого контроля – сорт Red Scarlett. Сорта высаживали в десятикратной повторности и двукратной аналитической. Учет результатов заражения проводили через три месяца, что является достаточным промежутком времени для развития цист ЗКН. Экстракцию цист из почвы осуществляли методом флотации (Turner, 1998). Экстрагированные цисты переносили на покровные стекла в каплю воды, раздавливали и подсчитывали количество яиц и личинок в них.

Оценку результатов заражения проводили по шкале с подразделением образцов на группы: балл 9 (относительная восприимчивость <1 %) – Very high; балл 8 (1.1–3 %) – High/very high; балл 7 (3.1–5 %) – High; балл 6 (5.1–10 %) – Moderate/high; балл 5 (10.1–15 %) – Moderate; балл 4 (15.1–25 %) – Moderate/low; балл 3 (25.1–50 %) – Low; балл 2 (50.1–100 %) – Low/very low; балл 1 (>100 %) – Very low. К классу устойчивых (R) относили растения, тип реакции которых соответствовал 7–9 баллам, среднеустойчивых (RS) – 4–6 баллам, восприимчивых (S) – 1–3 баллам. Относительную восприимчивость определяли по формуле: количество яиц и личинок исследуемого образца делили на количество яиц и личинок эталонного восприимчивого сорта и умножали на 100 %.

Оценка на устойчивость к фитофторозу. Лабораторный скрининг сортов картофеля на устойчивость к фитофторозу проводили по стандартной методике (Brylińska, Śliwka, 2017). В качестве инфекционного материала использовали изолят VZR17, включающий все гены вирулентности 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.

Отделенные листья помещали в поддоны (45 × 35 см) на влажную фильтровальную бумагу, абаксиальной стороной вниз: по 3 листа каждого образца, по 3 листа восприимчивого сорта Bintje и по 3 листа устойчивого контроля сорта Sagro Mira, в двукратной биологической повторности. Для заражения использовали инокулом, выдержанный в течение 30 мин при температуре 10–12 °С для стимуляции выхода зооспор. Инфекционная нагрузка составляла 50000 спорангиев/мл. Инокулом наносили по одной капле по центру каждого листа между центральной и отходящей жилками. Объем капли составлял 30 мкл. Инокулированные листья выдерживали в течение 24 ч в темноте при температуре 16 °С. На протяжении всего эксперимента поддоны были закрыты стеклянными крышками для поддержания постоянной влажности (80–100 %). Через сутки после инокуляции листья переворачивали абаксиальной стороной вверх, после чего кюветы переносили в климатический бокс с температурой 16 °С, интенсивностью освещения 1600 лк и 16-часовым фотопериодом.

Учет результатов заражения проводили на 6-е сутки после инокуляции, по стандартной шкале с подразделением образцов на группы: балл 9 (0 % пораженной площади) – Very high; балл 8 (3 %) – High/very high; балл 7 (3.1–10 %) – High; балл 6 (10.1–25 %) – Moderate/high; балл 5 (25.1–75 %) – Moderate; балл 4 (75.1–90 %) – Moderate/

Table 1. DNA primers of the *H1* gene conferring resistance to *Globodera rostochiensis* (pathotypes Ro1, Ro4) used in molecular screening of potato varieties

Chromosome	Gene	Primer	T°m	Diagnostic amplicon size, bp	References
V	<i>H1</i>	57R	60	450	Schultz et al., 2012
		239E4left/AluI	52	120 + 230	Bakker et al., 2004

low; балл 3 (90.1–97 %) – Low; балл 2 (97.1–99 %) – Low/very low; балл 1 (100 %) – Very low. Растения с типом реакции, соответствующим баллам 7–9, относили к классу устойчивых (R), 4–6 – среднеустойчивых (RS), 1–4 – восприимчивых (S).

Молекулярный скрининг. ДНК выделяли из листьев тепличных растений методом модифицированной СТАВ-экстракции (Gavrilenko et al., 2013). Скрининг проводили на наличие маркеров гена *H1*, контролирующего устойчивость к патотипам Ro1 и Ro4 *G. rostochiensis* (Dalmu et al., 2012). Для маркеров гена *H1* показана различная эффективность в молекулярном скрининге. Высокий уровень специфичности демонстрировал SCAR-маркер 57R и низкую эффективность – CAPS-маркер этого гена, 239E4left/AluI (Антонова и др., 2016). В то же время в исследованиях зарубежных коллег сообщалось о высокой частоте встречаемости CAPS-маркера 239E4left/AluI гена *H1* у нематодоустойчивых зарубежных сортов. Поэтому в данной работе использовали оба эти маркера. Праймеры для работы подбирали по литературным источникам (табл. 1). Использовали SCAR-маркер 57R, интегрированный в ассоциированную с устойчивостью область ‘341 Kb’ локуса *H1*, и CAPS-маркер 239E4left/AluI, расположенный на расстоянии 2.1 cM от ассоциированного с устойчивостью локуса (Finkers-Tomczak et al., 2011).

ПЦР проводили в 20 мкл реакционной смеси состава: 40 нг тотальной ДНК, 1× реакционный буфер, 2.5 mM MgCl₂, 0.4 mM каждого из dNTP, по 0.25 мкМ прямого и обратного праймера и 1 ед. Таq-полимеразы («Диалат», Москва). Условия реакции соответствовали указанным в литературе.

В качестве положительных контролей для маркера 57R использовали сорта Живица, Сударыня и Sante, для которых наличие диагностического фрагмента было установлено нами ранее; контролем для маркера 239E4left/AluI служил сорт Sante (Антонова и др., 2016). Рестриктию осуществляли ферментом AluI («СибЭнзим»), используя протокол фирмы-изготовителя. Фрагменты ДНК разделяли электрофорезом в 2 % агарозных гелях с окрашиванием бромистым этидием и визуализацией в УФ-свете.

Фитопатологический анализ. Отбор клубневых проб и диагностику осуществляли в соответствии с методиками, приведенными в ГОСТ 33996-2016 «Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества» (2017), и международным стандартом по семенному картофелю UNECE S-1 (2018). Для каждого анализируемого образца отбиралось по 10 точечных проб, составлявших в совокупности не менее 250 клубней. Однако для образцов, датированных 2018 г., количество анализируемых клубней варьировало от 20 до 100 шт.

Экспериментальная выборка при фитопатологической экспертизе семенного картофеля состояла из 92 образцов 39 сортов из четырех федеральных округов РФ: 24 образца из Приволжского, 35 – из Северо-Западного, 8 – из Центрального, 9 – из Северо-Кавказского.

Диагностику оомицетных, грибных и бактериальных болезней выполняли, руководствуясь информацией, представленной в специализированных компендиумах (Compendium..., 1981, 2001; Diseases..., 2008), а также с использованием определителей UNECE (2014) и AHDB (2018).

