

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-2-20-29>
УДК: 635.21:631.52(571.13)

М.Е. Мухордова*, А.И. Черемисин,
С.В. Согуляк, М.В. Урман

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский Аграрный Научный Центр»
644012, Россия, г. Омск, Пр-т Королева, 28

*Автор для переписки: mukhordova@anc55.ru

Вклад авторов: Мухордова М. Е.: Описание молекулярной части рукописи, её обсуждение и редактирование. Черемисин А. И.: описание части рукописи с полевыми исследованиями Согуляк С.В.: проведение полевых исследований. Урман М.В.: проведение молекулярно-генетического исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мухордова М.Е., Черемисин А.И., Согуляк С.В., Урман М.В. Комплексный подход к анализу перспективного селекционного материала картофеля в условиях Омской области. *Овощи России*. 2025;(2):20-29.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-2-20-29>

Поступила в редакцию: 20.11.2024

Принята к печати: 31.01.2025

Опубликована: 15.04.2025

Maria E. Mukhordova*, Aleksandr I. Cheremisin,
Sergei V. Sogulyak, Maksim V. Urman

Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agrarian Scientific Center"
28, Koroleva avenue, Omsk, Russia, 644012

*Correspondence: mukhordova@anc55.ru

Authors' contribution: Mukhordova M.E.: Description of the molecular part of the manuscript, its discussion and editing. Cheremisin A.I.: description of the part of the manuscript with field studies. Sogulyak S.V.: conducting field studies. Urman M.V.: conducting molecular genetic research.

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

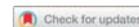
For citation: Mukhordova M.E., Cheremisin A.I., Sogulyak S.V., Urman M.V. An integrated approach to the analysis of promising potato breeding material in the conditions of the Omsk region. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(2):20-29. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-2-20-29>

Received: 20.11.2024

Accepted for publication: 31.01.2025

Published: 15.04.2025

Комплексный подход к анализу перспективного селекционного материала картофеля в условиях Омской области



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Комплексные методы полевых анализов и ПЦР-диагностики у сортообразцов картофеля позволяют оценить генотипы, подходящие для селекции в зоне Западной Сибири. В работе представлены результаты изучения, которые выполнены в ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» в 2021-2023 годах. Цель исследования – провести интегральную оценку с помощью лабораторной и полевой диагностики для выявления сортообразцов картофеля с комплексом хозяйственно-полезных признаков.

Материал и методика. В опытах изучалась коллекция из 23 образцов картофеля. Технология выращивания – принятая для зоны. Предшественник – яровая пшеница. Наблюдения и учётывались в соответствии с «Методические рекомендации ВНИИКХ», «Методические рекомендации по специализированной оценке сортов картофеля» и «Передовые методы диагностики патогенов картофеля». Статистическая обработка данных проводилась по методике Б.А. Доспехова. Определение содержания крахмала проводили по удельному весу в комбинации с молекулярной диагностикой, включающей маркер гена содержания крахмала, также проводилась полимеразная цепная реакция с помощью SSR маркеров, определяющих устойчивость к вирусам X, Y, S, L и фитофторозу.

Результаты. В результате сочетания подходов были выделены образцы с комплексом признаков, а именно, Хозяюшка – урожайность – 24,3 т/га, комплекс генов устойчивости к вирусам X/L/S, содержание крахмала – 18,6%, отсутствие водянистости, мучнистости и высокий вкус. Вечерний Омск – урожайность – 24,7 т/га, наличие генов устойчивости к фитофторозу. Спектр – урожайность – 24,4 т/га, комплекс генов устойчивости к вирусам X/L/S, содержание крахмала – 17,3%. Гибрид 52-17 - урожайность – 23,6 т/га, наличие генов устойчивости к фитофторозу, комплекс генов устойчивости к вирусам Y/L/S. Гала - урожайность – 25,3 т/га, наличие генов устойчивости к фитофторозу, отсутствие потемнения вареной мякоти.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

картофель, патогены, вирусы, ПЦР-диагностика, устойчивость, товарность, селекция

An integrated approach to the analysis of promising potato breeding material in the conditions of the Omsk region

ABSTRACT

Relevance. Integrated methods of field analysis and PCR diagnostics of potato varieties allow us to evaluate genotypes suitable for breeding in the Western Siberia zone. The paper presents the results of the study carried out at the Omsk Agrarian Scientific Center in 2021-2023. The purpose of the study is to conduct an integrated assessment using laboratory and field diagnostics to identify potato varieties with a set of economically useful traits.

Material and Methods. A collection of 23 potato samples was studied in the experiments. The cultivation technology is adopted for the zone. The predecessor is spring wheat. Observations and records were carried out in accordance with the "Methodological recommendations of the All-Russian Research Institute of Potato Growing", "Guidelines for specialized assessment of potato varieties" and the "Modern methods of pathogen diagnostics.". Statistical data processing was carried out according to the method of B.A. Dospikhov. Determination of starch content was carried out by specific gravity in combination with molecular diagnostics, including a primer for determining the starch content gene, and a polymerase chain reaction was also carried out using SSR markers that determine resistance to viruses X, Y, S, L and late blight.

Results. As a result of the combination of approaches, samples with a complex of features were isolated, namely, Khozayushka – yield – 24.3 t / ha, a complex of genes for resistance to viruses X / L / S, starch content – 18.6%, no wateriness, flouriness and high taste. Vecherniy Omsk – yield – 24.7 t/ha, presence of genes for resistance to late blight. Spectr – yield – 24.4 t/ha, complex of genes for resistance to X/L/S viruses, starch content – 17.3%. Sample 52-17 – yield – 23.6 t/ha, presence of genes for resistance to late blight, complex of genes for resistance to Y/L/S viruses. Gala – yield – 25.3 t/ha, presence of genes for resistance to late blight, no darkening of cooked pulp.

