Научная статья/Research Article
УДК 633.111.1: 631.526.32: 631.527(470.51)
DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-35-44

Ирина Валерьевна Торбина
Удмуртский ФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия
torbinaiv@udman.ru

ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Цель исследований – выявить адаптированные сорта озимой мягкой пшеницы для выращивания в условиях Удмуртской Республики. Конкурсное сортоиспытание проводили в экспериментальном севообороте Удмуртского НИИСХ – структурного подразделения УдмФИЦ УрО РАН в 2021–2024 гг. Объект исследований – девять сортов мягкой озимой пшеницы селекции УдмФИЦ УрО РАН и сорта Волжская К (стандарт), Московская 39. Полевые опыты закладывали на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с реакцией среды от слабокислой до нейтральной, с низким содержанием гумуса, очень высоким содержанием подвижного фосфора, средним и очень высоким содержанием обменного калия. В изучаемые годы метеорологические условия различались по условиям осенней и весенне-летней вегетации, условиям зимовки. В конкурсном сортоиспытании 2022–2024 гг. высокая средняя урожайность (6,48 т/га) отмечена у сорта 23.12/23 (Удмурт Дунне), прибавка к стандарту Волжская К составила 1,36 т/га. Высокую общую адаптивную способность также показал сорт Удмурт Дунне ($ОАС_i$ = 1,26 т/га), существенно превысив данный показатель стандарта Волжская К. Отзывчивостью на благоприятные условия среды отличались сорта А-332/2, Волжская К, Удмурт Дунне, 26.12/6, Чеберина, Московская 39, Любава. К экстенсивным можно отнести сорта Италмас, 2.05/3 и к-65040. Повышенной селекционной ценностью (ОАС с учетом стабильности) обладал сорт к-65040 (47,9), а также сорта 2.05/3, Чеберина, Италмас, Удмурт Дунне (28,7–35,9). Лимитирующими факторами для условий 2022 г. явились устойчивость к полеганию и распространение склеротиниоза. Существенная сильная положительная взаимосвязь урожайности с элементами продуктивности колоса, устойчивостью к мучнистой росе, датой наступления фаз колошения и восковой спелости выявлена в условиях засухи 2023 г. В 2024 г. сильное отрицательное влияние на урожайность имело развитие снежной плесени.

Ключевые слова: *озимая мягкая пшеница, конкурсное сортоиспытание пшеницы, урожайность пшеницы, адаптивная способность пшеницы, стабильность сортов пшеницы*

Для цитирования*:* Торбина И.В. Параметры адаптивности новых сортов озимой мягкой пшеницы в условиях Удмуртской Республики // Вестник КрасГАУ. 2025. № 9. С. 35–44. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-35-44.

Irina Valerievna Torbina
Udmurt FRC UB RAS, Izhevsk, Russia
torbinaiv@udman.ru

ADAPTABILITY PARAMETERS OF NEW WINTER SOFT WHEAT VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE UDMURT REPUBLIC

The objective of the study is to identify varieties of winter soft wheat adapted for cultivation in the conditions of the Udmurt Republic. Competitive variety testing was carried out in the experimental crop rotation of the Udmurt Research Institute of Agriculture, a structural subdivision of the Udmurt RC of the Ural

© Торбина И.В., 2025

Branch of the RAS, in 2021–2024. The object of research was nine varieties of soft winter wheat bred by the Udmurt RC of the Ural Branch of the RAS and the Volzhskaya K (standard) and Moskovskaya 39 varieties. Field experiments were carried out on sod-podzolic medium loamy soil with a pH ranging from slightly acidic to neutral, with a low humus content, a very high content of available phosphorus, and a medium and very high content of exchangeable potassium. In the studied years, meteorological conditions varied in terms of autumn and spring-summer vegetation conditions and wintering conditions. In the competitive variety testing of 2022–2024, high average yield (6.48 t/ha) was noted for the 23.12/23 (Udmurt Dunne) variety, the increase to the Volzhskaya K standard was 1.36 t/ha. The Udmurt Dunne variety also showed high general adaptive capacity (OACi = 1.26 t/ha), significantly exceeding this indicator of the Volzhskaya K standard. The varieties A-332/2, Volzhskaya K, Udmurt Dunne, 26.12/6, Cheberina, Moskovskaya 39, Lyubava were responsive to favorable environmental conditions. The varieties Italmas, 2.05/3 and K-65040 can be classified as extensive. The variety k-65040 (47.9), as well as the varieties 2.05/3, Cheberina, Italmas, Udmurt Dunne (28.7–35.9) had increased selection value (OAS taking into account stability). Limiting factors for the 2022 conditions were resistance to lodging and the spread of sclerotinia. A significant strong positive relationship between yield and the elements of ear productivity, resistance to powdery mildew, the date of the onset of the heading and wax ripeness phases was revealed under the drought conditions of 2023. In 2024, the development of snow mold had a strong negative impact on yield.

Keywords: *winter soft wheat, competitive wheat variety testing, wheat yield, wheat adaptability, wheat variety stability*

For citation*:* Torbina IV. Adaptability parameters of new winter soft wheat varieties in the conditions of the Udmurt Republic. *Bulletin of KSAU*. 2025;(9):35-44. (In Russ.). DOI: 10.36718/ 1819-4036-2025-9-35-44.

