Вавиловский журнал генетики и селекции
2021. Онлайн. DOI 10.18699/VJ21.53-o

Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: история, методы и результаты

Б.И. Сандухадзе ✉, Р.З. Мамедов, М.С. Крахмалёва, В.В. Бугрова

Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», р. п. Новоивановское, Одинцово, Московская область, Россия
✉ sanduchadze@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены основные этапы и достижения селекции озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в Нечерноземной зоне более чем за столетний период. Начало селекционной работы в регионе было положено Д.Л. Рудзинским на опытном поле Московского сельскохозяйственного института. С 1940-х гг. под руководством академика Н.В. Цицина, а затем профессора Г.Д. Лапченко активно применялся метод отдаленной гибридизации пшеницы с пыреем сизым (*Agropyron glaucum* (Desf. ex DC.) Roem. & Schult.). Полученные пшенично-пырейные гибриды (ППГ) обладали средней зимостойкостью, повышенным качеством зерна и продуктивностью. Созданный в 1970-х гг. сорт Заря (индивидуальным отбором из F_3 гибридной комбинации сорт Мироновская 808 × линия 126/65, в родословной этой линии присутствует ППГ 599) имел высокую урожайность и широко использовался в дальнейших скрещиваниях. В 1980-е гг. академик Б.И. Сандухадзе методом прерывающихся беккроссов добился значительного увеличения урожайности за счет выведения сортов нового морфоэкотипа (Инна, Памяти Федина и др.) – зимостойких, короткостебельных, продуктивных. Сорт Московская 39 (районирован в 1999 г.) относится к сильным пшеницам со стабильным содержанием белка (15–16 %) и клейковины (30–35 %). Созданные в 2000-х гг. сорта Московская 56, Немчиновская 57, Галина, Немчиновская 24, Немчиновская 17, Московская 40 характеризуются высокой адаптивностью к условиям региона, высокой урожайностью и качеством зерна. Площади посевов этих сортов в России занимают более 2 млн га. Обозначены актуальные направления селекции озимой мягкой пшеницы, показана производственная урожайность сортов селекции ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» свыше 12.0 т/га и содержание белка в зерне до 17 %. Благодаря преемственности, оригинальности и методологии научной селекции, урожайность озимой пшеницы в регионе с начала прошлого века до настоящего времени выросла с 1.0 до 12.0 т/га и более.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница; селекция; сорт; зимостойкость; урожайность; устойчивость к полеганию; короткостебельность.

Для цитирования: Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Крахмалёва М.С., Бугрова В.В. Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: история, методы и результаты. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021. DOI 10.18699/VJ21.53-o

Scientific breeding of winter bread wheat in the Non-Chernozem zone of Russia: the history, methods and results

B.I. Sandukhadze ✉, R.Z. Mamedov, M.S. Krakhmalyova, V.V. Bugrova

Federal Research Center "Nemchinovka", Novoivanovskoye, Odintsovo, Moscow Region, Russia
✉ sanduchadze@mail.ru

Abstract. The article describes the main stages and achievements of the breeding of winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Non-Chernozem zone for more than a century. The beginning of breeding work was laid by D.L. Rudzinsky on the experimental field of the Moscow Agricultural Institute. Beginning from the 1940s, under the leadership of Academician N.V. Tsitsin, and then Prof. G.D. Lapchenko, the method of distinct hybridization with blue wheatgrass (*Agropyron glaucum* (Desf. ex DC.) Roem. & Schult.) was actively used. The resulting wheat-wheatgrass hybrids had an average winter hardiness, increased grain quality and productivity. Cultivar Zarya developed in the 1970s (by individual selection from the F_3 cross combination of cv. Mironovskaya 808 × line 126/65 (in the pedigree of this line, there is a wheat-wheatgrass hybrid PPG 599)) had a high yield and was widely used in further crosses. In the 1980s, Academician B.I. Sandukhadze achieved a significant increase in yield by using the method of intermittent backcrosses due to the producing of varieties with a new morphoecotype (cvs Inna, Fedin's Memory, etc.), namely, winter-hardy, short stemmed (dwarf), and productive. Cultivar Moskovskaya 39 (registration in 1999) was referred to strong wheat, with a stable protein content of 15–16 %, gluten 30–35 %. Produced in the 2000s, cvs Moskovskaya 56, Nemchinovskaya 57, Galina, Nemchinovskaya 24, Nemchinovskaya 17, and Moskovskaya 40 have a high adaptability to the environment of the region; give a high yield and quality of grain. The area of crops of these cultivars in Russia occupies more than 2 million ha. The current trends in wheat breeding are indicated, the production yield of commercial cultivars of breeding by the Federal Research Center "Nemchinovka" over 12.0 tons per ha and the protein content in the grain up to 17 %

© Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Крахмалёва М.С., Бугрова В.В., 2021
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0

are shown. As a result of succession, originality and application of the methodology of scientific breeding, the yield of winter bread wheat in the period from the beginning of the last century to the present has increased from 1.0 to 12.0 and more tons per ha.
Key words: winter bread wheat, breeding; variety; winter hardiness; yield; lodging resistance; short stemmed plants.