KEYWORDS:

potatoes, pathogens, viruses, PCR diagnostics, stability, marketability, breeding

Введение

Картофель в России – одна из основных продовольственных культур, среднегодовой объем потребления которой составляет 13-14 млн тонн, в переработанном виде – 1 млн. Среднее потребление картофеля на душу населения в Российской Федерации – 112 кг в год [1, 2].

Сорта отечественной селекции составляют основу ресурсов картофелеводства России, а также подход к их использованию в отрасли. Многие отечественные сорта картофеля выгодно отличаются от зарубежных аналогов. В селекционных программах предпринимается попытка приблизить характеристики сорта картофеля к идеалу. Современная модель сорта включает от 40 до 50 различных признаков, но основными являются уровень их адаптивности к условиям выращивания, устойчивости к болезням и показатели, определяющие вкусовые качества клубней. В то же время для каждого региона может быть задана своя модель сорта – в зависимости от почвенно-климатических условий региона [3].

Среди органических веществ клубней картофеля крахмал занимает ведущую роль. Он составляет 70-80% сухой массы клубня, или 95-99% всего количества накапливаемых картофелем углеводов. У ранних, среднеранних и среднеспелых сортов интенсивное накопление крахмала наблюдается через 70-80 дней после посадки, у поздних – через 90-100. Обычно максимум накопления крахмала наступает раньше, чем заканчивается период их вегетации. Содержание крахмала в клубнях повышается с момента их образования до отмирания листьев. В это время достигается максимальное накопление крахмала. Его содержание у сортов с коротким периодом вегетации, которые были оставлены до полного отмирания ботвы, остается на одном уровне или несколько понижается. Это обусловлено притоком в клубни ассимилятов в более разбавленном виде за счет снижения процесса фотосинтеза. У более поздних сортов, не успевающих полностью закончить вегетацию, это явление практически не наблюдается [4].

Однако качество картофеля на продовольственные цели и на переработку остается не вполне удовлетворительным. Среди причин – организационные и финансовые упущения; использование высокоурожайных, но с низкой крахмалистостью сортов; грубые нарушения в использовании органических и минеральных удобрений; недостаточные объемы применения микроэлементов, засухи [5,6].

Помимо создания клубней с улучшенными пищевыми качествами считается, что к накапливает их в клубнях, передавая в последующие поколения, что может вызвать снижение урожайности на 80% в зависимости от штамма, условий возделывания и сортовых особенностей. Наиболее пагубный эффект оказывает Y вирус картофеля (PVY), так как по вредоносности и распространению поражения, может привести к полному вырождению растений, особенно в комплексе с X (PVX), M (PVM), L (PLRV) и S (PVS) вирусами. Встречаемость носителей генов Y с приоритетным направлениям селекции относится создание высокоустойчивых сортов к заболеваниям. Картофель поражают около 40 видов вирусов, относящихся к 13 семействам [7]. Опасность

вирусных патогенов в том, что картофель – вегетативно размножаемая культура, и не устойчивость к этим вирусам невелика, что свидетельствует о высокой ценности селекционного материала, несущего эти гены [8].

Не менее важным, помимо поиска вышеупомянутых генов к вирусам, является идентификация генов устойчивости к фитофторозу, возбудителем которого является *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, т.к. из всех патогенов он имеет наиболее широкое распространение на территории России и в годы, когда развитие фитофтороза носило эпифитотийный характер потери урожая достигали 60% [9].

ПЦР-маркирование позволяет отобрать более подходящие генотипы для селекции в зоне Западной Сибири. Таким образом, выявление генов устойчивости к патогенам позволяет упростить отбор ценных образцов и значительно увеличить выборку исследуемого материала при отборе генотипов с комплексом олигогенов, что существенно сокращает время создания новых сортов картофеля [10, 11].

Цель работы – определить наличие генов содержания крахмала, генов ответственных за устойчивость к фитопатогенам (вирусам X, Y, S, L; фитофторозу) в сортообразцах картофеля методом ПЦР-анализа; выделить перспективный материал для дальнейшего использования в селекционном процессе.

Материалы и методы

Материалом для исследования служили 23 сортообразца картофеля, представленных в таблице 1.

Методика изучения сортообразцов картофеля в полевых условиях

Полевые испытания проводили на опытном участке ФГБНУ «Омский АНЦ». Предшественник – яровая пшеница. Технология выращивания картофеля – принятая для зоны: Зяблевая вспашка, ранневесеннее боронование и предпосадочная обработка фрезерным культиватором. Посадку производили 4-х рядной клоновой сажалкой, площадь питания растений 75 x 28 см во всех питомниках кроме первого клубневого поколения, где для проведения индивидуального отбора клонов применялась схема посадки 75 x 102 см с посадкой маркерного растения обладающего интенсивной антоциановой окраской ботвы, кожуры и мякоти клубней. После посадки проведено гребнеобразование. Для борьбы с сорняками использовалась трехкратная обработка гербицидами: «Хилер», 1 л/га, «Лазурит» 0,8 кг/га, «Кассиус» 0,05 л/га. Против колорадского жука было проведена двухкратная обработка инсектицидами «Кинфос» 0,15 л/га, «Децис Профи» 0,12 кг/га. Для профилактики грибных болезней применялись фунгициды «Ширлан» 1 л/га, «Консенто» 1 л/га. За 10 дней до скашивания ботвы применена обработка препаратом «Реглон» в дозе 2 л/га. Уборка питомника конкурсного сортоиспытания (КСИ) проводилась механизировано двухрядной копалкой, все остальные питомники – однорядным копалелем, с последующим ручным подбором.