Анализировали каждый клубень изучаемого образца. Клубни с нетипичной симптоматикой или малозаметными патологическими изменениями помещали во влажные камеры. Поверхность клубней предварительно дезинфицировали 70 % этиловым спиртом с последующей промывкой дистиллированной водой. При необходимости клубни разрезали на небольшие ломтики размером не менее 1 см. Инкубационный период составлял от 3 до 14 дней, в зависимости от возбудителя, при постоянной температуре 20 °C и 100 % влажности.

Выделение в чистую культуру возбудителей болезней осуществляли с использованием картофельной (картофель 200 г, агар-агар 20 г, H₂O 1000 мл) и ржаной (рожь 60 г, сахара 20 г, агар-агар 15 г, H₂O 1000 мл) сред.

Результаты

Устойчивость сортов картофеля к золотистой картофельной нематодe

Согласно полученным данным, из 41 сорта зарубежной селекции только три сорта (или 7.3 % от всех изученных) оказались восприимчивыми к ЗКН: Bintje, Desiree и Sarpo Mira; остальные проявили себя как устойчивые. Промежуточных групп устойчивости не было выявлено (табл. 2).

Среди 29 изученных нематодоустойчивых сортов частота встречаемости генотипов со SCAR-маркером 57R гена *H1*, определяющего устойчивость к патотипу Ro1 *G. rostochiensis*, очень высокая – 96.6 % (28 из 29 устойчивых сортов). Исключением является устойчивый (по данным фитопатологических тестов) сорт Red Fantasy, у которого не выявлены маркеры гена *H1* (рис. 1, см. табл. 2).

Коэффициент корреляции Пирсона между наличием маркера 57R и данными об устойчивости сортов к патотипу Ro1 составил +0.88 ($n = 33$, вместе с контролем – сорт Невский). Другой маркер гена *H1* – CAPS-маркер 239E4Left/AluI – обнаруживался гораздо реже. Этот маркер наряду с 57R был детектирован только у трех сортов (Armada, Estrella, Gala), все они проявляли устойчивость к ЗКН (см. табл. 2).

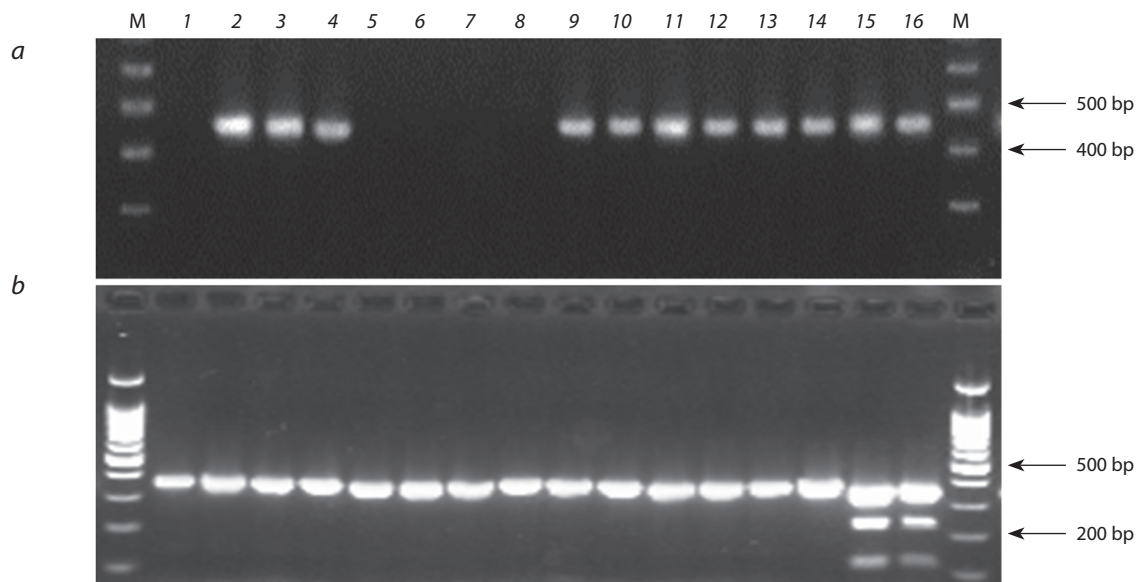


Fig. 1. Molecular screening of potato cultivars using DNA markers 57R (a) and 239E4left (b) for the *H1* gene.

Varieties: 1. Nevskiy, 2. Alouette, 3. Baltic Rose, 4. Nandina, 5. Sarpo Mira, 6. Bintje, 7. Desiree, 8. Red Fantasy, 9. Christel, 10. Madeira, 11. Ramos, 12. Queen Anne, 13. Delphine, 14. Labella, 15. Armada, 16. Estrella. M, molecular ladder 100 bp + 1.5 Kb (SibEnzyme, Russia).

Устойчивость сортов картофеля к возбудителю фитофтороза

Только два сорта зарубежной селекции оказались абсолютно устойчивыми к возбудителю фитофтороза картофеля: Alouette и Sarpo Mira (см. табл. 2). Остальные 39 сортов показали разный уровень устойчивости или восприимчивости. Из них можно отметить три сорта: Evolution, Red Fantasy и Ricarda, которые выделялись достаточно высоким уровнем устойчивости (средний балл 7.3, 6.8 и 6.4 соответственно).

Оценка фитосанитарного состояния семенного картофеля различных сортов в регионах РФ

Результаты фитопатологического анализа партий элитного и репродукционного семенного картофеля свидетельствуют, что во всех регионах на семенном картофеле выявлены: *Ph. infestans*, *R. solani*, *H. solani*, *Streptomyces* spp., *P. pustulans*, *C. coccodes*, *Fusarium* spp., *Phoma* spp. (табл. 3). Бугорчатая парша *P. pustulans* отмечена повсеместно, кроме Северо-Кавказского федерального округа. Порошистая парша *S. subterranea* f. sp. *subterranea* отмечена только в одном образце сорта Вектор в Приволжском федеральном округе.

Наибольшее распространение на всех сортах получили ризоктониоз и серебристая парша (рис. 2). Стопроцентное поражение клубней серебристой паршой отмечено в различных регионах на сортах Red Scarlett (СЭ, Э и PC1-2), Evolution (Э, PC1), Labella (Э), Colomba (Э), Gala (Э), Невский (Э). В Северо-Кавказском ФО серебристая парша была отмечена только на 6.0 % образцов сорта Невский (СЭ). Широкое распространение получил антракноз картофеля. Сильнее всего были поражены клубни сорта Red Scarlett (Э и PC2) – от 50 до 71.4 % в Центральном федеральном округе. Максимальное поражение фитофторозом отмечено на сорте Невский (Э) – 63.1 %.