Введение. В последнее время перед учеными встает вопрос влияния изменения климата на урожайность основных сельскохозяйственных культур [1]. Так, проект по сравнению и улучшению сельскохозяйственных моделей (AgMIP) выявил отрицательное влияние изменения климата (температуры и осадков) на урожайность кукурузы, пшеницы, риса и сои за последнее столетие, а также усиление фотосинтеза и снижение потребности в воде агроэкосистем при тенденции к увеличению углекислого газа [2]. Потепление на 1 °С снизило урожайность пшеницы на (6,0 ± 3,3) % по всему миру, но заметна пространственная неоднородность, отчасти из-за асимметричной нелинейной реакции культур на температуру (например повышение урожайности в холодных регионах из-за потепления). Реакция урожайности на количество осадков не была одинаковой в разных исследованиях и географических регионах [3]. А.В. Дмитриевым, А.В. Ледневым [4] и А.В. Шумихиной [5] собраны и обобщены данные, свидетельствующие об изменении климата на территории Удмуртской Республики. Выявлено, что за последние 50 лет потепление произошло в основном за счет зимних и осенних месяцев. Основной вклад в повышение годовых сумм осадков в последние годы вносили месяцы март, апрель, октябрь и декабрь. Отмечается, что такое изменение погоды приводит к ухудшению фитосанитарной обстановки, повреждению озимой пшеницы болезнями выпревания – снежной плесенью и склеротиниозом [6].

В изменяющихся условиях среды селекция сельскохозяйственных культур должна быть адаптивной, а сорта – способными в неблагоприятных условиях давать максимальную продуктивность, а в благоприятных – с наибольшей полнотой их использовать. При этом возрастающее значение для реализации принципов опережающей селекции имеет многолетний мониторинг за изменениями климатических условий и развивающихся на их фоне изменений видового состава болезней и вредителей. Это позволяет глубже и осознанно вести селекцию на высокую адаптивность, повышение продуктивности и улучшение качества продукции полевых культур [7].

Цель исследований – выявление адаптированных сортов озимой мягкой пшеницы для выращивания в условиях Удмуртской Республики.

Задачи: оценить влияние условия возделывания на урожайность мягкой озимой пшеницы стандартных сортов за 1994–2024 г.; провести дисперсионный анализ урожайности озимой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании УдмФИЦ УрО РАН за 2021–2024 г.; определить параметры адаптивности новых сортов озимой

пшеницы селекции УдмФИЦ УрО РАН (общая адаптивная способность, специфическая адаптивная способность, реакция генотипа на улучшение условий среды, стабильность урожайности); с помощью корреляционного анализа выявить лимитирующие факторы среды и хозяйственно ценные признаки, оказывающие существенное влияние на формирование урожайности озимой мягкой пшеницы в годы исследований.

Объекты и методы. Изучение сортов в конкурсном сортоиспытании проводилось в 2021–2024 гг. в УдмФИЦ УрО РАН. Объект исследований – девять сортов мягкой озимой пшеницы селекции УдмФИЦ УрО РАН в сравнении с сортами Волжская К (стандарт) и Московская 39. Сорта получены методом простой и ступенчатой гибридизации выделенных по хозяйственно ценным признакам сортов культуры. Площадь делянки – 21–26 м^2, повторность – 4-кратная, размещение делянок рандомизированное. Закладку полевых опытов, основные наблюдения и учеты проводили согласно методике государственного сортоиспытания. Математическая обработка урожайности и других показателей проводилась методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (2014) с использованием программы MS Excel. Адаптивность сортов определяли по А.В. Кильчевскому и Л.В. Хотылевой (1985). Реакцию генотипа на улучшение условий среды определяли по величине коэффициента регрессии сорта на среду bi по S.A. Eberhart, W.A. Russell в изложении В.З. Пакудина, Л.М. Лопатиной (1984).

Полевые опыты закладывали на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с реакцией среды от слабокислой до нейтральной (5,0–6,1), с низким (2,0–2,2 %) содержанием гумуса, очень высоким (307–338 мг на 1 кг почвы) содержанием подвижного фосфора, средним – очень высоким (103–290 мг на 1 кг почвы) содержанием обменного калия. Предшественником селекционных посевов озимой пшеницы в 2022 и 2023 гг. были сидераты (клевер луговой 3 г.п. и донник белый), в 2024 г. – горчица на семена. Посев провели в оптимальные сроки (26–31 августа) сеялкой СН-16, «Клен». Весной после начала отрастания подкормка аммиачной селитрой (1,5 ц/га, 51 кг д.в./га) с последующим боронованием БЗСС-1,0. В конце фазы кущения – химическая защита гербицидами. Уборка комбайном «Сампо-160» в фазу полной спелости.