For citation: Sandukhadze B.I., Mamedov R.Z., Krakhmalyova M.S., Bugrova V.V. Scientific breeding of winter bread wheat in the Non-Chernozem zone of Russia: the history, methods and results. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021. DOI 10.18699/VJ21.53-o

Введение

В начале прошлого столетия пшеница (*Triticum* L.) не имела широкого распространения в Нечерноземной зоне России. В производстве выращивали «серые» хлеба: озимую рожь и овес. Из пшениц возделывали местные сорта, имевшие, как правило, не названия, а хозяйственные характеристики – «местная», «озимая», «яровая». Эти сорта народной селекции представляли собой популяции, состоящие из смеси разновидностей, а иногда и видов (Фляксбергер, 1929).

Продвижение в культуру пшеницы пришлось на первые годы XX в. и было связано с деятельностью Комитета акклиматизации растений при Московском обществе сельского хозяйства. В Нечерноземной зоне России научная селекция пшеницы и ряда других культур была начата на Шатиловской опытной станции (организована в 1896 г.). Основы научной селекции полевых культур были заложены в 1903 г. на опытном поле Московского сельскохозяйственного института (ныне РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева), где в тот период работали Д.Л. Рудзинский, С.И. Жегалов, А.Г. Лорх, Н.И. Вавилов и другие выдающиеся ученые (Гончаров, 2005; Елина, 2007). На опытном поле МСХИ было изучено более 3000 сортообразцов озимой пшеницы из Российской империи, Европы и Северной Америки (Фляксбергер, 1929). Определены признаки, на выраженность которых целесообразно было вести отбор элитных растений. Оценивая двадцатилетний итог работы Московской селекционной станции МСХИ, Н.И. Вавилов (1929) отмечал объем проанализированного материала. При этом он указывал на тот факт, что проводимые отборы не обеспечили существенных изменений выраженности признаков и свойств у сортов относительно исходных селектируемых популяций, что, по его мнению, свидетельствовало о необходимости более широко использовать межвидовую и межродовую гибридизацию.

В 1930-х гг. создание зимостойких, устойчивых к выпреванию и вымоканию пластичных сортов, иммунных к мучнистой росе, бурой ржавчине и фузариозу, было продолжено. В 1940 г. в Зональном институте зернового хозяйства районов Нечерноземной полосы (позднее НИИСХ ЦРНЗ, Московский НИИСХ «Немчиновка», в настоящее время ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка») академиком Н.В. Цициным была организована лаборатория пшенично-пырейных гибридов и продолжены начатые им в СибНИИСХоз (г. Омск) работы по отдаленной гибридизации пшеницы с дикорастущим пыреем сизым (*Agropyron glaucum* (Desf. ex DC.) Roem. & Schult. = syn. *Thinopyrum intermedium* (Host) Barkworth & D.R. Dewey) для получения сортов озимой мягкой пшеницы (Лапченко, 1967). Из 42-хромосомных форм пшенично-пырейных гибридов (ППГ) с пшеничным типом колоса Н.В. Цицин и Г.Д. Лапченко впервые вывели озимые сорта мягкой пшеницы на основе ППГ 599 и ППГ 186. Растения проявляли средний уровень зимостойкости, отдельные селекционные номера содержали до 19 % белка в зерне. Эти сорта были районированы в 18 областях и республиках Нечерноземной зоны России.

В НИИСХ ЦРНЗ в организованной в 1951 г. Е.Т. Вареницей лаборатории селекции озимой мягкой пшеницы широко применялась внутривидовая многоступенчатая гибридизация отдаленных эколого-географических форм с использованием избирательного оплодотворения. В качестве материнских форм использовались лучшие районированные в зоне сорта, в качестве отцовских – сорта с высокой урожайностью, зимостойкостью, устойчивостью к патогенам и полеганию, взятые из других эколого-географических зон (Вареница, 1971).

Положительные результаты селекции озимой мягкой пшеницы 1970-х гг. связаны с созданием сорта Заря, полученного индивидуальным отбором из F_3 гибридов комбинации скрещивания сорта украинской селекции Мироновская 808 с линией 126/65 (в родословной которой присутствует ППГ 599). В 1978 г. сорт Заря был районирован. Максимальная площадь его возделывания составила 530 тыс. га (Вареница, 1987). Позже индивидуальным отбором из сорта Заря получен сорт Янтарная 50 (районирован в 1985 г.), характеризовавшийся высокой продуктивностью, крупным зерном, высокой массой 1000 зерен, но слабозимостойкий.

Селекция сортов интенсивного типа

В 1984 г. селекцию озимой мягкой пшеницы в НИИСХ ЦРНЗ возглавил Б.И. Сандухадзе. Взамен широко возделывавшегося в Нечерноземной зоне сорта Мироновская 808 необходимо было создать более технологичные сорта интенсивного типа, обладающие высоким качеством зерна, более устойчивые к полеганию и неблагоприятным условиям перезимовки, поражению грибными болезнями. Требовалось преодолеть отрицательную связь между высокой урожайностью и высокой зимостойкостью, а также высокой зимостойкостью и короткостебельностью. Лучшим донором короткостебельности был признан Краснодарский карлик 1, выведенный в Краснодарском НИИСХ. Гибриды от скрещивания сорта Мироновская 808 с ним стабильно по годам наследовали низкую высоту растений и повышенную зимостойкость.