Обсуждение

Одним из приоритетных направлений селекции является создание сортов, сочетающих в себе групповую устойчивость, в первую очередь к таким опасным заболеваниям, как фитофтороз, ризоктониоз, комплекс паршей, вирусные, бактериальные и нематодные болезни. В «Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию» на территории Российской Федерации (2019), данные по устойчивости сортов картофеля к комплексу заболеваний отсутствуют. Среди обязательных характеристик приведены показатели устойчивости к раку, золотистой картофельной нематоды и вирусу Y. Для некоторых сортов указана их устойчивость/восприимчивость к фитофторозу. Наши результаты свидетельствуют, что патогенный комплекс на современных сортах картофеля значительно шире и может быть определяющим для конкурентоспособности сорта на отечественном рынке сортов.

Для сортов зарубежной селекции на англоязычных интернет-ресурсах в полной мере отражены все сортовые особенности, включая устойчивость к основным заболеваниям по 9-балльной шкале. Стоит отметить, что для большинства сортов приведена информация по устойчивости к фитофторозу ботвы и клубней и к вирусу картофеля Y (PVY). Наличие остальной информации по устойчивости/восприимчивости к болезням варьирует в зависимости от семеноводческой компании и страны-производителя. Общеизвестно, что оценка сорта на устойчивость к заболеваниям проводится на территории страны-оригинатора к местным популяциям или расам патогенов, которые могут значительно отличаться от представленных в России. Например, при фитопатологическом анализе сорта Sifra, который по данным оригинатора высокоустойчив к фитофторозу по клубням (8 баллов, где 9 – абсолютная устойчивость) (см. табл. 3), количе-

Table 2. Characteristics of resistance of modern potato cultivars to *G. rostochiensis* and *Ph. infestans*

No.	Cultivar	Year of release	Country of origin, originator	Resistance (average score and group of resistance) – data of phytopathological analysis (this paper)	<i>G. rostochiensis</i> , <i>Ph. infestans</i> , pathotype Ro1 leaf resistance	57R	Markers for the H1 alleles conferring resistance to Ro1 and Ro4 pathotypes of <i>G. rostochiensis</i> (“+/-” – presence/absence of marker)	Resistance: data from originators	Resistance: data from originators
1	Alouette	2018	AGRICO, UK	9.0 R	9.0 R	+	-	R, Ro1-3	R R R
2	Armada	-		9.0 R	5.0 RS	+	+	R, Ro1,4	S RS
3	Bafana	2013	Netherlands, STET	9.0 R	3.0 S	No data	No data	R, Ro1	S S S
4	Baltic Rose	2019	Germany, Norika	9.0 R	3.0 S	+	-	R, Ro1	RS S S
5	Binje	-	Netherlands, -	1.0 S	1.0 S	-	-	S, -	S S S
6	Captiva	2018	Germany, Europlant	9.0 R	5.9 RS	No data	No data	R, Ro1-5	- - -
7	Christel	2017	Germany, Norika	9.0 R	2.4 S	+	-	R, Ro1,4	S-RS S-RS
8	Damaris	2014		9.0 R	1.4 S	+	-	R, Ro1-5	RS RS
9	Delphine	2011		9.0 R	3.4 S	+	-	R, Ro1,4	S S S
10	Desiree	-	Netherlands, STET/HZPC	1.0 S	1.0 S	-	-	S, -	RS R R
11	Estrella	2011	Germany, Norika	9.0 R	1.8 S	+	+	R, Ro1-5	S S S
12	Evolution	2015	Netherlands, AGRICO	9.0 R	7.3 R	+	-	R, Ro1,4	RS -
13	Fidelia	2014	Germany, Norika	9.0 R	2.0 S	+	-	R, Ro1,4	S-RS S
14	Gala	2008		9.0 R	2.3 S	+	+	R, Ro1,4	RS S S
15	Gioconda	2018	Netherlands, HZPC	9.0 R	4.1 RS	No data	No data	R, Ro1	RS RS
16	Impala	1995	Netherlands, AGRICO	9.0 R	4.1 RS	+	-	R, Ro1,4	RS S S
17	Inara	2013	Netherlands, Norika	9.0 R	1.9 S	+	-	R, Ro1	- - -
18	Juwel	-	Germany, Bavaria Saat	9.0 R	4.3 RS	+	-	R, Ro1,4	RS -
19	Labadia	2010	Netherlands, STET	9.0 R	2.0 S	+	-	R, Ro1	RS S S

20	Labella	2011	Germany, Solana	9.0	R	1.3	S	+	-	R, Ro1,4	RS	R
21	Laperla	2015		9.0	R	2.1	S	+	-	R, Ro1	RS	R
22	Madeira	2017	Germany, Europlant	9.0	R	1.8	S	+	-	R, Ro1,4	-	-
23	Manifest	2014	Republic of Belarus	9.0	R	1.0	S	+	-	R, -	-	-
24	Mia	2019	Germany, Norika	9.0	R	3.0	S	No data	No data	R, Ro1,4	RS	S
25	Nandina	2015	Germany, Europlant	9.0	R	4.1	RS	+	-	R, Ro1	-	-
26	Paroli	2019	Germany, Norika	9.0	R	4.0	RS	+	-	R, Ro1	RS	S
27	Prada	-	Germany, Solana	9.0	R	3.8	S	+	-	R, Ro1,4	RS	RS
28	Primabelle	-	Netherlands, HZPC	9.0	R	1.1	S	No data	No data	R, Ro1	RS	RS
29	Queen Anne	2015	Germany, Solana	9.0	R	1.6	S	+	-	R, Ro1,4	RS-R	R
30	Ramos	2006	Netherlands, STET	9.0	R	1.0	S	+	-	R, Ro1	S	R
31	Ranomi	2018	Netherlands, AGRICO	9.0	R	4.4	RS	No data	No data	R, Ro1,4	S	S
32	Red Fantasy	2011	Germany, Europlant	9.0	R	6.8	RS-R	-	-	R, Ro1,4	R	-
33	Red Lady	2008	Germany, Solana	9.0	R	2.5	S	+	-	R, Ro1	RS-R	R
34	Red Scarlett	2000	Netherlands, HZPC	9.0	R	2.3	S	+	-	R, Ro1	RS	RS
35	Ricarda	2019	Germany, Europlant	9.0	R	6.4	RS-R	No data	No data	R, Ro1,4	RS-R	R
36	Rosara	1996	Germany, Solana	9.0	R	5.8	RS	+	-	R, Ro1	RS	R
37	Sanibel	2019	Germany, Europlant	9.0	R	3.0	S	No data	No data	R, Ro1	RS-R	R
38	Sarpo Mira	-	Hungary, -	1.0	S	9.0	R	-	-	S	R	R
39	VR 808	2013	Netherlands, STET	9.0	R	3.1	S	No data	No data	R, Ro1	-	R
40	Zekura	1997	Germany, Solana	9.0	R	1.0	S	+	-	R, -	R	R
41	7 for 7	2017		9.0	R	2.3	S	+	-	R, Ro1,4	RS	R
42	Nevskiy (susceptible control)	1982	Russia, VSS company and others	1.0	S	2.1	S	-	-	S	RS	RS

Note: Categories of sustainability are based on the data provided on the Internet portals of originators, the State Register of Breeding Achievements (2019), and catalogs. Designations: R, resistant; RS, moderately resistant; S, susceptible; -, no data.