Опыты проводили на лугово-черноземной среднемогучей среднегумусной тяжелосуглинистой почве на участке в условиях орошения, реакция среды нейтральная, содержание гумуса 6,0-6,5% (по Тюрину), обеспеченность подвижным фосфором – средняя (менее 200

Таблица 1. Исходный материал
Table 1. Source material

№ п/п	Место происхождения	Сорт/Сортообразец	Родословная
1	Россия, Омск	Кумир	Санте х Роко
2	Россия, Омск	Спектр	Лакроид х Билдстар
3	Россия, Омск	Алена	(Седов х Камераз) х Зарево
4	Россия, Омск	Былина Сибири	Невский х Зарево
5	Россия, Омск	Хозяюшка	Санте х Зарево
6	Россия, Омск	Лазарь	Ласунак х Зарево
7	Россия, Омск	Вечерний Омск	Невский х Гранат
8	Россия, Омск	Держава	Розара х Любава
9	Россия, Омск	Гибрид 49-18	-
10	Россия, Омск	Гибрид 86-18	-
11	Россия, Омск	Гибрид 58-16	-
12	Россия, Омск	Гибрид 56-16	-
13	Россия, Омск	Гибрид 52-17	-
14	Россия, Омск	Гибрид 63-14	-
15	Россия, Омск; Казахстан	Алая заря	Адретта х Зарево
16	Россия, Омск; Москва	Триумф	Невский х Гранат
17	Россия, Москва	Жуковский Ранний	Ягодка х Гидра
18	Россия, Томск	Идеал	Нарымский ранний х Петровский
19	Россия, Томск	Антонина	Эльвира х Зарево
20	Великобритания	Розара (Rosara)	SECURA х ESH 2605/77
21	Нидерланды	Ред Скарлетт (Red Scarlett)	ZPC 80-239 х IMPALA
22	Германия	Гала (Gala)	2.6 720-86 х LEYLA
23	Германия	Адретта (Adretta)	LU. 59.884/3 х AXILIA

мг/кг), обменным калием – высокая (150-200 мг/кг) по Чирикову. Дата посадки – 17-22 мая. Перед посадкой картофеля содержание нитратного азота в слое почвы 0-20 см по Грандваль-Ляжу составляло 30 мг/кг, подвижного фосфора – 147 мг/кг. Перед фрезерованием вносилась аммиачная селитра – 120 кг/га в физическом весе.

Все наблюдения и учёты проводились в соответствии с «Методические рекомендации ВНИИКХ», «Методические рекомендации по специализированной оценке сортов картофеля» и «Передовые методы диагностики патогенов картофеля». Статистическая обработка данных проводилась по методике Доспехова.

Определение содержания крахмала проводили по удельному весу. Удельный вес клубней зависит от содержания сухого вещества и крахмала в клубнях. Чем больше удельный вес, тем выше содержание сухих веществ. Суммарное содержание крахмала и сахара называют крахмальным числом. Количество крахмала в клубнях определяется вычитанием из крахмального числа сахаров.

Метеорологические условия вегетационного периода 2021-2023 годов

Данные ГТК показали, что вегетационный период (май-август) 2021 года характеризовался сильной засухой (ГТК – 0,55). Минимальное значение ГТК отмечено в мае – 0,25, максимальное в июне – 0,74. В условиях Омска оптимальный ГТК, рассчитанный по Селянинову, составляет 1,13. Весной преобладала жаркая и сухая погода с недобором осадков, составляющих 33-78% от нормы. В июне преобладала прохладная погода с недобором осадков. Среднемесячная температура воздуха 16,9°C – на 1,1°C ниже нормы (18,0°C). Июль так же характеризовался теплой погодой с существенным дефицитом осадков, их выпало 32,8 мм (50,5% от нормы (65,0 мм)). В августе отмечена теплая погода и недостаток осадков. Осадков выпало 42,4 мм (75,7% от нормы (56,0 мм)).

Вегетационный период (май-август) 2022 года отличался умеренно влажной погодой (ГТК – 1,02). Май отмечен, как жаркий и сухой. В июне преобладала отно-

¹ Методические положения по проведению оценки сортов картофеля на испытательных (тестовых) участках // М.: ВНИИКХ, 2013. 15с.

² Методические рекомендации по специализированной оценке сортов картофеля / С. А. Банадысев [и др.]. Минск, 2003. 70 с.

³ Передовые методы диагностики патогенов картофеля: науч. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 92 с.

⁴ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта // М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

⁵ Методика исследований по культуре картофеля, М.; 1967. с.70-72.

сительно теплая погода с недобором осадков в первой и второй декадах. Июль характеризовался теплой погодой с обильным выпадением осадков в третьей декаде. Среднемесячная температура воздуха составила 20,5°C – на 1,0°C выше нормы (19,7°C). В августе была теплая погода с недобором осадков. Среднемесячная температура воздуха равнялась 17,5°C, что на 1,4°C превысила среднемноголетнюю (16,1°C). Осадков выпало 2,4 мм (4,4% от нормы (54,0 мм)).

Температура воздуха весной 2023 года была со значительными перепадами в ночной и дневной периоды (от -7,3° до 28,9°C). Июль был в среднем теплее на 3,2°C (норма 18,0°C). Влажность воздуха в эти дни опускалась до 18%, отмечены суховейные явления. Осадки оказались на уровне многолетних значений (65,0 мм). Таким образом, агрометеорологические условия для роста, развития и формирования урожая картофеля были неблагоприятными (ГТК=0,78). Величина раннего урожая для южной лесостепной зоны Омской области во многом определяется степенью увлажнения в конце июня-начале июля. В 2023 году в период формирования клубней в первой декаде июля сложились крайне неблагоприятные метеоусловия: наблюдалась сильная засуха в сочетании с высокой температурой воздуха.

Методика изучения генотипов картофеля с использованием ДНК-маркеров

Эксперименты проводили на пробирочных растениях (возраст – 40 дней). Экстрагировали ДНК с помощью готового набора реактивов «ФитоСорб» («Синтол», Россия). Пробоподготовка образцов осуществлялась при помощи гомогенизатора TissueLyser LT. Полимеразная цепная реакция проводилась с использованием набора БиоМастер HS-Тaq ПЦР-Color (2x) «Биолабмикс» и праймеров к SSR-маркеру гена Rx (вирусу X): PVX [12]; к маркерам генов *Ryadg*, *Rychc*, *Rysto* (вирусу Y): RYSC3 [13], *Ry-186* [12] и YES3-3A [14]; к маркерам генов NS и NL (вирусу S и L): SCG17 и NL127 [15,16]; к маркеру гена *Rpi-blb1* (фитофторозу): *blb1* [17], к маркеру гена *Stp23* (содержание крахмала): *Stp23-8b* [18, 19]. ПЦР проводили в амплификаторе «CFX96TM» (Bio-Rad, США).