Для получения короткостебельных и зимостойких сортов интенсивного типа использовали метод прерывающихся беккроссов, ставший основой для сортов нового морфоэкотипа (Сандухадзе и др., 1996). В очередной беккросс вовлекались растения, отобранные из семей F_3 гибридов по оптимальной перезимовке, высоте расте-

Таблица 1. Сорта селекции ФИЦ «Немчиновка» (лаборатория селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы), включенные в «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» в 2020 г.

№ п/п	Сорт	Год включения	Регионы районирования	Площадь посевов, га (среднее за 2017–2019 гг.)
1	Заря	1978	2–5	760.0
2	Янтарная 50	1985	3, 4	150.0
3	Инна	1991	2, 3, 5	86.0
4	Московская 70	1991	5	–
5	Памяти Федина	1993	3	–
6	Московская 39	1999	2–5, 7, 9, 12	605 745.9
7	Галина	2005	2, 3	6446.65
8	Немчиновская 24	2006	3, 4	15 029.33
9	Московская 56	2008	3–5	605 745.9
10	Немчиновская 57	2009	3, 5	142 913.5
11	Московская 40	2011	3–5	398 541.9
12	Немчиновская 17	2013	3, 5	65 153.23
13	Виола*	2013	3, 5, 7	169 999.5
14	БИС**	2016	3, 4	103.47
			Общая площадь	2 010 675.38

* Совместно с ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; ** совместно с ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ».

ний и продуктивности. После трех беккроссов селекционные образцы по зимостойкости сравнивались с рекуррентным родителем. Отбор был более эффективным в популяциях BC_3–BC_4, с лучшей продуктивностью. В теоретическом плане такой метод селекции позволял рассчитывать на более высокую вероятность получения новых комбинаций генов в потомстве очередного беккросса, в практическом – на более высокую эффективность всего селекционного процесса. Высота растений увеличивалась в зависимости от числа беккроссов в F_1 гибридов. Этим методом в Немчиновке были получены семь сортов, а именно: Немчиновская 52, Немчиновская 86, Московская низкостебельная, Московская 70, Инна, Памяти Федина и Немчиновская 25, районированных в 12 областях и республиках РСФСР. Сорта Инна и Памяти Федина по продуктивности превосходили остальные на 1.0 т/га (Сандухадзе и др., 2001). Созданная к началу 1990-х гг. серия сортов нового морфоэкотипа с высоким потенциалом продуктивности и превышением урожайности на 1.0 т/га и более относительно длинностебельного сорта-стандарта, адаптированных к условиям центральных областей Нечерноземья, стала прорывом в селекции озимой мягкой пшеницы для данного региона.

В результате целенаправленной селекционной работы в ФИЦ «Немчиновка» был создан ряд сортов озимой мягкой пшеницы, в настоящее время суммарно занимающих более 2 млн га (табл. 1). С конца 1990-х гг. районированы более чем в 35 областях Российской Федерации сорта Московская 39 (1999 г.), Немчиновская 24 (2006), Московская 56 (2008), Немчиновская 57 (2009), Московская 40 (2011), Немчиновская 17 (2013), Немчиновская 85 (2021) и Московская 82 (совместно с Нижегородским НИИСХ, филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, районирован в 2021 г.). Сорт Московская 39 получен отбором из гибридной комбинации Обрий × Янтарная 50 и обладает свойством прямой транслокации азотсодержащих соединений из почвы в зерно в период его налива, усиливающих биосинтез запасных белков. Уникальность сорта состоит в том, что по всем показателям качества он стабильно превосходит все районированные ранее сорта, содержание белка в зерне выше. Благодаря сорту Московская 39 стало возможно стабильное производство зерна для хлебопечения в густонаселенной Центральной России (Сандухадзе и др., 2016). Площади посевов перечисленных сортов были опосредованно подсчитаны по данным Россельхозцентра за 2017–2019 гг. по количеству высеянных семян из расчета нормы высева 200 кг/га. Действительные же площади посевов значительно больше.

В настоящее время Государственное конкурсное сортоиспытание проходит сорт Московская 27, переданный в 2019 г.

Согласно переписи 1916 г., площади под озимыми культурами по губерниям центра Нечерноземья были следующими: озимая рожь – 1 196 448 га (99.7 %), озимая пшеница – 3120 (0.3 %) (Секун, 1954). Сейчас ситуация прямо противоположная. По данным Росстата (rosstat.gov.ru), доля озимой мягкой пшеницы в клине зерновых культур постоянно увеличивается (рис. 1).