Table 3. Phytopathological analysis of seed potato from various regions of the Russian Federation

Year	Cultivar	Frequency of pathogen occurrence, %									Mechanical damage
		<i>R. solani</i>	<i>H. solani</i>	<i>Streptomyces</i> spp.	<i>C. coccodes</i>	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Phoma</i> spp.	<i>Ph. infestans</i>	<i>P. pustulans</i>	<i>S. subterranea</i> f. sp. <i>subterranea</i>	
Volga region											
2019	Colomba E	36.0	100.0	6.0	7.0	43.0	5.0	0.0	0.0	0.0	75.0
2019	Evolution E	0.0	100.0	18.0	30.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
2019	Gala E	70.4	96.7	8.1	32.7	57.3	1.6	0.0	0.0	0.0	27.8
		18.0	69.0	0.0	13.0	21.0	0.0	5.0	0.0	0.0	47.0
		0.0	20.0	5.7	5.7	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5
2018	Gala PC1	3.4	58.6	20.7	0.0	10.3	0.0	20.7	0.0	0.0	0.0
2019	Gala PC2	76.0	74.0	16.0	22.0	20.0	2.0	0.0	0.0	0.0	26.0
2019	Gala PC5	0.0	73.3	6.6	30.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3
2019	Granada E	0.0	100.0	20.0	15.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0
2018	Granada PC1	25.0	55.0	45.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	Juwel PC1	0.0	83.3	6.6	33.0	13.3	0.0	0.0	3.3	0.0	43.3
2019	Labella E	0.0	100.0	10.0	10.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0
2019	Madeira PC1	92.0	100.0	12.0	46.0	30.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	Nandina PC1	80.0	90.0	12.0	32.0	46.0	2.0	0.0	0.0	0.0	6.0
2019	Queen Anne PC	24.0	74.0	20.0	12.0	62.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.0
2019	Ramos E	33.0	100.0	8.0	29.0	15.0	2.0	0.0	0.0	0.0	59.0
2019	Rozara PC1	34.0	98.0	10.0	48.0	22.0	0.0	0.0	4.0	0.0	14.0
2018	Sifra E	15.0	55.0	90.0	0.0	10.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0
2019	Vineta E	0.0	50.0	50.0	40.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0
2019	Wega E	0.0	86.1	13.8	16.6	22.2	2.7	0.0	0.0	0.0	50.0
2019	Zekura PC1	94.0	100.0	12.0	50.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0
2018	Vector E	30.9	0.0	11.9	28.5	23.8	4.7	2.3	0.0	9.5	0.0
2018	Nevskiy E	57.8	15.7	5.2	0.0	10.5	0.0	63.1	0.0	0.0	0.0
2018	Nevskiy PC1	23.0	57.7	15.4	0.0	3.8	0.0	23.0	0.0	0.0	0.0
North-West region											
2018	Alouette E	14.0	66.0	3.0	32.0	38.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	Arrow SSE	1.5	9.5	4.0	1.5	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
2019	Asterix SE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018	Colomba PC2	23.0	15.3	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	Delphine PC1	0.0	100.0	60.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	Evolution PC1	0.0	100.0	80.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	Gala E	7.5	100.0	2.5	5.0	3.5	1.5	0.0	0.0	0.0	16.0
2019	Labadia E	7.0	61.0	59.0	20.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0
		0.0	30.4	11.6	3.5	6.4	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0
2018	Labella E	16.6	88.9	38.8	0.0	16.6	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0
2018	Mondeo E	50.0	50.0	66.6	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0
2018	Ramos E	0.0	71.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	Red Scarlett SSE	0.0	19.0	0.0	4.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
2019	Red Scarlett SE	0.0	45.5	0.5	10.0	8.5	1.0	3.5	0.0	0.0	1.0
		0.0	100.0	60.0	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

Table 3 (end)

Year	Cultivar	Frequency of pathogen occurrence, %									Mechanical damage
		<i>R. solani</i>	<i>H. solani</i>	<i>Streptomyces</i> spp.	<i>C. coccodes</i>	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Phoma</i> spp.	<i>Ph. infestans</i>	<i>P. pustulans</i>	<i>S. subterranea</i> f. sp. <i>subterranea</i>	
2019	Red Scarlett E	0.0	100.0	0.0	58.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018		31.5	63.1	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		50.0	50.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		64.7	58.8	0.0	23.5	47.0	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0
2019		2.5	100.0	2.0	4.5	4.0	0.5	0.0	0.0	0.0	10.0
		1.0	48.5	2.5	9.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
2018	Red Scarlett PC1	0.0	100.0	17.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	Romano E	25.0	31.0	28.0	18.0	4.5	1.5	0.0	0.0	0.0	13.5
2018	Wega E	45.4	27.2	9.1	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	Zekura SSE	0.0	29.5	3.0	5.5	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	5.0
2018	Briz E	10.5	5.2	5.2	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018	Evraziya E	55.0	25.5	5.0	19.0	2.5	0.0	0.0	1	0.0	0.5
2018	Zorachka E	0.0	100.0	20.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018	Lomonosovskiy E	78.0	43.0	16.0	8.0	10.0	0.0	54.0	0.0	0.0	0.0
2019	Nevskiy E	45.0	100.0	75.0	5.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	15.0
2018	Skarb E	37.5	0.0	12.5	0.0	25.0	0.0	37.5	0.0	0.0	0.0
2018	Sudarinya E	67.5	57.0	4.0	23.0	3.0	0.0	0.5	0.0	0.0	3.0
2019	Charodey E	45.0	100.0	100.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
2018		56.0	100.0	76.0	43.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	Charoit SSE	4.0	4.0	58.0	1.0	26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0
Central region											
2019	Evolution E	0.0	16.0	30.0	27.5	45.5	0.0	0.0	0.0	0.0	61.0
2018	Red Fantasy E	3.5	71.4	38.0	0.0	38.0	0.0	28.5	0.0	0.0	0.0
2018	Red Scarlett E	15.7	78.9	0.0	0.0	5.2	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2018	Red Scarlett PC2	71.4	100.0	0.0	71.4	28.5	0.0	0.0	14.2	0.0	0.0
		42.8	100.0	28.5	71.4	14.2	0.0	14.2	0.0	0.0	0.0
		50.0	83.3	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		50.0	33.3	0.0	66.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018	Rodrigo E	0.0	7.6	23.0	0.0	15.3	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0
North Caucasus region											
2018	Colomba SE	0.0	0.0	5.2	0.0	31.5	0.0	15.7	0.0	0.0	0.0
2018	Desiree E	20.6	31.0	18.9	0.0	32.7	3.4	18.9	0.0	0.0	0.0
2018	Gala SE	2.2	0.0	29.5	0.0	9.0	0.0	13.6	0.0	0.0	0.0
2019	Impala SE	0.0	100.0	0.0	40.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018	Labella SSE	3.5	0.0	92.8	0.0	57.1	3.5	25.0	0.0	0.0	0.0
2018	Queen Anne SE	6.3	0.0	48.9	0.0	23.4	2.1	6.3	0.0	0.0	0.0
2018	Ramona E	16.3	22.4	22.4	12.2	18.3	0.0	16.3	0.0	0.0	0.0
2018	Red Scarlett SSE	3.4	0.0	100.0	0.0	31.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0
2018	Nevskiy SE	9.0	6.0	100.0	0.0	9.0	0.0	12.1	0.0	0.0	0.0