В изучаемые годы метеорологические условия различались по условиям осенней и весенне-летней вегетации, условиям зимовки. Зимовка 2021/22 и 2022/23 гг. была осложнена рядом неблагоприятных факторов – снижение температуры до критических значений (–16…–21 ºС) при высоте снежного покрова 1–5 см. Теплая и многоснежная зима этих лет привела к выпреванию культуры, распространению снежной плесени и склеротиниоза. Температурные условия зимы 2023/24 гг. были холодными, в среднем на 2–3 °С ниже среднемноголетнего. Осадков в виде снега выпало много – 116–215 % от нормы. Снег сошел в 2022 г. на неделю позднее среднемноголетнего (21–23 апреля), в 2023 и 2024 гг. – раньше обычного на три и две недели соответственно. Май и июнь 2022 г. отличились пониженными температурами (на 1,3–1,9 ºС ниже нормы), условия увлажнения были избыточными (ГТК –1,5 и 2,3). Напротив, в мае и июне 2023 г. наблюдали засуху (ГТК – 0,0–0,4). Май 2024 г. был существенно прохладнее обычного (на 4,3 ºС), а июнь – избыточно увлажненным (ГТК 1,6). Июль 2022–2024 гг. характеризовался сухими и засушливыми условиями (ГТК – 0,4–0,9).

Результаты и их обсуждение. В связи с изменением климата, в том числе и в Удмуртии, актуальным представилось проследить динамику урожайности озимой пшеницы. Анализ урожайности стандарта культуры в экологическом и конкурсном сортоиспытании, проведенный за 31 год (1994–2024 гг.), выявил существенное колебание урожайности (от 0 до 7,67 т/га), сильную вариабельность (V = 71 %). Тенденция изменения урожайности стандартного сорта (тренд) за все годы исследований находится на одном уровне (рис. 1). Однако, если сравнивать по десятилетиям, за последний период наблюдается снижение частоты формирования очень низкой урожайности или полной гибели посевов (менее 2,00 т/га). Так, за 1994–2004 гг. данное явление отметили четыре раза, в 2005–2014 гг. также четыре раза, в 2015–2024 гг. – дважды. Средняя урожайность за соответствующие периоды составила 3,74; 2,51 и 3,59 т/га.

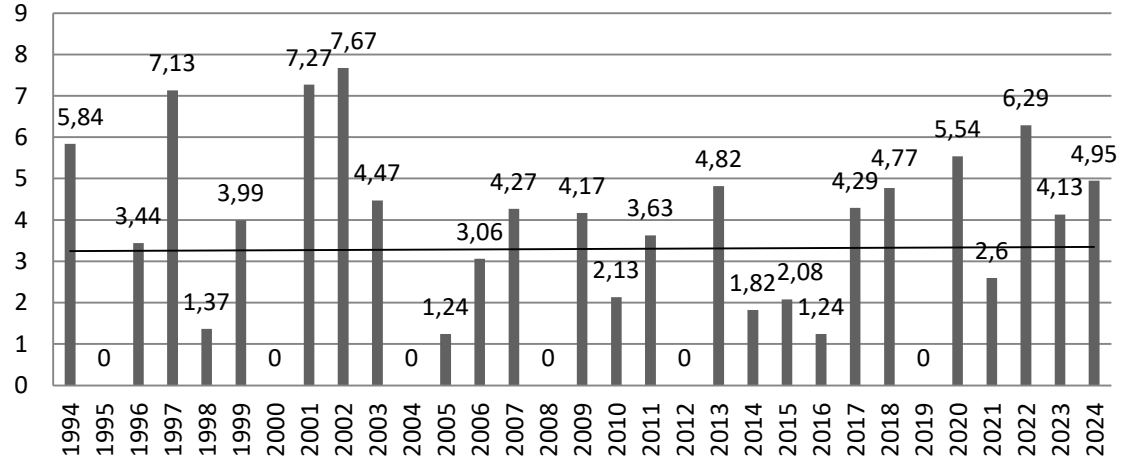

Рисунок 1 – Урожайность стандарта озимой пшеницы в экологическом и конкурсном сортоиспытании УдмФИЦ УрО РАН за 1994–2024 гг., т/га
The yield of the winter wheat standard in the ecological and competitive variety testing of the UdmFIC Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for 1994–2024

Средняя урожайность озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании в 2022–2024 гг. была высокой, колебалась от 4,40 до 6,48 т/га (табл. 1). Наибольшую урожайность сформировал сорт 23.12/23 (УдмуртДунне), прибавка к стандарту Волжская к составила 1,36 т/га. Существенно превысили урожайность стандарта Волжская к также сорта Чеберина и 26.12/6 – на 0,71 и 0,62 т/га соответственно.