Амплифицированные фрагменты ДНК фракционировались методом горизонтального электрофореза в 1,5% агарозном геле в трис-боратном (1×TBE) буфере.

Результаты и обсуждение

В таблице 2 представлены результаты диагностики генов устойчивости к вирусным заболеваниям и полевая устойчивость к ним (PVX, PVY, PVM, PLRV, PVS, PVA).

Таблица 2. Устойчивость сортообразцов картофеля к вирусным заболеваниям
Table 2. Resistance of potato varieties to viral diseases

№ п/п Сорт/ Сортообразец	Наличие гена устойчивости к вирусам						Полевая устойчивость к вирусам, балл	
	<i>Rx</i>	<i>Rychc</i>	<i>Rysto</i>	<i>Ryadg</i>	<i>NL</i>	<i>NS</i>		
	1230 п.н.	587 п.н.	341 п.н.	321 п.н.	1164 п.н.	321 п.н.		
1	Кумир	+	-	-	-	-	-	7
2	Спектр	+	-	-	-	+	+	8
3	Алена	-	-	-	-	-	-	6
4	Былина Сибири	-	-	-	-	-	-	7
5	Хозяюшка	+	-	-	-	+	+	8
6	Лазарь	-	-	-	-	-	-	8
7	Вечерний Омск	-	-	-	-	+	+	8
8	Держава	-	+	-	-	+	+	8
9	Гибрид 49-18	-	-	-	-	-	-	6
10	Гибрид 86-18	-	-	-	-	+	-	8
11	Гибрид 58-16	-	-	-	-	+	+	7
12	Гибрид 56-16	-	-	-	-	+	-	7
13	Гибрид 52-17	-	-	+	-	+	+	8
14	Гибрид 63-14	+	-	-	-	-	-	7
15	Алая заря	-	-	-	-	-	-	6
16	Триумф	-	-	-	-	+	+	8
17	Жуковский Ранний	+	-	-	-	+	+	8
18	Идеал	-	-	-	-	-	-	6
19	Антонина	-	-	-	-	-	-	7
20	Розара	-	-	-	-	-	-	7
21	Ред Скарлетт	-	-	-	-	-	-	6
22	Гала	-	-	-	-	+	+	8
23	Адретта	-	-	-	-	-	-	6

Примечание: 9 баллов – максимальная устойчивость

Гены экстремальной устойчивости (ER), а именно Rх, Rychs, Rysto, Ryadg встречались в исследуемом наборе сортов довольно редко. Из общего пула сортов 5 штук несли в своем генотипе ген устойчивости к вирусу Х и всего 2 сортообразца (Гибрид 52-17, Держава) – ген устойчивости к вирусу Y. Комплекс генов устойчивости к вирусам Х/Y отсутствовал, что подтверждает необходимость создания селекционного материала с использованием процесса пирамидирования генов. Образцы, в которых наблюдался хотя бы один ген (ER) имели балл устойчивости не ниже 7.

Гены «Marczewski» [15, 16], а именно NL127 и SCG17, присутствовали в значительном количестве образцов (табл. 2). Наличие генов устойчивости в образцах указывало на высокую полевую устойчивость (8 баллов). В целом, такую устойчивость имели 10 сортообразцов. Самую низкую оценку показали 6 сортообразцов (6 баллов), в которых не определены гены устойчивости.

Комплекс генов устойчивости к вирусам Х/L/S выявлен у сортов Спектр, Хозяюшка и Жуковский Ранний, а к вирусам Y/L/S – Гибрид 52-17 и Держава.

На основании полевой оценки посадок картофеля в 2022 году определена степень поражения ботвы фитофторозом и выявлены устойчивые сорта с полным отсутствием пятен на листьях (9 баллов). В другие годы не отмечалось визуального проявления признаков фитофтороза как на растениях, так и на клубнях. ПЦР-маркирование позволило отобрать генотипы по наличию генов устойчивости к фитофторозу (табл. 3), такими оказались два сортообразца Омской селекции: Вечерний Омск и Гибрид 52-17, а также сорт Гала иностранной селекции (Германия). Степень поражения фитофторозом у этих сортов была самая наименьшая. Остальные опытные сортообразцы, по-видимому, имеют другие гены устойчивости к этому заболеванию и требуют дальнейшей проработки.

Таблица 3. Устойчивость сортообразцов картофеля к фитофторозу
Table 3. Resistance of potato varieties to late blight

№ п/п	Сорт/ Сортообразец	Наличие гена устойчивости к фитофторозу <i>Rpi-blb1</i>	Степень поражения фитофторозом, балл
1	Кумир	-	8
2	Спектр	-	8
3	Алена	-	6
4	Былина Сибири	-	8
5	Хозяюшка	-	7
6	Лазарь	-	7
7	Вечерний Омск	+	9
8	Держава	-	6
9	Гибрид 49-18	-	7
10	Гибрид 86-18	-	7
11	Гибрид 58-16	-	7
12	Гибрид 56-16	-	6
13	Гибрид 52-17	+	9
14	Гибрид 63-14	-	7
15	Алая заря	-	6
16	Триумф	-	8
17	Жуковский Ранний	-	7
18	Идеал	-	6
19	Антонина	-	6
20	Розара	-	6
21	Ред Скарлетт	-	7
22	Гала	+	8
23	Адретта	-	5

Примечание: 9 баллов – симптомы поражения отсутствуют; 1 балл – все листья и стебли полностью поражены