Note: Elite seed potatoes: SSE – super-super elite, SE – super-elite, E – elite. Seed potato: PC1 – the first reproduction, PC2 – the second reproduction, etc.

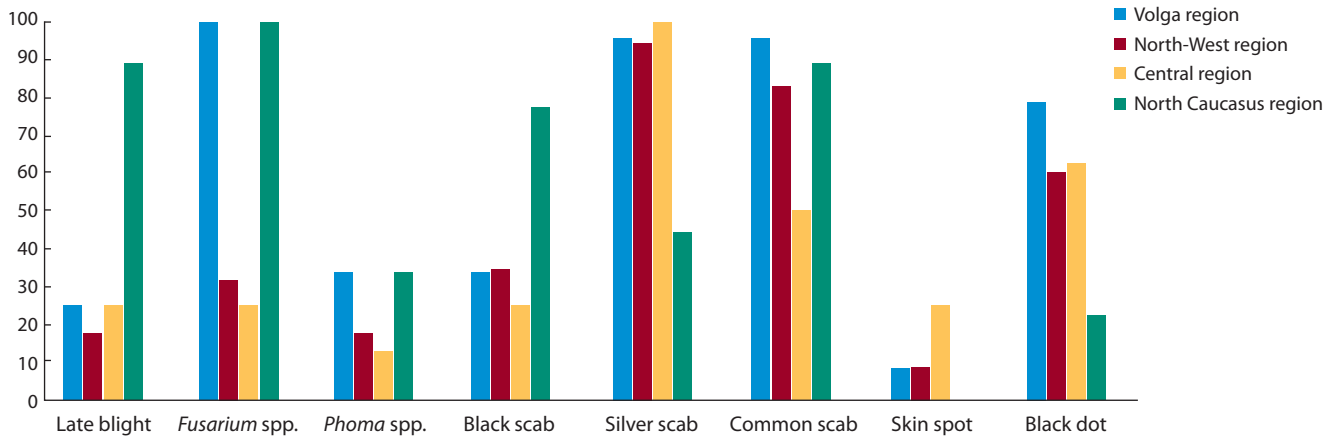


Fig. 2. The prevalence of fungal and oomycete diseases on seed potato in various agroclimatic zones of Russia (average for 92 samples).

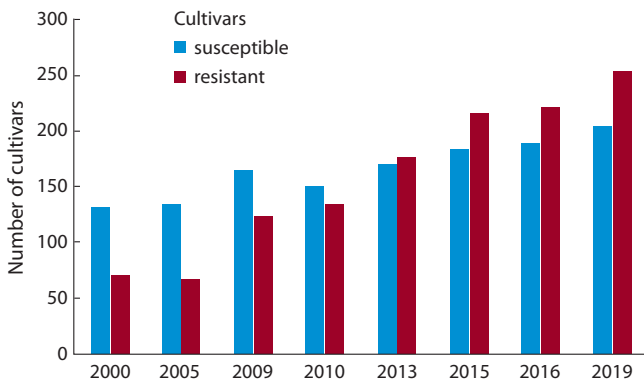


Fig. 3. The numbers of potato cultivars resistant and susceptible to *Globodera rostochiensis* (Ro1 patotype) released from 2000 to 2019.

ство пораженных клубней в Приволжском федеральном округе составило 15 %. У сорта Labella, который тоже высокоустойчив к фитофторозу по клубням, в Северо-Западном федеральном округе выявлено 5.5 % пораженных клубней, а в Северо-Кавказском – 25.0 %.

Такая же ситуация наблюдается и по вирусу картофеля Y. По данным оригинатора, сорт Alouette является иммунным к этому виду вируса, но нами было выявлено три пораженных клубня из четырех (Yanagisawa et al., 2019). Клубни высокоустойчивых к вирусу Y сортов Queen Anne, Rozara и Adretta, районированных в Дальневосточном федеральном округе, были поражены этим вирусом с частотой 1 из 22, 1 из 4 и 3 из 4 соответственно. Сорт Red Lady, по сведениям оригинатора, среднеустойчив к вирусу Y и высокоустойчив к штамму PVY^{NTN}, однако все 29 клубней (100 %) этого сорта были поражены штаммами PVY^{NTN}(A), PVY^{NTN}(B), PVY^{NW}(A), PVY^{NW}(B) (Yanagisawa et al., 2019).

Полученные данные по устойчивости сортов к ЗКН полностью коррелируют с информацией, приведенной фирмами-производителями и в Государственном реестре селекционных достижений (2019). Все изученные современные зарубежные сорта картофеля, кроме трех (Bintje, Desiree и Sarpo Mira, которые часто используются в ка-

честве контроля восприимчивости), являются полностью иммунными к патотипу Ro1 ЗКН. Остальные зарубежные сорта картофеля, включенные в Госреестр и разрешенные к выращиванию на территории РФ, также отличаются высокой устойчивостью к этому патотипу ЗКН.

По данным Госреестра селекционных достижений, 254 из 455 сортов картофеля устойчивы к ЗКН (рис. 3). Тенденция превалирования устойчивых сортов над восприимчивыми наблюдается начиная с 2013 г. Однако это связано с включением в Госреестр многочисленных иностранных сортов, которые высокоустойчивы не только к Ro1 патотипу ЗКН, но и к другим, включая групповую устойчивость к бледной картофельной нематоде (например, сорта Laperla и Prada, фирма-оригинатор Solana). Свыше половины (124 из 216, или 57.4 %) отечественных сортов селекции РФ и стран СНГ, включенных в Госреестр, к сожалению, по большей части являются восприимчивыми, несмотря на то что признак нематодоустойчивости считается одним из важнейших при создании новых сортов картофеля.