Таблица 1

Урожайность озимой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании, т/га
Yield of winter soft wheat in competitive variety testing, t/ha

Генотип (фактор А)	Год (фактор В)			Средняя за 2022–2024 гг.	Отклонение от стандарта
	2022 (к)	2023	2024		
Волжская к (st)	6,29	4,13	4,95	5,12	–
Московская 39	5,46	4,04	4,41	4,64	–0,48
Италмас	4,37	4,30	5,26	4,64	–0,48
16.05/3	3,68	4,61	4,92	4,40	–0,72
2.05/3	5,49	4,55	5,21	5,08	–0,04
Чеберина	6,67	5,18	5,64	5,83	0,71
Любава	5,68	4,41	4,67	4,92	–0,20
А-332/2	6,92	4,43	4,62	5,32	0,20
26.12/6	6,88	4,98	5,37	5,74	0,62
23.12/23 (УдмуртДунне)	7,67	5,75	6,02	6,48	1,36
к-65040	5,45	5,44**	4,95	5,28	0,16
Среднее по фактору В	5,87	4,71	5,09		
$НСР_{05}$ по фактору А – 0,50 т/га					
$НСР_{05}$ по фактору В и взаимодействия АВ – 0,26 т/га					
$НСР_{05}$ частных различий – 0,84 т/га					
Индекс условий среды I_j	0,64	–0,51	–0,13		

Наиболее продуктивным был 2022 г. со средней урожайностью 5,87 т/га. Существенно более низкую среднюю урожайность получили в 2023 и 2024 гг., снижение составило 0,78 и 1,16 т/га ($НСР_{05}$ по фактору В 0,26 т/га). Сорт УдмуртДунне превышал урожайность стандарта во все исследуемые годы на 1,07–1,62 т/га ($НСР_{05}$ частных различий 0,84 – т/га). Сорта Че-

берина и к-65040 сформировали урожайность выше стандарта на 1,05 и 1,31 т/га соответственно в условиях 2023 г. В условиях избыточного увлажнения 2022 г. сорта Италмас и 16.05/3 существенно снизили урожайность – на 1,92–2,62 т/га в сравнении со стандартом вследствие полегания. Анализ урожайности сортов по годам показал, что сорт к-65040 формировал стабильную урожайность во все годы исследований (4,95–5,44 т/га), не снизив ее существенно в менее благоприятные 2023 и 2024 гг.

Показатель индекс условий среды также выявил, что наиболее благоприятными условиями характеризовался 2022 г. (I_j = 0,64). Менее благоприятными были условия 2023 г. (I_j = –0,51).

Дисперсионный анализ урожайности озимой пшеницы в конкурсном испытании выявил, что основную долю влияния в общей дисперсии имела среда (70,5 %), в меньшей степени – генотип и его взаимодействие с условиями года (20,4 и 7,3 % соответственно) (табл. 2).

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа урожайности озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании (2022–2024 гг.)
Results of the variance analysis of winter wheat yields in competitive variety testing (2022–2024)

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Вклад факторов, %	$F_ф$	F_{05}
Общая	14 215,0	131				
Генотип (А)	4 441,7	10	444,2	20,4	12,2	1,9
Год (В)	3 063,5	2	1 531,8	70,5	42,1	3,1
Взаимодействия АВ	3 178,2	20	158,9	7,3	4,4	1,7
Остаток (ошибки)	3 531,6	97	36,4	1,7		

Выявленная высокая достоверность различий между эффектами сортов (генотипов), сред и взаимодействия позволила определить параметры их адаптивности. Результаты изучения общей и специфической адаптивности, стабильности генотипов в конкурсном сортоиспытании 2022–2024 гг. представлены в таблице 3. Для выделения генотипов, которые гарантируют максимальную среднюю урожайность во всей совокупности сред, использовали показатель общей адаптивной способности (*OACi*) [8]. Среди изучаемых сортов конкурсного сортоиспытания сорт УдмуртДунне показал наибольшую адаптивную способность (OAC_i = 1,26 т/га), существенно превысив данный показатель стандарта Волжская К, *var* (v_i) – 0,76 т/га.

Варианса CAC_i показывает приспособленность к определенной среде. Наибольшую существенную специфическую адаптивную способность к условиям 2023 г. имели сорта 16.05/3 (0,21 т/га) и к-65040 (0,16 т/га), что на 1,16–1,21 т/га больше данного показателя стандарта (*var* CAC_i 1,13 т/га). Условия 2022 г. отрицательно сказались на урожайности сортов Италмас и 16.05/3 (CAC_i –0,27 и –0,72 т/га), значительно (на 1,43–1,88 т/га) ниже данного показателя стандарта Волжская К.

Варианса взаимодействия ($\sigma^2_{(GxE)gi}$) характеризует способность генотипа вступать во взаимодействие со средами. О приспособленности к широкому набору сред говорит небольшое значение показателя, об узкоадаптированности к определенному виду сред – высокое значение. Наименьшие показатели $\sigma^2_{(GxE)gi}$ имели сорта Московская 39, Любава, Чеберина, 2.05/3 (–0,04–0,01), самые высокие – 16.05/3, Италмас, А-332/2 (0,63–1,35).

Адаптивные свойства сортов характеризует коэффициент экологической пластичности *(bi),* который отражает реакцию сорта на изменение условий выращивания. При *bi* > 1 сорт обладает бóльшей отзывчивостью на улучшение условий выращивания, его можно отнести к интенсивным. При показателе *bi* < 1 сорт реагирует слабее на улучшение условий среды, его принято называть экстенсивным. При значении коэффициента *bi* = 1 сорт относят к полуинтенсивным, так как изменение признака у такого сорта адекватно изменению условий выращивания [9]. Высокую отзывчивость на благоприятные условия среды показали сорта А-332/2 (*bi* = 2,29), Волжская К (*bi* = 1,86*)*, УдмуртДунне (*bi* = 1,74*)*, 26.12/6 (*bi* = 1,70), Чеберина (*bi* = 1,30), Московская 39 (*bi* = 1,25), Любава (*bi* = 1,13). К экстенсивным можно отнести сорта Италмас, 2.05/3 и к-65040 (*bi* = –0,12...0,75).