Таблица 4. Содержание крахмала в сортообразцах картофеля, %
Table 4. Starch content in potato varieties, %

№ п/п	Сорт/ Сортообразец	Наличие гена содержания крахмала <i>Stp23-8b</i>	Содержание крахмала, %
		348 п.н.	
1	Кумир	-	14,8
2	Спектр	+	17,3
3	Алена	+	17,8
4	Былина Сибири	+	18,5
5	Хозяюшка	+	18,6
6	Лазарь	+	20,2
7	Вечерний Омск	-	17,0
8	Держава	-	16,1
9	Гибрид 49-18	+	15,5
10	Гибрид 86-18	-	14,6
11	Гибрид 58-16	+	14,9
12	Гибрид 56-16	-	14,6
13	Гибрид 52-17	-	14,8
14	Гибрид 63-14	-	15,2
15	Алая заря	-	16,2
16	Триумф	+	15,5
17	Жуковский Ранний	-	13,2
18	Идеал	-	17,6
19	Антонина	+	19,4
20	Розара	-	12,6
21	Ред Скарлетт	-	15,6
22	Гала	+	14,2
23	Адретта	-	18,0

Нами было проведено типирование сортообразцов картофеля и последующий анализ взаимосвязи с лабораторной оценкой содержания крахмала (таблица 4). Наличие ДНК-маркеров, установленное по экспериментальным данным, приведено в таблице 4.

По содержанию крахмала выделилась группа сортов Лазарь, Антонина, Хозяюшка, Былина Сибири, Спектр, обладающая геном содержания крахмала *Stp23-8* (аллель *b*). Наблюдаемые эффекты не полностью согласовывались

с полевой оценкой. Полученные результаты подтверждают тот факт, что наиболее эффективным будет отбор генотипов, в геноме которых идентифицировано сразу несколько маркеров, характеризующихся положительной ассоциацией с признаком. Аналогичная ситуация наблюдалась в исследовании Белорусских ученых [20].

В тестируемом наборе сортообразцов имелся такой сорт как Адретта, в котором не был идентифицирован ген крахмалистости с помощью маркера *Stp23-8*, но отличающийся

Таблица 5. Дегустационная оценка столовых качеств вареного картофеля, балл
Table 5. Tasting assessment of the table qualities of boiled potatoes, score

№ п/п	Сорт / Сортообразец	Плотность	Водянистость	Мучнистость	Вкус	Потемнение вареной мякоти
1	Кумир	7,2	6,6	6,4	7,0	7,1
2	Спектр	5,7	6,8	7,5	6,3	5,6
3	Алена	7,3	7,0	7,7	6,8	5,5
4	Былина Сибири	6,0	6,2	6,6	6,2	6,2
5	Хозяюшка	6,3	7,5	8,0	7,7	6,2
6	Лазарь	6,8	7,6	8,5	6,3	5,5
7	Вечерний Омск	5,5	5,8	5,8	5,5	5,2
8	Держава	7,0	5,8	6,0	5,7	6,5
9	Гибрид 49-18	5,5	6,7	6,7	5,3	5,3
10	Гибрид 86-18	5,8	6,0	6,2	5,0	7,0
11	Гибрид 58-16	6,5	5,0	6,3	5,3	7,0
12	Гибрид 56-16	5,2	4,5	4,7	5,0	7,5
13	Гибрид 52-17	6,8	5,0	5,2	6,6	6,5
14	Гибрид 63-14	6,6	5,5	5,5	5,8	5,5
15	Алая Заря	5,8	6,3	6,5	6,8	6,5
16	Триумф	7,2	6,0	6,2	6,6	8,0
17	Жуковский ранний	5,6	4,5	4,5	3,8	5,5
18	Идеал	6,8	7,1	6,3	7,8	7,4
19	Антонина	6,5	6,8	6,6	6,8	6,6
20	Розара	6,8	5,6	5,2	5,2	5,0
21	Ред Скарлет	6,0	5,6	5,5	5,3	5,0
22	Гала	6,3	5,8	5,6	5,8	6,9
23	Адретта	5,8	5,9	6,0	8,2	6,0

высоким содержанием крахмала. В данном случае используемый маркер показал низкую эффективность отбора в качестве диагностического признака, что, возможно, объясняется мультигенным наследованием признака крахмалистости клубней, структурой популяции и окружающей средой. Наши эксперименты согласуются с исследованиями турецких ученых [21]. Как предположили Li et al. (2013) [18], оптимальный маркер и его комбинация, к сожалению, могут варьироваться в зависимости от популяции и окружающей среды. Таким образом, результаты исследований требуют дальнейшего тщательного изучения связей между маркерами и признаками.

В таблице 5 представлены данные, по дегустационной оценке, качеств вареного картофеля по сортам коллекции. Показатели водянистости и мучнистости тесно связаны с содержанием крахмала в клубнях. На основании экспертного анализа высокие оценки по вкусу, сопоставимые с немецким сортом Адретта, получены по сортам Сибирской селек-

ции: Идеал, Хозяюшка, Кумир. Достаточно высокими вкусовыми качествами обладают сорта Антонина и Алена. По показателям, определяющим качество и назначение столового картофеля - водянистости и мучнистости, выделялись сорта Сибирской селекции: Хозяюшка, Лазарь, Антонина, Алена и выделяющийся особо по вкусу немецкий сорт Адретта. Слабо темнеющая мякоть вареного картофеля отмечалась у сортов Триумф, Гала, Идеал, Кумир.

Оценивая средние показатели урожайности сортообразцов за годы исследований 2021-2023 (табл. 6), установлено, что в основном она определялась увлажненностью почвы в критические фазы развития растений, а также степенью устойчивости сортов к стрессовым факторам среды. Общий валовой учет урожая проводился со всей делянки в первой декаде сентября.