К 2050 г., согласно прогнозу (Godfray et al., 2010; Tilman et al., 2011), мировой спрос на сельскохозяйственные культуры увеличится примерно вдвое за счет роста численности населения, потребления мяса и молочных продуктов, а также использования биотоплива. Пшеница – одна из основных продовольственных культур во всем мире, и потребность в новых сортах озимой мягкой пшеницы сегодня особенно актуальна (Сандухадзе, 2010; Ray et al., 2012; Кудряшов и др., 2016). Приоритетную роль в ее селекции для Нечерноземной зоны и других регионов РФ

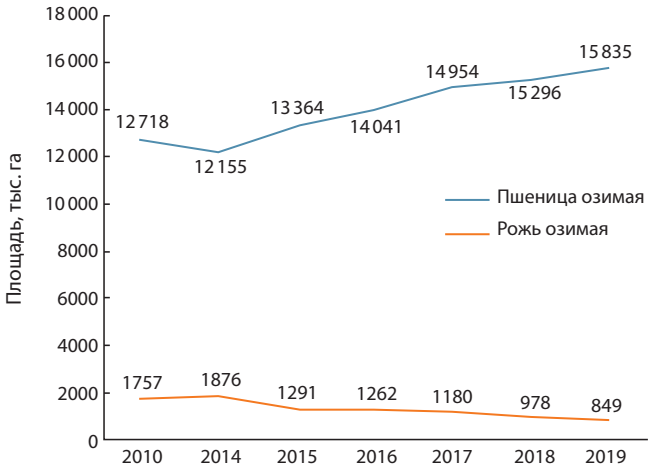

Рис. 1. Посевные площади озимой мягкой пшеницы и озимой ржи в хозяйствах всех категорий Российской Федерации.

Рис. 2. Снижение высоты растений сортов озимой мягкой пшеницы в результате селекции.

играет лаборатория селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы ФИЦ «Немчиновка». Далее мы рассмотрим основные направления селекции озимой пшеницы. Кроме указанных направлений, ведется работа на скороспелость, устойчивость к болезням и вредителям, засухоустойчивость и другие признаки и свойства.

Селекция на морозо- и зимостойкость

Многие авторы отмечают, что именно селекция на адаптивность позволяет сочетать в генотипе сорта высокую продуктивность и устойчивость к лимитирующим факторам внешней среды (Романенко, Лавренчук, 2011). Отбор в естественных условиях по этому признаку возможен только при суровой зиме, с ранними оттепелями весной, возвратными заморозками и другими неблагоприятными факторами.

В ФИЦ «Немчиновка» для сохранения высокого уровня зимостойкости в качестве одного из родителей в парных и беккроссных скрещиваниях обязательно используют местный районированный сорт. Сорта Мироновская 808, Памяти Федина, Московская 56 и Немчиновская 57 служат донорами морозо- и зимостойкости для зоны Нечерноземья.

Селекция на короткостебельность

Устойчивость к полеганию – одно из приоритетных направлений улучшения современных сортов. Базой для успешной гибридизации и последующего отбора может быть лишь внимательное отношение к формам местного происхождения наряду с постоянным поиском источников и доноров полезных признаков и свойств в мировом генофонде (Лихенко, 2008). Российские селекционеры уделяют внимание поиску, идентификации и созданию нового высокопродуктивного и короткостебельного исходного материала озимой пшеницы и других зерновых культур (Самофалова, 2016; Медведев и др., 2017; Дьячук и др., 2018).

Многочисленными исследованиями установлено, что полегание посевов не только снижает урожай, но и негативно сказывается на хлебопекарных и посевных качествах зерна (Packa et al., 2015; Khobra et al., 2019; Агеева и др., 2020). Основным методом повышения устойчивости к полеганию является уменьшение высоты растений. Донором данного признака для озимых сортов Нечерноземной зоны, как правило, выступает географически отдаленная форма. К достоинству короткостебельных форм можно отнести их высокую продуктивную кустистость, к минусам – низкую зимостойкость и массу 1000 зерен (Сандухадзе и др., 1996). В конце 1980-х гг. в скрещиваниях использовали полученный из сорта Безостая 1 под воздействием нитрозометилмочевины мутант Краснодарский карлик 1, который является донором гена *Rht-11* (Дивашук и др., 2012). Этот мутант присутствует в родословной сортов Инна и Памяти Федина, которые, в свою очередь, были использованы в качестве одной из родительских форм при создании сортов Немчиновская 24, Московская 56, Немчиновская 17, Галина, Немчиновская 57, Немчиновская 85 и Московская 27.

Начиная с 2008 г. в селекции на устойчивость к полеганию важную роль играл образец, поступивший из Италии под названием Agapik. Высота растений составляет 65–70 см. В скрещиваниях с ним были проработаны тысячи линий. Сорта Немчиновская 85 (Agapik × Памяти Федина) и Московская 27 (Лютесценс 982/08 × Московская 56) имеют в своей родословной этот образец. Линия Лютесценс 982/08 – парный гибрид Agapik × Памяти Федина (рис. 2).

Селекция на качество зерна

Последнее время производителей интересуют не только высокие урожаи, но и разные сорта, в том числе способные удовлетворять потребности рынка в увеличении содержания белка и массы теста (Vitale et al., 2020). Проблема качества зерна пшеницы является интегрирующим показателем взаимодействия генотипа сорта, природно-экологических особенностей, агротехнических и организационно-экономических условий возделывания (Rozbicki et al., 2014).