Таблица 3

Параметры общей и специфической адаптивности и стабильности генотипов конкурсного сортоиспытания (2022–2024 гг.)
Parameters of general and specific adaptability and stability of competitive variety testing genotypes (2022–2024)

Генотип	Общая адаптивная способность, OAC_i (v_i)*	Специфическая адаптивная способность CAC, (d_k+vd_{ik}) **			Взаимодействие генотип – среда, $\sigma^2(GxE)_{gi}$	Нелинейность ответа генотипа на среду, I_{gi}	Относительная стабильность, s_{gi}	Селекционная ценность, $СЦГ_i$	Коэффициент регрессии, b_i	Варианса стабильности, S^2
		2022	2023	2024						
Волжская К (стандарт)	-0,10	1,17	-0,99	0,09	0,20	0,18	21	1,33	1,86	0,7
Московская 39	-0,59	0,82	-0,60	0,04	-0,03	-0,07	15	2,15	1,25	0,6
Италмас	-0,58	-0,27	-0,34	0,88	0,66	2,98	10	2,96	-0,12	56,4
16.05/3	-0,82	-0,72	0,21	0,78	1,35	3,74	14	2,25	-0,93	24,5
2.05/3	-0,14	0,41	-0,53	0,39	0,01	0,04	8	3,59	0,75	7,8
Чеберина	0,61	0,84	-0,65	0,07	-0,03	-0,05	12	3,25	1,30	0,1
Любава	-0,30	0,76	-0,51	0,01	-0,04	-0,11	13	2,68	1,13	1,6
А-332/2	0,10	1,60	-0,89	-0,44	0,63	0,34	26	0,43	2,29	25,7
26.12/6	0,52	1,14	-0,76	-0,11	0,13	0,13	17	2,25	1,70	3,6
УдмуртДунне	1,26	1,19	-0,73	-0,20	0,12	0,11	16	2,87	1,74	8,5
К-65040	0,06	0,17	0,16	-0,07	0,30	16,12	3	4,79	0,10	15,6

(*) var (v_i) 0,76 т/га; (**) *var* (d_k+vd_{ik}) 1,13 т/га.

Варианса стабильности (S^2) показывает, насколько надежно сорт соответствует той пластичности, которую оценил коэффициент регрессии *bi*. Чем ближе S^2 к нулю, тем меньше отличаются фактические значения от теоретических, расположенных на линии регрессии. Таким образом, по результатам конкурсного сортоиспытания для получения высокой урожайности в благоприятных условиях лучшими будут сорта с высоким показателем *bi* и низким S^2 (0,00–0,09) – Волжская К, 26.12/6, УдмуртДунне, Чеберина, Московская 39, Любава.

Варианса $I_{gi\ a}$ – это показатель нелинейности ответа i-го генотипа на среду. Сорта Италмас, 16.05/3 и, в особенности к-65040, который показал нелинейный ответ на условия среды (I_{gi} 2,98-16,12). У остальных сортов преобладала линейная реакция ($I_{gi} \rightarrow 0$).

В адаптивной селекции, помимо оценки селекционного материала по *ОАС* генотипов к ряду сред, отбор ценных сортов может вестись также на основе *ОАС* с учетом стабильности (показатель *СЦГ*). Наибольшей селекционной ценностью обладал сорт к-65040 (47,9), а также сорта 2.05/3, Чеберина, Италмас, УдмуртДунне (28,7–35,9).

Методика А.В. Кильчевского и Л.В. Хотылевой (1985) позволяет оценить среду как фон отбора. Максимальную продуктивность генотипы обеспечили в 2022 г., минимальную – в 2023 г. Наиболее высокая дифференцирующая способность среды ($\sigma^2ДССк$) по урожайности отмечена в 2022 г., в другие исследуемые годы она ниже. Относительная дифференцирующая способность среды S_{ek} позволит оценить результаты с разным набором сред, генотипов культур и признаков. Она колебалась от 7 % в 2024 г. до 19 % в 2022 г. Изменчивость урожайности по годам носила преимущественно линейный характер в 2022 и 2023 гг. (I_{ek} составил 0,33–0,43, $I_{ek} \rightarrow 0$), в 2024 г. – нелинейный (I_{ek} = 0,76, $I_{ek} \rightarrow 1$). Коэффициент компенсации (K_{ek}) был значительно выше единицы в 2022 г., что говорит о том, что в этом году преобладали эффекты дестабилизации, фон провокационный. Условия 2023 и 2024 гг. обладали невысокой дифференцирующей способностью, фон этих условий стабилизирующий.