Устойчивость к ЗКН является моногенной и обусловлена наличием генов *H1* или *Gro1-4* устойчивости, локализованных на хромосомах V и VII соответственно. Нематодоустойчивые сорта, созданные селекционерами разных стран, чаще всего несут ген *H1* (Shultz et al., 2012). Подобная закономерность выявлена и для отечественных нематодоустойчивых сортов, 98 % которых обладали маркерами гена *H1* и только 2 % – маркерами гена *Gro1-4* (Клименко и др., 2017). Зарубежные сорта картофеля активно используются отечественными селекционерами в программах по выведению новых сортов; приведенная авторами (Клименко и др., 2017) информация об устойчивости зарубежных сортов, а также о наличии маркера 57R гена *H1* важна при подборе пар для скрещиваний и в программах по пирамидированию генов устойчивости, особенно к карантинным объектам.

Сорта Alouette и Sarpo Mira, по данным оригинаторов, являются иммунными к фитофторозу и в наших экспериментах подтвердили этот статус. Устойчивость сорта Alouette обусловлена наличием генов *Rpi-R3a*, *Rpi-R3b*, *Rpi-vnt1* (Armstrong et al., 2019), а у сорта Sarpo Mira детерминирована генами *R3a*, *R3b*, *R4*, *R8*, *Rpi-Smira1* и

Rpi-Smira2 (Rietman et al., 2012). Сорт Evolution считается среднеустойчивым (RS), однако в проведенном эксперименте был оценен как устойчивый (балл 7.3).

Сорта Baltic Rose, Damaris, Desiree, Gala, Labella, Laperla, Mia, Sanibel, Zekura и 7 for 7 отнесены нами к восприимчивым, хотя в характеристиках оригинаторов указывалась средняя устойчивость к фитофторозу. Восприимчивыми оказались и сорта Queen Anne и Red Lady, которые по данным оригинатора имеют устойчивость выше средней. При проведении фитопатологического анализа семенного картофеля пораженные фитофторозом клубни были обнаружены у сортов Desiree, Labella, Queen Anne и Red Fantasy, которые по данным оригинаторов считаются устойчивыми к клубневой форме фитофтороза.

По групповой устойчивости к обоим возбудителям, золотистой картофельной нематодой и фитофторозу, выделились четыре районированных зарубежных сорта: Alouette, Evolution, Red Fantasy, Ricarda.

Результаты наших исследований свидетельствуют, что распространенность болезней на картофеле варьировала в зависимости от сорта, репродукции семенного материала и зоны выращивания. Зональные различия по распространенности болезней на семенном картофеле отчетливо проявились только по Северо-Кавказскому ФО. В отличие от других регионов РФ, в Северо-Кавказском ФО отсутствовало поражение картофеля антракнозом и только в одном образце сорта Невский (СЭ) обнаружено поражение серебристой паршой.

Повсеместное сильное поражение клубней ризоктониозом выявлено во всех исследованных регионах. Максимальное распространение болезнь получила на сортах Gala (70.4 %), Red Scarlett (64.7 %), Невский (57.8 %), относящихся к категории «элита».

Серебристая парша отмечена в различных регионах на всех изученных сортах картофеля, кроме некоторых из Северо-Кавказского ФО. Вредоносность этого заболевания состоит в поражении глазков, в результате чего клубни теряют всхожесть или дают ослабленные побеги, а также в поражении корневой системы и столонов, вследствие чего образуются невыравненные по размеру клубни, часто уродливые. Пораженные клубни чаще подвергаются развитию вторичной инфекции – фитофтороза и грибов *Fusarium* spp.

Неожиданно сильное распространение получил антракноз картофеля. Сильнее всего были поражены клубни сорта Red Scarlett (Э и РС2) (50.0–71.4 %) в Центральном федеральном округе. Устойчивость к антракнозу никогда не входила в параметры хозяйственно ценных признаков сортов картофеля. Это заболевание отсутствует в актуальном ГОСТ 33996-2016, что отчасти и способствует его распространению. Сильное поражение вегетирующих растений картофеля антракнозом отмечено нами в Северо-Западном и Дальневосточном федеральных округах на сортах Labadia, Labella, Невский и др. Вредоносность болезни состоит в преждевременном отмирании ботвы и гниении клубней во время вегетации и хранения. При диагностике основным признаком является наличие склероциального уплотнения мицелия под кожурой клубня, с выходом на поверхность и образованием щетинок. Широкое распространение антракноза и серебристой парши

и очевидная их вредоносность стали новым вызовом для селекции картофеля.

Все проанализированные образцы были поражены комплексом грибов *Fusarium* spp. На сорте Gala их распространенность достигала 100 % в Приволжском ФО. Отчасти это связано с тем, что именно в этом округе зафиксировано наибольшее количество механически поврежденных клубней (от 2 до 75 % в зависимости от образца), что, по нашему мнению, способствовало такому сильному распространению сухой фузариозной гнили.

ГОСТ 33996-2016 устанавливает жесткие нормативные требования, предъявляемые к категориям картофеля по пораженности сухими гнилями, в частности фузариозом: 0.5 % для категорий элитного и 1.0 % для репродукционного семенного картофеля. Ни один проанализированный образец, вне зависимости от репродукции, не соответствовал предъявляемым требованиям, что свидетельствует о неудовлетворительном фитосанитарном состоянии семенного картофеля. Отсутствие поражения фузариозной инфекцией таких сортов, как Mondeo, Asterix, Delphine, Чародей, Зорачка, не может быть доказательством устойчивости к патогену, необходимо их дальнейшее изучение.

Возбудитель фитофтороза картофеля был выявлен во всех федеральных округах, причем наибольшее распространение на районированных сортах получил в Северо-Кавказском ФО (88.8 %). С 2018 г. фитофтороз картофеля отсутствует в регламенте контроля при проведении сертификации семенного материала по новому ГОСТ 33996-2016 (2017), поэтому в настоящее время отсутствуют допустимые критерии по пораженности клубней семенного картофеля. Однако, согласно ЭПВ (Алехин и др., 2016), не допускается присутствия пораженных клубней в семенном материале. Не выявлено корреляционной зависимости по поражению различных категорий сортов картофеля заболеваниями, скорее наоборот: именно элитный семенной картофель был поражен болезнями сильнее, чем репродукционный (см. табл. 3).

Наиболее представленными во всех федеральных округах оказались сорта картофеля, включенные в Госреестр (2019) много лет назад: Невский (год включения 1982), Red Scarlett (2000) и Gala (2008), менее представленными – сорта Evolution (2015), Colomba (2013) и Labella (2010). Все перечисленные сорта районированы в Северо-Западном ФО, остальные сорта присутствовали в трех регионах в разных соотношениях (см. табл. 3).