Признак «содержание суммарного белка в зерне» контролируется полигенно (Митрофанова, Хакимова, 2016). В настоящее время у пшеницы выявлено множество глав-

Таблица 2. Урожайность и содержание белка сортов озимой мягкой пшеницы при высокоинтенсивной технологии возделывания (2014–2016 гг.)

Сорт	2014		2015		2016		Среднее	
	Урожайность, т/га	Белок в зерне, %	Урожайность, т/га	Белок в зерне, %	Урожайность, т/га	Белок в зерне, %	Урожайность, т/га	Белок в зерне, %
Московская 56	11.7	14.9	13.0	13.7	13.4	15.4	12.7	14.7
Немчиновская 17	11.5	14.1	14.1	15.5	14.4	13.2	13.3	14.3
Немчиновская 57	10.5	14.8	11.7	13.8	13.2	12.4	11.8	13.7
Немчиновская 24	11.7	13.5	13.5	12.4	14.0	11.4	13.1	12.4
Галина	13.0	13.5	13.2	12.4	13.4	13.3	13.2	13.1
Московская 40	12.0	15.4	11.9	14.9	12.2	13.6	12.0	14.6
Московская 39	10.5	16.9	11.0	14.3	11.6	14.0	11.0	15.1

ных и минорных локусов, влияющих на количество белка в зерне, выраженность которого не стабильна в своем проявлении. Содержание белка в зерне и урожайность отрицательно коррелируют, что усложняет селекцию на повышение выраженности обоих признаков одновременно.

Отличительной особенностью сортов озимой мягкой пшеницы Немчиновской селекции считаются высокие показатели их качества. Для создания сортов с таким уровнем белка и клейковины мы используем в скрещиваниях в качестве доноров сорта Московская 39 и Московская 40 (получен индивидуальным отбором из Московская 39) в парных, ступенчатых и беккроссных скрещиваниях и в индивидуальных отборах для возможности совмещения в одном генотипе качественных показателей с высокой продуктивностью и адаптивностью нового селекционного материала (Сандухадзе и др., 2006).

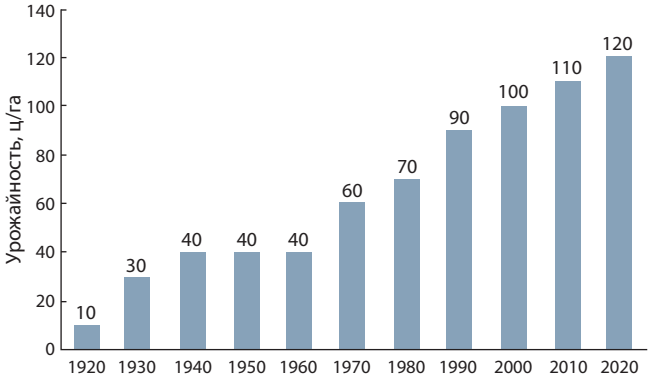

Рис. 3. Результаты селекции на урожайность озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне за столетний период (1920–2020 гг.).

Селекция на урожайность

Конечной целью производства пшеницы является получение высоких урожаев зерна. Урожайность – полигенный признак, на его формирование влияет много факторов. Основные слагаемые урожая: число продуктивных стеблей на 1 м^2 и масса зерна с колоса (число зерен, масса 1000 зерен) (Краснова, Живодерова, 2003; Гончаров, 2012; Ворончихин и др., 2018). Необходимо отметить, что современные методы селекции, такие как генотипирование, отбор с использованием молекулярных маркеров, редактирование генома и другие, не эффективны без полевых испытаний создаваемого материала (Hickey et al., 2019; Lozada et al., 2020). Для получения новых сортов проводят различные типы скрещивания (простые, сложные, беккроссы), родительские формы подбирают и по эколого-географическому принципу, и по элементам структуры урожая. Современные сорта селекции Центра являются высокоурожайными, адаптированными к условиям региона, их активно используют в скрещиваниях на эти признаки. Уровень продуктивности сортов Немчиновской селекции, полученный в полевых испытаниях, представлен в табл. 2.

Научная селекция позволила добиться увеличения продуктивности возделываемых сортов озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне более чем в 10 раз (рис. 3). С 70-х гг. прошлого столетия в Нечерноземной зоне основными возделываемыми сортами стали сорта селекции нашего Центра.

Заключение

Разработка и эффективное применение ведущими отечественными селекционерами передовых для своего времени методов и схем селекционного процесса, таких как гибридизация сортообразцов с выявленными хозяйственно ценными признаками и свойствами, отдаленная гибридизация мягкой пшеницы с пыреем и ППГ для получения зимостойких, устойчивых к болезням растений с повышенным качеством зерна, скрещивания географически отдаленных форм, использование прерывающихся беккроссов и создание нового морфоэкотипа сорта (короткостебельного, устойчивого к полеганию, с повышенными зимостойкостью и качеством зерна), позволили обеспечить Нечерноземье – густонаселенный регион Российской Федерации – собственным зерном. Новые сорта озимой пшеницы ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» обладают высокой адаптивностью к почвенно-климатическим условиям региона. Это позволяет получать в производстве стабильно высокие урожаи зерна с хорошими хлебопекарными качествами. За сто лет научной селекции урожайность

сортов мягкой озимой пшеницы увеличилась до 14.0 т/га и почти в 10 раз превышает урожайность сортов первых этапов селекции в регионе.