Таблица 4

Параметры среды как фон для отбора
Environmental parameters as a background for selection

Год	Продуктивность среды, $u + d_k$	Дифференцирующая способность, $\sigma^2 ДСС_k$	Относительная дифференцирующая способность, S_{ek}	Коэффициент нелинейности ответа генотипа на среду, I_{ek}	Коэффициент компенсации, K_{ek}	Фон
2022	5,87	1,29	19	0,33	4,48	Анализирующий
2023	4,77	0,22	10	0,43	0,78	Стабилизирующий
2024	5,09	0,14	7	0,76	0,48	Стабилизирующий

Корреляция между урожайностью и хозяйственно ценными признаками позволит выявить элемент, определяющий или имеющий существенное влияние на формирование урожайности озимой пшеницы в реальных условиях года. Предыдущими исследованиями, проведенными нами на коллекции озимой мягкой пшеницы ВИР в 2002, 2006–2009, 2011–2014 гг. [10, 11], 2016–2017 гг. [12], было показано определяющее влияние в формировании урожайности густоты продуктивного стеблестоя и перезимовки, в 2017–2019 гг. [13], 2022–2024 гг. – густоты продуктивного стеблестоя. В конкурсном сортоиспытании в среднем за 2022–2024 гг. урожайность существенно в средней степени зависела от массы зерна с колоса (r = 0,37), числа зерен в колосе (r = 0,47), длины колоса (r = 0,67), продуктивной кустистости (r = 0,43); несущественно в средней степени от числа колосков в колосе; несущественно в слабой степени – от перезимовки, устойчивости к полеганию, количества продуктивных стеблей (рис. 2, 3). Следует отметить, что в исследуемые годы, несмотря на поражение озимой пшеницы болезнями выпревания, перезимовка культуры составила в 2022 г. в среднем 78 %, в 2023 г. – 93 %, в 2024 г. – 87 %. Высокий уровень перезимовки, наблюдаемый в этот период, обеспечил преимущество сортам, формирующим генетически обусловленные повышенные показатели элементов продуктивности колоса (масса 1000 зерен и количество зерен в колосе).

Однако по годам наблюдается другая зависимость. В 2022 г. основное положительное влияние на урожайность сортов оказывала устойчивость к полеганию (r = 0,77). Выявлена средняя существенная отрицательная взаимосвязь урожайности с распространением склеротиниоза (r = –0,60), с другими показателями – несущественная. Действительно, условия избыточного увлажнения, пониженные температуры воздуха в критический период водопотребления – фазу выхода в трубку–колошения благоприятствовали росту озимой пшеницы и формированию более высокого урожая. Так, средняя высота растений в конкурсном сортоиспытании в этом году составила 118 см, в 2023 г. – 78 см, в 2024 г. – 85 см. Ливневые дожди, прошедшие в июне, послужили провокационным фоном для оценки селекционного материала на устойчивость к полеганию. В засушливый 2023 г. существенное сильное положительное влияние оказывали масса зерна с колоса, число зерен в колосе, длина колоса, число колосков в колосе, а также устойчивость к мучнистой росе, дата наступления фаз колошения и восковой спелости (r = 0,68–0,80). Зависимость от перезимовки – существенная средняя положительная (r = 0,62). В 2024 г. отметили существенную сильную отрицательную связь урожайности с развитием снежной плесени (r = –0,83), существенную среднюю положительную – с длиной колоса и продуктивной кустистостью (r= 0,65–0,67), несущественную среднюю – перезимовкой (r = 0,49).

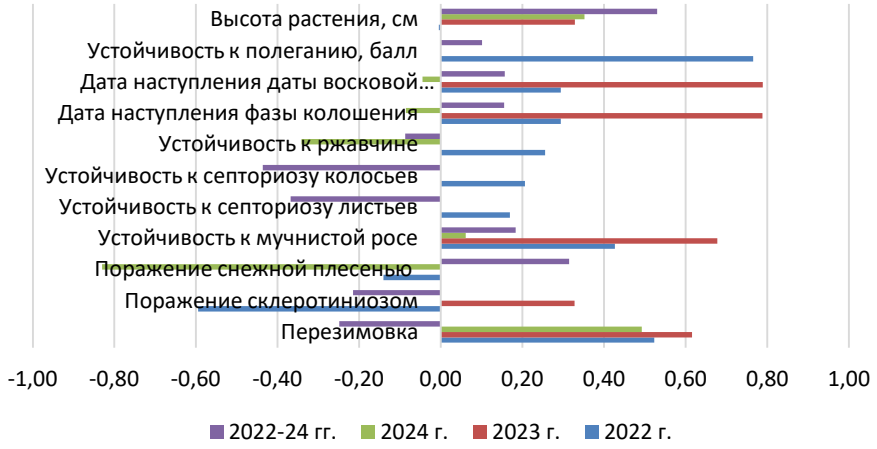

Рис. 2. Результаты корреляционного анализа урожайности с хозяйственно-биологическими показателями озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании (2022–2024 гг.). Число степеней свободы в 2022, 2023, 2024 гг. – 7–9, в среднем за 2022–2024 гг. – 20–31.

Results of correlation analysis of yield with economic and biological indicators of winter wheat in competitive variety testing (2022–2024). The number of degrees of freedom in 2022, 2023, and 2024 is 7–9, with an average for 2022–2024 of 20–31.