Более высокий уровень урожайности получен в 2021 году. Годы отличались засушливыми условиями и острым дефицитом влаги в период клубнеобразования, вследствие

Таблица 6. Урожайность сортообразцов картофеля, т/га
Table 6. Yield of potato varieties, t/ha

Сорт/ Сортообразец		Урожайность, т/га			
		2021 год	2022 год	2023 год	Среднее
1	Кумир	32,4	21,6	25,9	26,6
2	Спектр	30,0	21,3	22,0	24,4
3	Алена	27,0	18,2	21,6	22,3
4	Былина Сибири	29,0	18,8	22,6	23,5
5	Хозяюшка	30,2	20,0	22,8	24,3
6	Лазарь	30,3	14,5	21,5	22,1
7	Вечерний Омск	28,6	22,6	23,0	24,7
8	Держава	25,3	20,7	20,1	22,0
9	Гибрид 49-18	22,7	18,2	23,0	21,3
10	Гибрид 86-18	24,5	17,8	21,0	21,1
11	Гибрид 58-16	25,5	17,9	20,0	21,1
12	Гибрид 56-16	28,8	21,6	23,3	24,6
13	Гибрид 52-17	28,3	20,6	22,0	23,6
14	Гибрид 63-14	23,6	18,5	22,5	21,5
15	Алая заря	27,5	20,2	22,8	23,5
16	Триумф	32,0	20,3	24,9	25,7
17	Жуковский ранний	32,5	23,3	21,5	25,8
18	Идеал	26,3	18,7	19,0	21,3
19	Антонина	27,0	17,9	22,5	22,5
20	Розара	28,5	17,6	23,0	23,0
21	Ред Скарлетт	28,0	22,2	24,3	24,8
22	Гала	31,2	21,0	23,6	25,3
23	Адретта	25,9	20,7	21,8	22,8
	Х сред.	28,0	19,7	22,4	
	НСР05		2,8		

чего уровень урожайности заметно снизился по всем сортам. Конечный учет урожая позволил выявить сорта, обладающие устойчивостью к возделыванию в стрессовых условиях при остром дефиците увлажнения в 2023 году.

В результате проведенного анализа, сопоставив ПЦР диагностику и полевые методики, в исследуемой коллекции сортообразцов картофеля были охарактеризованы по комплексу признаков. Установлено, что из выделившихся по урожайности сортообразцов, были выявлены устойчивые к вирусам, фитофторозу с высоким содержанием крахмала и вкусовыми качествами.

Заключение

Таким образом, в среднем за три года исследования коллекционных сортообразцов картофеля с помощью сочетания полевых методик и ПЦР диагностики удалось установить, что комплексом хозяйственно-полезных признаков обладают сортообразцы:

1. Хозяюшка – урожайность – 24,3 т/га, комплекс генов устойчивости к вирусам X/L/S, содержание крахмала – 18,6%, отсутствие водянистости, мучнистость и высокий вкус.

2. Вечерний Омск – урожайность – 24,7 т/га, наличие генов устойчивости к фитофторозу.

3. Спектр - урожайность – 24,4 т/га, комплекс генов устойчивости к вирусам X/L/S, содержание крахмала – 17,3%.

4. Гибрид 52-17 – урожайность – 23,6 т/га, наличие генов устойчивости к фитофторозу, комплекс генов устойчивости к вирусам Y/L/S.

5. Гала – урожайность – 25,3 т/га, наличие генов устойчивости к фитофторозу, отсутствие потемнения вареной мякоти.

Из выделившихся образцов, только один имеет иностранное происхождение, остальные являются результатом Омской селекции (Россия). Полученные результаты можно использовать в дальнейших исследованиях и при отборе перспективных форм в селекционном процессе.