Список литературы / References

Агеева Е.В., Леонова И.Н., Лихенко И.Е. Полегание пшеницы: генетические и экологические факторы и способы преодоления. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2020;24(4):356-362. DOI 10.18699/VJ20.628.
[Ageeva E.V., Leonova I.N., Likhenko I.E. Lodging in wheat: genetic and environmental factors and ways of overcoming. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(4):356-362. DOI 10.18699/VJ20.628. (in Russian)]

Вавилов Н.И. Ботанико-географические соображения о возможности продвижения культуры озимой пшеницы в СССР. В: Гибель озимых хлебов и мероприятия по ее предупреждению. (Прил. 34 к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»). Л., 1929;265-274.
[Vavilov N.I. Botanical and geographical considerations on the possibility of promoting winter wheat culture in the USSR. In: The Death of Winter Crops and Measures to Prevent it. (Appendix No. 34 to "Proceed. on Applied Botany, Genetics and Breeding"). Leningrad, 1929;265-274. (in Russian)]

Вареница Е.Т. Методы, результаты и перспективы работ по созданию высокопродуктивных сортов озимой пшеницы для Нечерноземной полосы. В: Селекция и сортовая агротехника озимой пшеницы. (Науч. тр. ВАСХНИЛ). М., 1971;194-205.
[Varenitsa E.T. Methods, results, and prospects of work on raising highly productive varieties of winter wheat for the Non-Chernozem Zone. In: Breeding and Varietal Agrotechnology of Winter Wheat. (Proceedings of VASKHNIL). Moscow, 1971;194-205. (in Russian)]

Вареница Е.Т. Озимая пшеница. В: Неттевич Э.Д. (ред.). Высокопродуктивные сорта зерновых культур для Нечерноземья. М.: Моск. рабочий, 1987;5-43.
[Varenitsa E.T. Winter wheat. In: Nettevich E.D. (Ed.). Highly Productive Varieties of Grain Crops for the Non-Chernozem Zone. Moscow: Moskovskii Rabochii Publ., 1987;5-43. (in Russian)]

Ворончихин В.В., Пыльнев В.В., Рубец В.С., Ворончихина И.Н. Урожайность и элементы структуры урожая коллекции озимой гексаплоидной тритикале в центральном районе Нечерноземной зоны. *Изв. Тимирязев. с.-х. академии*. 2018;1:69-81. DOI 10.26897/0021-342X-2018-1-69-81.
[Voronchikhin V.V., Pylnev V.V., Rubets V.S., Voronchikhina I.N. Yield and elements of its structure of the winter hexaploid triticale collection in the Central region of the Non-Chernozem zone. *Izvestiya Timiryazevskoi Selskokhozyaistvennoi Academii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2018;1:69-81. DOI 10.26897/0021-342X-2018-1-69-81. (in Russian)]

Гончаров Н.П. К 250-летию селекции растений в России. *Информ. вестн. ВОГИС.* 2005;9(3):279-289.
[Goncharov N.P. To the 250th anniversary of plant breeding in Russia. *Informatsionnyy Vestnik VOGiS = The Herald of Vavilov Society for Geneticists and Breeding Scientists.* 2005;9(3):279-289. (in Russian)]

Гончаров Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей. Изд. 2-е, испр. и доп. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2012.
[Goncharov N.P. Comparative Genetics of Wheat and its Relatives. 2nd ed. Novosibirsk: Acad. Publ. House "Geo", 2012. (in Russian)]

Дивашук М.Г., Васильев А.В., Беспалова Л.А., Карлов Г.И. Идентичность генов короткостебельности *Rht-11* и *Rht-B1e*. *Генетика*. 2012;48(7):897-900.
[Divashuk M.G., Vasiliev A.V., Bespalova L.A., Karlov G.I. Identity of the *Rht-11* and *Rht-B1e* reduced plant height genes. *Russ. J. Genet*. 2012;48(7):761-763. DOI 10.1134/S1022795412050055.]