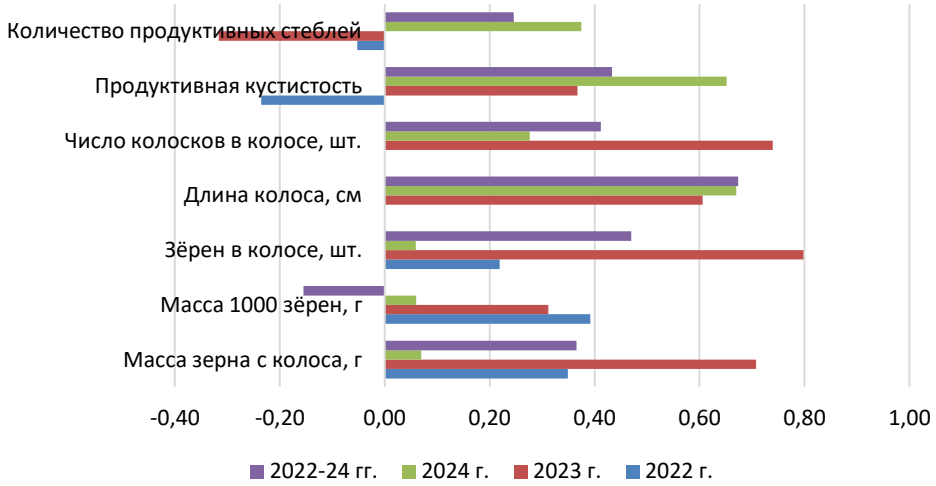

Рис. 3. Результаты корреляционного анализа урожайности со структурой урожайности озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании (2022–2024 гг.). Число степеней свободы в 2022, 2023, 2024 гг. – 9, в среднем за 2022–2024 гг. – 20–31.

Results of the correlation analysis of yield with the structure of winter wheat yield in competitive variety testing (2022–2024). The number of degrees of freedom in 2022, 2023, and 2024 is 9, with an average for 2022–2024 of 20–31.

Заключение

1. Анализ урожайности озимой пшеницы, проведенный за 31 год (1994–2024 гг.), выявил, что тренд урожайности за все годы исследований находится на одном уровне. Однако, за последнее десятилетие наблюдается снижение частоты формирования очень низкой урожайности или полной гибели посевов (менее 2,00 т/га).

2. В конкурсном сортоиспытании 2022–2024 гг. высокая средняя урожайность (6,48 т/га) отмечена у сорта 23.12/23 (УдмуртДунне), прибавка к стандарту Волжская к составила 1,36 т/га.

3. Высокую адаптивную способность показал сорт УдмуртДунне (OAC_i = 1,26 т/га), существенно превысив данный показатель стандарта Волжская К.

4. Наибольшую существенную специфическую адаптивную способность к условиям 2023 г. имели сорта 16.05/3 (0,21 т/га) и к-65040 (0,16 т/га), что на 1,15–1,20 т/га больше данного показателя стандарта (*var* CAC_i 1,13 т/га).

5. Высокую отзывчивость на благоприятные условия среды показали сорта А-332/2, Волжская К, УдмуртДунне, 26.12/6, Чеберина, Московская 39, Любава. К экстенсивным можно отнести сорта Италмас, 2.05/3, и к-65040.

6. Высокой селекционной ценностью (*OAC* с учетом стабильности) обладал сорт к-65040 (47,9), а также сорта 2.05/3, Чеберина, Италмас, УдмуртДунне (28,7–35,9).

7. Лимитирующими факторами для условий 2022 г. явились устойчивость к полеганию и распространение склеротиниоза. Существенная сильная взаимосвязь урожайности с элементами продуктивности колоса, устойчивостью к мучнистой росе, датой наступления фаз колошения и восковой спелости выявлена в условиях засухи 2023 г. В 2024 г. сильное отрицательное влияние на урожайность имело развитие снежной плесени.