Закключение

Все зарубежные сорта картофеля, внесенные в Госреестр селекционных достижений, отличаются высокой устойчивостью к распространенному на территории Российской Федерации патотипу Ro1 *G. rostochiensis*. Часть из них генетически защищена и против других патотипов ЗКН. Это косвенно свидетельствует об эффективном использовании молекулярных маркеров генов устойчивости, так как фитопатологические тесты длительные и трудоемкие и могут быть проведены только в контролируемых условиях карантинных лабораторий. У 96.6 % изученных нематодоустойчивых сортов выявлен маркер гена *H1* устойчивости к патотипу Ro1 *G. rostochiensis*, восприимчивые сорта этим маркером не обладали. Подтверждена высоко-

кая устойчивость сортов зарубежной селекции Alouette и Sarpo Mira к возбудителю фитофтороза. Обнаружены расхождения в характеристике устойчивости сортов картофеля к фитофторозу, представленной зарубежными оригинаторами и полученной нами при оценке устойчивости и фитопатологической экспертизе семенного картофеля, возделываемого на территории РФ. Сорт Alouette компании Agrico, UK отличается групповой устойчивостью к ЗКН и фитофторозу.

Во всех регионах изучения на семенном картофеле выявлен комплекс оомицетных и грибных болезней, среди которых преобладали ризоктониоз, сухая фузариозная гниль и серебристая парша. Отмечено неожиданно широкое распространение антракноза картофеля. По-видимому, назрела необходимость определить наличие устойчивости к этим болезням как важный хозяйственно ценный признак и направить усилия фитопатологов и селекционеров на создание генетически охарактеризованного исходного материала для селекции на устойчивость. Большая часть районированных сортов не удовлетворяет даже минимальным требованиям, предъявляемым к семенному материалу. Практически весь семенной материал не соответствует требованиям ГОСТ и ЭПВ, что свидетельствует о нарушении технологии возделывания и защиты.

Список литературы / References

- Алехин В.Т., Михайликова В.В., Михина Н.Г. Экономические пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур. М.: Росинформагротех, 2016.
- [Alekhin V.T., Mikhaylikova V.V., Mikhina N.G. Economic Harmfulness Thresholds of Pests, Diseases, and Weeds in Crop Fields. Moscow: Rosinformagrotekh Publ., 2016. (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.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 its neighboring countries based on the polymorphism of SSR-loci and markers associated with resistance R-genes. *Russ. J. Genet.: Appl. Res.* 2017; 7(5):489-500. DOI 10.1134/S2079059717050021.]
- 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., Зотева Н.М., Мамadbokirova 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.
- [Gavrilenko T.A., Klimenko N.S., Antonova O.Yu., Lebedeva V.A., Evdokimova Z.Z., Gadjiyev N.M., Apalikova O.V., Alpatyeva 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. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(1):35-45. DOI 10.18699/VJ18.329. (in Russian)]
- ГОСТ 33996-2016. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. Межгосударственный стандарт картофель семенной. 2017.
- [State Standard 33996-2016. Seed Potatoes. Specifications and methods of determining the quality. 2017. (in Russian)]
- Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (официальное издание). М.: Росинформагротех, 2019.
- [The State Register of Selection Achievements Authorized for Use for Production Purposes. Vol. 1. Plant Varieties (official publication). Moscow: Rosinformagrotekh Publ., 2019. (in Russian)]
- Еланский С.Н. Особенности развития фитофтороза в России. *Защита картофеля*. 2015;1:8-11.
- [Elansky S.N. Features of the development of late blight in Russia. *Zashhita Kartofelya = Potato Protection*. 2015;1:8-11. (in Russian)]
- Игнатов А.Н., Панычева Ю.С., Воронина М.В., Васильев Д.М., Джалилов Ф.С.-У. Динамика видовой состава патогенов картофеля в европейской части РФ. *Картофель и овощи*. 2019;9:28-32. DOI 10.25630/PAV.2019.57.62.003.
- [Ignatov A.N., Panycheva Yu.S., Voronina M.V., Vasiliev D.M., Dzhaliylov F.S.-U. Dynamics of species composition of potato pathogens in the European part of the Russian Federation. *Kartofel i Ovoshchi = Potatoes and Vegetables*. 2019;9:28-32. DOI 10.25630/PAV.2019.57.62.003. (in Russian)]
- Клименко Н.С., Антонова О.Ю., Костина Л.И., Мамadbokirova Ф.Т., Гавриленко Т.А. Маркер-опосредованная селекция отечественных сортов картофеля с маркерами генов устойчивости к золотистой картофельной нематоды (патотип Ro1). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(4):66-75. DOI 10.30901/2227-8834-2017-4-66-75.
- [Klimenko N.S., Antonova O.Y., Kostina L.I., Mamadbokirova F.T., Gavrilenko T.A. Marker-associated selection of Russian potato varieties with using markers of resistance genes to the golden potato cyst nematode (pathotype Ro1). *Trudy po Prikladnoy Botanike, Genetike i Selektcii = Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding*. 2017;178(4):66-75. DOI 10.30901/2227-8834-2017-4-66-75. (in Russian)]
- Кузнецова М.А., Козловский Б.Е., Бекетова М.П., Соколова Е.А., Малюченко О.П., Алексеев Я.И., Рогозина Е.В., Хавкин Э.Е. Фитопатологическая и молекулярная характеристика изолятов *Phytophthora infestans*, собранных с устойчивых и восприимчивых генотипов картофеля. *Микология и фитопатология*. 2016;50(3):175-184.
- [Kuznetsova M.A., Kozlovsky B.E., Beketova M.P., Sokolova E.A., Malyuchenko O.P., Alekseev Y.I., Rogozina E.V., Khavkin E.E. Phytopathological and molecular characterization of *Phytophthora infestans* isolates collected on resistant and susceptible potato genotypes. *Mikologiya i Fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 2016;50(3):175-184. (in Russian)]
- Сорта картофеля российской селекции. Под ред. Е.А. Симакова. М., 2018.
- [Simakov E.A. (Ed.). Potato Varieties Bred in Russia. Moscow, 2018. (in Russian)]
- Abbas M.F., Naz F., Irshad G. Important fungal diseases of potato and their management – a brief review. *Mycopath.* 2013;11(1):45-50.
- AHDB. Agriculture and Horticulture Development Board. 2018. Available at: <https://potatoes.ahdb.org.uk/agronomy/plant-health-weed-pest-disease-management>
- Armstrong M.R., Vossen J., Lim T.Y., Hutten R.C.B., Xu J., Strachan S.M., Harrower B., Champouret N., Gilroy E.M., Hein I. Tracking disease resistance deployment in potato breeding by enrichment sequencing. *Plant Biotechnol. J.* 2019;17:540-549. DOI 10.1111/pbi.12997.
- Bakker E., Achenbach U., Bakker J., van Vliet J., Peleman J., Segers B., van der Heijden S., van der Linde P., Graveland R., Hutten R., van Eck H., Coppoolse E., van der Vossen E., Bakker J., Goverse A. A high-resolution map of the *H1* locus harbouring resistance to the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Theor. Appl. Genet.* 2004;109(1):146-152. DOI 10.1007/s00122-004-1606-z.
- Brylińska M., Śliwka J. Laboratory assessment of potato resistance to *Phytophthora infestans*. *Plant Breed. Seed Sci.* 2017;76:17-23. DOI 10.1515/plas-2017-00016.
- Collins W.W. The global initiative on late blight – alliance for the future. In: Khurana S.M.P., Shekhawat G.S., Singh B.P., Pandey S.K.