• Литература

1. Анисимов Б.В. Мировое производство картофеля: тенденции рынка, прогнозы и перспективы (аналитический обзор). *Картофель и овощи*. 2021;(10):3-8. [https://doi.org/DOI 10.25630/PAV.2021.45.71.008](https://doi.org/DOI%2010.25630/PAV.2021.45.71.008) <https://www.elibrary.ru/oqkwwfb>
2. Терновых К.С., Попов Д.Ю. Современные тенденции в развитии картофелеводства. *Московский экономический журнал*. 2020;(12):39. <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10871> <https://www.elibrary.ru/mhzczo>
3. Сердеров В.К., Ханбабаев Т.Г., Сердерова Д.В. Изменение содержания сухого вещества и крахмала в клубнях картофеля в зависимости от условий возделывания. *Овощи России*. 2019;2(46):80-83. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-80-83> <https://www.elibrary.ru/zivwvrn>
4. Поддубная О.В., Поддубный О.А. Сравнительный анализ содержания крахмала в клубнях картофеля. *Эпоха науки*. 2020;(24):72-76. <https://doi.org/10.24411/2409-3203-2020-12414> <https://www.elibrary.ru/oktzlx>
5. Коршунов А.В., Филиппова Г.И., Гаитова Н.А., Митюшкин А.В., Кутовенко Л.Н. Управление содержанием крахмала в картофеле. *Аграрный вестник Урала*. 2011;2(81):47-50. <https://www.elibrary.ru/pasytn>
6. Красников. С.Н., Черемисин А.И., Согуляк С.В., Красникова О.В., Пантеева К.О. Оценка продуктивности и качества новых перспективных сортов картофеля для условий Западной Сибири. *Картофель и овощи*. 2023;(7):37-40. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.80.58.005> <https://www.elibrary.ru/rdedbs>
7. Сайнакова А.Б., Романова М.С., Красников С.Н., Литвинчук О.В., Алексеев Я.И., Никулин А.В., Терентьева Е.В. Исследование коллекционных образцов картофеля на наличие генетических маркеров устойчивости к фитопатогенам. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(1):18-24. <https://doi.org/10.18699/VJ18.326> <https://www.elibrary.ru/yypntpr>
8. Бирюкова В.А., Шмыглы И.В., Жарова В.А., Бекетова М.П., Рогозина Е., Митюшкин А.В., Мелешин А.А. Молекулярные маркеры генов экстремальной устойчивости к Y вирусу картофеля в сортах и гибридах *Solanum tuberosum* L. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019;(5):17-22. <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019517-22> <https://www.elibrary.ru/qwjzno>
9. Козлова В.В., Пахомова Н.Г. Защита картофеля от фитофтороза. *Владимирский земледелец*. 2010;(3):26а. <https://www.elibrary.ru/ncsimb>
10. Мухордова М.Е., Черемисин А.И., Урман М.В. Комплексная оценка перспективного селекционного материала картофеля в условиях Омской области. *Кормопроизводство*. 2023;(3):12-17. <https://www.elibrary.ru/taiolp>
11. Урман М.В., Мухордова М.Е. Оценка перспективных сортообразцов картофеля на устойчивость к патогенам. Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии XXIII: Материалы 23-ей Всероссийской молодежной научной конференции, Москва, 14–16 ноября 2023 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии». 2023. С. 47-49. <https://doi.org/10.48397/ARRIAB.2023.23.XXIII.022>
12. Mori K., Sakamoto Y., Mukojima N., Tamiya S., Nakao T., Ishii T., Hosaka K. Development of a multiplex PCR method for simultaneous detection of diagnostic DNA markers of five disease and pest resistance genes in potato. *Euphytica*. 2011;(180):347-355. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0381-6>
13. Kasai K., Morikawa Y., Sorri V. A., Valkonen J. P., Gebhardt C., Watanabe K. N. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene Ryadg based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome*. 2000;43(1):1-8. <https://doi.org/10.1139/g99-092>
14. Song Y. S., Hepting L., Schweizer G., Hartl L., Wenzel G., Schwarzfischer A. Mapping of extreme resistance to PVY (Rysto) on chromosome XII using anther-culture-derived primary dihaploid potato lines. *Theoretical and applied genetics*. 2005;(111):879-887. <https://doi.org/10.1007/s00122-005-0010-7>
15. Marczewski W., Hennig J., Gebhardt C. The Potato virus S resistance gene Ns maps to potato chromosome VIII. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;105(4):564–567. <https://doi.org/10.1007/s00122-002-0976-3>
16. Marczewski W., Flis B., Syller J., Schäfer-Pregl R., & Gebhardt, C. A Major Quantitative Trait Locus for Resistance to Potato leafroll virus Is Located in a Resistance Hotspot on Potato Chromosome XI and Is Tightly Linked to N-Gene-Like Markers. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2001;14(12):1420–1425. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2001.14.12.1420>
17. Wang M., Allefs S., van den Berg R. G., Vleeshouwers V. G., van der Vossen E. A. G., Vosman B. Allele mining in *Solanum stoloniferum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116(7):933–943. <https://doi.org/10.1007/s00122-008-0725-3>
18. Li L., Tacke E., Hofferbert H.-R., Lubeck J., Strahwald J., Draffehn Astrid M., Walkemeier B., Gebhardt Ch. Validation of candidate gene markers for marker-assisted selection of potato cultivars with improved tuber quality. *Theoretical and Applied Genetics*. 2013;126(4):1039–1052. <https://doi.org/10.1007/s00122-012-2035-z>
19. Кондратюк А.В., Козлова Л.Н., Козлов В.А., Кильчевский А.В. Оценка эффективности ДНК-маркеров в селекции по биохимическим признакам качества клубней картофеля. *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2016;60 (2):85-89. <https://www.elibrary.ru/turjet>
20. Урбанович О.Ю., Кузмицкая П.В., Картель Н.А. Генетические основы селекции растений. Том 4. Минск: Республиканское унитарное предприятие "Издательский дом "Белорусская наука", 2014. 654 с. ISBN 978-985-08-1791-4. <https://www.elibrary.ru/ugolkn>
21. Yavuz C., Demirel U., Çalıřkan M.E. Assessment of the usability of four molecular markers to identify potato genotypes suitable for processing. *Biotech Studies*. 2024;33(2):74-81. <https://doi.org/10.38042/biotechstudies.1483793>

• References

1. Anisimov B.V. World potato production: market trends, forecasts and prospects (analytical review). *Potatoes and vegetables*. 2021;(10):3-8. [https://doi.org/DOI 10.25630/PAV.2021.45.71.008](https://doi.org/DOI%2010.25630/PAV.2021.45.71.008) <https://www.elibrary.ru/oqkwwfb> (In Russ.)
2. Ternov K.S., Popov D.Y. Modern trends in the development of