Дьячук Т.И., Кибкало И.А., Поминов А.В., Хомякова О.В., Акинина В.Н. Перспективные линии в селекции тритикале для условий Поволжья. *Зерновое хоз-во России*. 2018;5:39-43. DOI 2079-8725-2018-59-5-39-43.
[Dyachuk T.I., Kibkalo I.A., Pominov A.V., Khomyakova O.V., Akinina V.N. The promising lines in the breeding work with Triticale for the Povolzhie conditions. *Zernovoe Hozâjstvo Rossii = Grain Economy of Russia.* 2018;5:39-43. DOI 2079-8725-2018-59-5-39-43. (in Russian)]

Елина О.Ю. «Наш учитель» Дионисий Леопольдович Рудзинский: к истокам дисциплинарного строительства селекции растений в России. *Информ. вестн. ВОГиС*. 2007;11(3/4):575-590.
[Elina O.Yu. "Our teacher" Dionysy Leopoldovich Rudzinsky: Back to the sources of plant breeding in Russia. *Informatsionnyy Vestnik VOGiS = The Herald of Vavilov Society for Geneticists and Breeding Scientists.* 2007;11(3/4):575-590. (in Russian)]

Краснова Л.И., Живодерова С.П. Формирование продуктивного стеблестоя у районированных и перспективных сортов озимой пшеницы Южно-Уральского региона. В: Наука и хлеб (вопросы теории и практики). 2003;10:84-103.
[Krasnova L.I., Zhivoderova S.P. Formation of a productive stand in zoned and promising winter wheat varieties of the Southern Ural region. In: Science and Bread: Theoretical and Practical Issues. 2003; 10:84-103. (in Russian)]

Кудряшов И.Г., Беспалова Л.А., Пономарев Д.А. Актуальность сортовых структур при производстве озимой пшеницы в современных условиях. *Зерновое хоз-во России*. 2016;1:9-13.
[Kudryashov I.G., Bespalova L.A., Ponomarev D.A. Relevance of varietal structures in winter wheat production in present conditions. *Zernovoe Hozâjstvo Rossii = Grain Economy of Russia.* 2016;1: 9-13. (in Russian)]

Лапченко Г.Д. Применение метода отдаленной гибридизации в селекции озимой пшеницы. *Селекция и семеноводство*. 1967;2: 33-38.
[Lapchenko G.D. Application of the remote hybridization method in winter wheat breeding. *Selektsiya i Semenovodstvo = Breeding and Seed Production*. 1967;2:33-38. (in Russian)]

Лихенко И.Е. Использование в селекции яровой мягкой пшеницы мирового генофонда и местных сортов. *Сиб. вестн. с.-х. науки*. 2008;1:25-30.
[Likhenko I.E. The use of the world gene pool and local varieties in spring soft wheat breeding. *Sibirskiy Vestnik Selskokhozyaystvennoy Nauki = Siberian Herald of Agricultural Sciences*. 2008;1:25-30. (in Russian)]

Медведев А.М., Пома Н.Г., Осипов В.В., Лисеенко Е.Н., Дьяченко Е.В., Тупатилова О.В. Поиск источников короткостебельности в целях создания устойчивых к полеганию сортов озимой тритикале для Центрального Нечерноземья. *Зерновое хоз-во России*. 2017;3:43-46.
[Medvedev A.M., Poma N.G., Osipov V.V., Liseenko E.N., Dyachenko E.V., Tupatilova O.V. The search of the sources of short stem to grow tolerant to lodging varieties of winter Triticale for the Central Non-Chernozem region. *Zernovoe Hozâjstvo Rossii = Grain Economy of Russia.* 2017;3:43-46. (in Russian)]

Митрофанова О.П., Хакимова А.Г. Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2016;20(4):545-554. DOI 10.18699/VJ16.177.
[Mitrofanova O.P., Khakimova A.G. New genetic resources in wheat breeding for an increased grain protein content. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(4):545-554. DOI 10.18699/VJ16.177. (in Russian)]

Романенко А.А., Лавренчук Н.Ф. Селекция зерновых культур на устойчивость к абиотическим стрессорам. *Вестн. РАСХН*. 2011; 1:17-21.
[Romanenko A.A., Lavrenchuk N.F. Breeding of grain crops for resistance to abiotic stressors. *Vestnik RASKhN = Herald of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2011;1:17-21. (in Russian)]

Самофалова Н.Е. Мечта и явь академика И.Г. Калиненко в создании озимой твердой пшеницы. *Зерновое хоз-во России.* 2016;1:1-9.
[Samofalova N.E. Dreams and reality of the academician I.G. Kalinenko in creation of durum winter wheat. *Zernovoe Hozâjstvo Rossii = Grain Economy of Russia.* 2016;1:1-9. (in Russian)]

Сандухадзе Б.И. Селекция озимой пшеницы – важнейший фактор повышения урожайности и качества. *Достижения науки и техники АПК*. 2010;11:4-7.
[Sandukhadze B.I. Winter wheat breeding as the most important factor in increasing productivity and quality. *Dostizheniya Nauki i Tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*. 2010;11:4-7. (in Russian)]

Сандухадзе Б.И., Кочетыгов Г.В., Бугрова В.В. Целенаправленная селекция озимой пшеницы интенсивного типа для условий Нечерноземья на основе метода прерывающихся беккроссов. *С.-х. биология*. 1996;1:13-26.
[Sandukhadze B.I., Kochetygov G.V., Bugrova V.V. Targeted breeding of intensive winter wheat for Non-Chernozem conditions based on the method of intermittent backcrosses. *Selskokhozyaystvennaya Biologiya = Agricultural Biology.* 1996;1:13-26. (in Russian)]