- (Eds.). Potato Global Research and Development. Indian Potato Association. CPRI, Shimla, India, 2000;1:513-524.
- Compendium of Potato Diseases. Hooker W.J. (Ed.). The Disease Compendia Series by the American Phytopathological Society. Publ. by the Am. Phytopathol. Soc., USA, 1981.
- Compendium of Potato Diseases, Second Edition. Stevenson W.R., Loria R., Franc G.D., Weingartner D.P. (Eds.). St. Paul, USA: Am. Phytopathol. Soc. Press, 2001.
- Dalamu, Bhardwaj V., Umamaheshwari R., Sharma R.P., Kaushik S.K., Joseph T.A., Singh B.P., Gebhardt C. Potato cyst nematode (PCN) resistance: genes, genotypes and markers – an update. *SABRAO J. Breed. Genet.* 2012;44(2):202-228.
- Dillard H.R. *Colletotrichum coccodes*: the pathogen and its hosts. In: Bailey J.A., Jeger M.J. (Eds.). *Colletotrichum: Biology, Pathology and Control*. CAB International, Oxford, 1992;225-236.
- Diseases, Pests and Disorders of Potatoes: A Color Handbook. Wale S.J., Platt H.W., Cattlin N.D. Elsevier, 2008.
- Finkers-Tomczak A., Bakker E., Boer J., Vossen E., Achenbach U., Golas T., Suryaningrat S., Smant G., Bakker J., Govers A. Comparative sequence analysis of the potato cyst nematode resistance locus *H1* reveals a major lack of co-linearity between three haplotypes in potato (*Solanum tuberosum* ssp.). *Theor. Appl. Genet.* 2011;122: 595-608. DOI 10.1007/s00122-010-1472-9.
- 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. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2013;60(7):1997-2015. DOI 10.1007/s10722-013-9968-1.
- Gudmestad N.C., Taylor R.J., Pasche J.S. Management of soilborne diseases of potato. *Australas. Plant Pathol.* 2007;36:109-115.
- Haldar K., Kamoun S., Hiller N.L., Bhattacharje S., van Ooij C. Common infection strategies of pathogenic eukaryotes. *Nat. Rev. Microbiol.* 2006;4:922-931.
- Haverkort A.J., Struik P.C., Visser R.G.F., Jacobsen E. Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. *Potato Res.* 2009;52:249-264. DOI 10.1007/s11540-009-9136-3.
- Johnson D.A. Effect of foliar infection caused by *Colletotrichum coccodes* on yield of Russet Burbank potato. *Plant Dis.* 1994;78(11): 1075-1078.
- Johnson D.A., Miliczky E.R. Effects of wounding and wetting duration on infection of potato foliage by *Colletotrichum coccodes*. *Plant Dis.* 1993;77:13-17.
- Judelson H.S., Blanco F.A. The spores of *Phytophthora*: weapons of the plant destroyer. *Nat. Rev. Microbiol.* 2005;3:47-57.
- Lees A.K., Hilton A.J. Black dot (*Colletotrichum coccodes*): an increasingly important disease of potato. *Plant Pathol.* 2003;52:3-12.
- Limantseva L., Mironenko N., Shuvalov O., Antonova O., Khiutti A., Novikova L., Afanasenko O., Spooner D., Gavrilenko T. Characterization of resistance to *Globodera rostochiensis* pathotype Ro1 in cultivated and wild potato species accessions from the Vavilov Institute of Plant Industry. *Plant Breed.* 2014;133(5):660-665.
- OEPP/EPPO. Testing of potato varieties to assess resistance to *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *OEPP/EPPO Bull.* 2006; 36:419-420.
- Oerke E.-C. Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* 2006;144:31-43. Available at: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/crop-losses-to-pests/AD61661AD6D503577B3E73F2787FE7B2>
- Rietman H., Bijsterbosch G., Cano L.M., Lee H.-R., Vossen J.H., Jacobsen E., Visser R.G.F., Kamoun S., Vleeshouwers V.G.A.A. Qualitative and quantitative late blight resistance in the potato cultivar Sarpo Mira is determined by the perception of five distinct RXLR effectors. *MPMI.* 2012;25(970):910-919. DOI 10.1094/MPMI-01-12-0010-R.
- 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 Breed.* 2012; 131:315-321. DOI 10.1111/j.1439-0523.2012.01949.x.
- Tsrör L. Biology, epidemiology and management of *Rhizoctonia solani* on potato. *J. Phytopathol.* 2010;158:649-658. DOI 10.1111/j.1439-0434.2010.01671.x.
- Tsrör L., Erlich O., Hazanovsky M. Effect of *Colletotrichum coccodes* on potato yield, tuber quality and stem colonization during spring and autumn. *Plant Dis.* 1999;83(6):561-565.
- Turner S.J. Sample preparation, soil extraction and laboratory facilities for the detection of potato cyst nematodes. In: Marks R.J., Brodie B.B. (Eds.). *Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution and Control*. CAB International, Wallingford, 1998;75-90.
- UNECE Standard S-1 concerning the marketing and commercial quality control of seed potatoes: UNECE Guide to Seed Potato Diseases, Pests and Defects. United Nations, New York; Geneva, 2014.
- UNECE Standard S-1 concerning the marketing and commercial quality control of seed potatoes. United Nations, New York; Geneva, 2018.
- Winslow R.D., Willis R.J. Nematode diseases of potatoes. II. Potato cyst nematode, *Heterodera rostochiensis*. In: Webster J. (Ed.). *Economic Nematology*. N.Y.: Acad. Press, 1972;18-34.
- Yanagisawa H., Yosuke M., Khiutti A., Mironenko N., Yasuo O., Afanasenko O. Complete genome sequence of a divergent strain of potato virus P isolated from *Solanum tuberosum* in Russia. *Arch. Virol.* 2019;164:2891-2894. DOI 10.1007/s00705-019-04397-5.

ORCID ID

T.A. Gavrilenko orcid.org/0000-0002-2605-6569

Acknowledgements. This work was supported by the Russian Science Foundation, project 16-16-04073. The authors are grateful to the staff of the Avgust Company, Head of the Department of Product Development D.A. Belov, manager for key clients A.P. Osoblivyy, and the Executive Manager of the Ustyuzhenskiy Kartoffel Association A.A. Kuznetsov.

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

Received December 6, 2019. Revised December 24, 2019. Accepted December 24, 2019.