Список источников

1. Kole C., Muthamilarasan M., Henry R., et al. Genomics-assisted breeding for generation of climate resilient crops // Frontiers in Plant Science. 2015. Vol. 6. DOI: 10.3389/fpls.2015.00563.
2. Lin T.-S., Song Y., Jain A. K., et al. Effects of environmental and management factors on worldwide maize and soybean yields over the the 20th and 21st centuries // Biogeosciences Discussions. 2020. P. 1–25. DOI: 10.5194/bg-2020-68.
3. Hu T., Zhang X., Khanal S., et al. Climate change impacts on crop yields: A review of empirical findings, statistical cropmodels, and machine learning methods // Environmental Modelling and Software. 2024. Vol. 179. P. 106–119. DOI: 10.1016/j.envsoft.2024.106119.
4. Дмитриев А.В., Леднев А.В. Закономерности изменения агроклиматических показателей за период с 1959 по 2008 год на территории Удмуртской Республики и их влияние на урожайность основных сельскохозяйственных культур: монография. Ижевск: ИжГСХА, 2015. 141 с.
5. Шумихина А.В. Динамика режима осадков в Удмуртской Республике и их связь с индексами атмосферной циркуляции // Географический вестник. 2017. № 1 (40). С. 73–85. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-73-85.
6. Туктарова Н.Г., Курылева А.Г., Жирных С.С., и др. Озимые зерновые культуры в Удмуртской Республике: монография. Ижевск: ФГБНУ Удмуртский НИИСХ, 2017. 120 с.
7. Прянишников А.И. Научные основы адаптивной селекции в Поволжье. М.: РАН, 2018. 96 с.
8. Тулякова М.В., Баталова Г.А., Салтыков С.С., и др. Урожайность и адаптивная способность бразцов овса пленчатого в условиях Кировской области // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1 (33). С. 125–134. DOI: 10.5281/zenodo.7898532.
9. Бабайцева Т.А., Серебренникова И.Н., Вафина Э.Ф., и др. Оценка адаптивных свойств сортов озимой тритикале по урожайности в Среднем Предуралье // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25, № 4. С. 551–560. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.4.551-560.
10. Торбина И.В. Корреляция признаков урожайности озимой пшеницы в Среднем Предуралье // Владимирский земледелец. 2016. № 4 (78). С. 33–35.
11. Торбина И.В., Хакимова А.Г. Исходный материал для селекции озимой пшеницы // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 6. С. 34–37. DOI: 10.30850/vrsn/2018/6/34-37.
12. Торбина И.В. Исходный материал для селекции озимой пшеницы в Удмуртской Республике. В сб.: Сателлитnsq симпозиум V Международной конференции «Генофонд и селекция растений», Новосибирск, 11–13 ноября 2020 г. Новосибирск: ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, 2020. С. 155–159. DOI: 10.18699/GPB2020-115.
13. Торбина И.В., Фардеева И.Р. Адаптивность коллекционных образцов озимой пшеницы к условиям Среднего Предуралья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 2 (62). С. 43–48. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-43-48.

References

1. Kole C, Muthamilarasan M, Henry R, et al. Genomics-assisted breeding for generation of climate resilient crops. *Frontiers in Plant Science*.2015;6. DOI: 10.3389/fpls.2015.00563.
2. Lin T-S, Song Y, Jain AK, et al. Effects of environmental and management factors on worldwide maize and soybean yields over the the 20th and 21st centuries. *Biogeosciences Discussions*.2020:1-25. DOI: 10.5194/bg-2020-68.
3. Hu T, Zhang X, Khanal S, et al. Climate change impacts on crop yields: A review of empirical findings, statistical cropmodels, and machine learning methods. *Environmental Modelling and Software*.2024;179:106-119. DOI:10.1016/j.envsoft.2024.106119.
4. Dmitriyev AV, Lednev AV. *Zakonomernosti izmeneniya agroklimaticheskikh pokazateley za period s 1959 po 2008 god na territorii Udmurtskoy Respubliki i ikh vliyaniye na urozhaynost' osnovnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*: monografiya. Izhevsk: IzhGSKHA. 2015. 141 p. (In Russ.).
5. Shumikhina AV. Precipitation pattern dynamics in the Udmurt Republic and its connection with atmospheric circulation index. *Geographical bulletin*. 2017;1:73-85. (In Russ.). DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-73-85.
6. Tuktarova NG, Kuryleva AG, Zhirnykh SS, et al. *Ozimyye zernovyye kul'tury v Udmurtskoy Respublike*: monografiya. Izhevsk: FGBNU Udmurt Research Institute of Agricultural Sciences, 2017. 120 p. (In Russ.).
7. Pryanishnikov A.I. *The scientific foundations of adaptive breeding in the Volga Region*. Moscow: RAS, 2018. 96 p.
8. Tulyakova MV, Batalova GA, Saltykov SS, et al. Productivity and adaptive ability of filmy oat samples under conditions of the Kirov region. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*. 2023;1:25-134. (In Russ.). DOI: 10.5281/zenodo.7898532.
9. Babaytseva TA, Serebrennikova IN, Vafina EF, et al. Assessment of adaptive properties of winter triticale cultivars in the Middle Urals. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(4):551–560. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.4.551-560.
10. Torbina IV. Korrelyatsiya priznakov urozhaynosti ozimoy pshenitsy v Srednem Predural'ye. *Vladimir Agricolist*. 2016; 4:33-35. (In Russ.).
11. Torbina IV, Khakimova AG. Parent material for winter wheat selection. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2018;6:34-37. (In Russ.). DOI: 10.30850/vrsn/2018/6/34-37.
12. Torbina IV. Source material for winter wheat breeding in the Udmurt Republic. In: *Satellitnyj simpozium V Mezhdunarodnoy konferentsii* "*Genofond i selektsiya rasteniy",* Novosibirsk; 11–13 Nov 2020; Novosibirsk: FRC Institute of Cytology and Genetics of the SB RAS; 2020. P. 155–159. (In Russ.). DOI: 10.18699/gpb2020-115.
13. Torbina I, Fardeeva I. Adaptability of winter wheat from the institute of plant industry (VIR) collection in the Cis-Middle Urals. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2021;2:43-48. (In Russ.). DOI: 10.12737/2073-0462-2021-43-48.

Статья принята к публикации 23.06.2025 / The article accepted for publication 23.06.2025.

Информация об авторах:

Ирина Валерьевна Торбина, старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук

Information about the authors:

Irina Valerievna Torbina, Senior Researcher**,** Candidate of Agricultural Sciences