Сандухадзе Б.И., Кочетыгов Г.В., Бугрова В.В. Сорта озимой пшеницы Инна, Памяти Федина и Московская 39. В: Основные итоги научных исследований по сельскому хозяйству в Центральном районе Нечерноземной зоны России (70 лет НИИСХ ЦРНЗ) РАСХН. М.: Немчиновка, 2001;210-214.
[Sandukhadze B.I., Kochetygov G.V., Bugrova V.V. Winter wheat varieties Inna, Pamyati Fedina and Moskovskaya 39. In: The Main Results of Scientific Research on Agriculture in the Central Region of the Non-Chernozem Zone of Russia (70th Anniversary of the Research Institute of Agriculture for the Central Non-Chernozem Zone). Moscow: Nemchinovka, 2001;210-214. (in Russian)]

Сандухадзе Б.И., Кочетыгов Г.В., Бугрова В.В., Рыбакова М.И., Беркутова Н.С., Давыдова Е.И. Методические основы селекции озимой пшеницы на урожайность и качество зерна в центре Нечерноземья России. *С.-х. биология*. 2006;3:3-12.
[Sandukhadze B.I., Kochetygov G.V., Bugrova V.V., Rybakova M.I., Berkutova N.S., Davydova E.I. Methodological bases of winter wheat breeding for grain yield and quality in the central Non-Chernozem Zone of Russia. *Selskokhozyaystvennaya Biologiya = Agricultural Biology.* 2006;3:3-12. (in Russian)]

Сандухадзе Б.И., Рыбакова М.И., Кочетыгов Г.В., Мамедов Р.З., Бугрова В.В., Сандухадзе К.Э. Продуктивность и качество сортов озимой пшеницы селекции МосНИИСХ «Немчиновка», возделываемых в центре России. В: Жученковские чтения II. Продовольственная безопасность сельского хозяйства России в XXI веке: Сб. науч. трудов. М., 2016;11(59):21-26.
[Sandukhadze B.I., Rybakova M.I., Kochetygov G.V., Mamedov R.Z., Bugrova V.V., Sandukhadze K.E. Productivity and quality of winter wheat varieties bred by Moscow NIISKH "Nemchinovka" and cultivated in central Russia. In: Zhuchenko Reading II. Food Security of Agriculture in Russia in the XXI Century. Collection of scientific works. Moscow, 2016;11(59):21-26. (in Russian)]

Секун П.Ф. Озимая пшеница в Нечерноземной полосе. М.: Сельхозиздат, 1954.
[Sekun P.F. Winter Wheat in the Non-Chernozem Zone. Moscow: Selkhozizdat Publ., 1954. (in Russian)]

Фляксбергер К.А. Замечания о работе с озимой пшеницей. В: Гибель озимых хлебов и мероприятия по ее предупреждению. (Прил. 34 к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»). Л.: Изд. ВИПБиНК, 1929;315-318.
[Flaksberger K.A. Remarks on work with winter wheat. In: The Death of Winter Bread and Measures to Prevent it. (Appendix No. 34 to "Proceed. on Applied Botany, Genetics, and Breeding"). Leningrad: VIPBiNK Publ., 1929;315-318. (in Russian)]

Godfray H.Ch.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 2010; 327:812-818. DOI 10.1126/science.1185383.

Hickey L.T., Haffer A., Robinson H., Jackson S.A., Leal-Bertioli S.C.M., Tester M., Gao C., Godwin I.D., Hayes B.J., Wulff B.B.H. Breeding crops to feed 10 billion. *Nat. Biotechnol.* 2019;37(7):744-754. DOI 10.1038/s41587-019-0152-9.

Khobra R., Sareen S., Meena B.K., Kumar A., Tiwari V.K., Singh G.P. Exploring the traits for lodging tolerance in wheat genotypes. *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2019;25(3):589-600. DOI 10.1007/s12298018-0629-x.

Lozada D.N., Carter A.H., Ward B.P. Gains through for grain yield in a winter wheat breeding program. *PLoS One*. 2020;15(4):e0221603. DOI 10.1371/journal.pone.0221603.

Packa D., Wiwart M., Suchowilska E., Dienkowska T. Morpho-anatomical traits of two lowest internodes related to lodging resistance in selected genotypes of *Triticum*. *Int. Agrophys*. 2015;29:475-483. DOI 10.1515/intag-2015-0053.

Ray D.K., Mueller N.D., West P.C., Foley J.A., Ramancuty N. Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nat. Commun*. 2012; 31:1293. DOI 1038/ncomms2296.

Rozbicki J., Ceglińska A., Gozdowski D., Wijata M. Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. *J. Cereal Sci.* 2014;61:126-132. DOI 10.1016/j.jcs.2014.11.001.

Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2011;108:20260-20264. DOI 10.1073/pnas.1116437108.

Vitale J., Adam B., Vitale P. Economics of wheat breeding strategies: focusing on Oklahoma hard red winter wheat. *Agronomy*. 2020; 10(2):238. DOI 10.3390/agronomy10020238.

ORCID ID
B.I. Sanduchadze orcid.org/0000-0001-7184-7645

Благодарности. Работа поддержана бюджетным финансированием и другими источниками.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.01.2021. После доработки 18.03.2021. Принята к публикации 18.03.2021.