- potato farming. *Moscow Economic Journal*. 2020;(12):39. <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10871> <https://www.elibrary.ru/mhzczo> (In Russ.)
3. Serderov V.K., Khanbabaev T.G., Serderova D.V. Changes in the dry matter and starch content in lettuce tubers depending on cultivation conditions. *Vegetables of Russia*. 2019;2(46):80-83. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-80-83> <https://www.elibrary.ru/zivwrn> (In Russ.)
4. Poddubnaya O.V., Poddubny O.A. Comparative analysis of the starch content in lettuce tubers. *Epoch of Science*. 2020;(24):72-76. <https://doi.org/10.24411/2409-3203-2020-12414> <https://www.elibrary.ru/oktzhx> (In Russ.)
5. Korshunov A.V., Filippova G.I., Gaitova N.A., Mityushkin A.V., Kutovenko L.N. Management of starch addition in potatoes. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2011;2(81):47-50. <https://www.elibrary.ru/pasytn> (In Russ.)
6. Krasnikov S.N., Cheremisin A.I., Sogulyak S.V., Krasnikova O.V., Panteeva K.O. Assessment of productivity and quality of new promising conditions for the economic conditions of Siberia. *Potatoes and vegetables*. 2023;(7):37-40. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.80.58.005> <https://www.elibrary.ru/rdedbs> (In Russ.)
7. Sainakova A. B., Romanova M. S., Krasnikov S. N., Litvinchuk O. V., Alekseev Ya. I., Nikulin A. V., Terentyeva E. V. Study of collection samples of properties of the presence of resistance to phytopathogens on genetic markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(1):18-24. <https://doi.org/10.18699/VJ18.326> <https://www.elibrary.ru/ypntpr> (In Russ.)
8. Biryukova V. A., Shmyglya I. V., Zharova V. A., Beketova M. P., Rogozina E., Mityushkin A. V., Meleshin A. A. Molecular markers of genes of extreme resistance to virus Y in *Solanum tuberosum* L. varieties and hybrids. *Russian Agricultural Science*. 2019;(5):17-22. <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019517-22> <https://www.elibrary.ru/qwjzno> (In Russ.)
9. Kozlova, V. V., Pakhomova N. G. Plant protection from late blight. *Vladimir farmer*. 2010;(3):26a. <https://www.elibrary.ru/ncsimb> (In Russ.)
10. Mukhordova M.E., Cheremisin A.I., Urman M.V. Comprehensive assessment of promising choice of materials in the conditions of the Omsk region. *Forage production*. 2023;(3):12-17. <https://www.elibrary.ru/taiolp> (In Russ.)
11. Urman M.V., Mukhordova M.E. Evaluation of promising sample varieties for resistance to pathogens. Biotechnology in crop production, animal husbandry and agricultural microbiology XXIII: Proceedings of the 23rd All-Russian youth scientific conference, Moscow, November 14-16, 2023. - Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology". 2023. P. 47-49. <https://doi.org/10.48397/ARRIAB.2023.23.XXIII.022> <https://www.elibrary.ru/ogbnuv>
12. Mori K., Sakamoto Y., Mukojima N., Tamiya S., Nakao T., Ishii T., Hosaka K. Development of a multiplex PCR method for simultaneous detection of diagnostic DNA markers of five disease and pest resistance genes in potato. *Euphytica*. 2011;(180):347-355. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0381-6>
13. Kasai K., Morikawa Y., Sorri V. A., Valkonen J. P., Gebhardt C., Watanabe K. N. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene Ryadg based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome*. 2000;43(1):1-8. <https://doi.org/10.1139/g99-092>
14. Song Y. S., Hepting L., Schweizer G., Hartl L., Wenzel G., Schwarzfischer A. Mapping of extreme resistance to PVY (Rysto) on chromosome XII using anther-culture-derived primary dihaploid potato lines. *Theoretical and applied genetics*. 2005;(111):879-887. <https://doi.org/10.1007/s00122-005-0010-7>
15. Marczewski W., Hennig J., Gebhardt C. The Potato virus S resistance gene Ns maps to potato chromosome VIII. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;105(4):564-567. <https://doi.org/10.1007/s00122-002-0976-3>
16. Marczewski W., Flis B., Syller J., Schäfer-Pregl R., & Gebhardt, C. A Major Quantitative Trait Locus for Resistance to Potato leafroll virus Is Located in a Resistance Hotspot on Potato Chromosome XI and Is Tightly Linked to N-Gene-Like Markers. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2001;14(12):1420-1425. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2001.14.12.1420>
17. Wang M., Allefs S., van den Berg R. G., Vleeshouwers V. G., van der Vossen E. A. G., Vosman B. Allele mining in *Solanum*: conserved homologues of Rpi-blb1 are identified in *Solanum stoloniferum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116(7):933-943. <https://doi.org/10.1007/s00122-008-0725-3>
18. Li L., Tacke E., Hofferbert H.-R., Lubeck J., Strahwald J., Draffehn Astrid M., Walkemeier B., Gebhardt Ch. Validation of candidate gene markers for marker-assisted selection of potato cultivars with improved tuber quality. *Theoretical and Applied Genetics*. 2013;126(4):1039-1052. <https://doi.org/10.1007/s00122-012-2035-z>
19. Kondratyuk A. V., Kozlova L. N., Kozlov V. A., Kilchevsky A. V. Evaluation of the efficiency of DNA markers in breeding for biochemical traits of potato tuber quality. *Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2016;60 (2):85-89. <https://www.elibrary.ru/turjet> (In Russ.)
20. Urbanovich O. Yu., Kuzmitskaya P. V., Kartel N. A. Genetic bases of plant breeding. Volume 4. Minsk: Republican Unitary Enterprise "Publishing House" Belarusian Science ", 2014. 654 p. ISBN 978-985-08-1791-4. <https://www.elibrary.ru/ugolkn> (In Russ.)
21. Yavuz, C., Demirel, U., Çalışkan, M. E. Assessment of the usability of four molecular markers to identify potato genotypes suitable for processing. *Biotech Studies*. 2024;33(2):74-81.

Об авторах:

Мария Евгеньевна Мухордова – кандидат с.-х. наук, зав. лаб. молекулярно-генетических исследований, <https://orcid.org/0000-0002-5788-2409>, SPIN-код: 8811-7558, автор для переписки, mukhordova@anc55.ru

Александр Иванович Черемисин – кандидат с.-х. наук, зав. отделом картофеля, SPIN-код: 5763-9005

Сергей Владимирович Согуляк – кандидат с.-х. наук, вед. научный сотрудник отдела картофеля, SPIN-код: 2608-1940

Максим Владимирович Урман – младший научный сотрудник лаб. молекулярно-генетических исследований, SPIN-код: 1484-4291

About the Authors:

Maria E. Mukhordova – Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Laboratory of Molecular Genetic Research, <https://orcid.org/0000-0002-5788-2409>, SPIN code: 8811-7558, Correspondence Author, mukhordova@anc55.ru

Aleksandr I. Cheremisin – Cand. Sci. (Agriculture), Head of Potato Department, SPIN code: 5763-9005

Sergei V. Sogulyak – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Potato Department, SPIN code: 2608-1940

Maksim V. Urman – Junior Researcher, Laboratory of Molecular Genetic Research, SPIN code: 1484-4291