

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.19:631.524.85.85(470.61)

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-72-78

**АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
В КОНТРАСТНЫХ УСЛОВИЯХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ
НА СРЕДНЕМ ДОНУ**

К. Н. Бирюков, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии и первичного семеноводства, biryukov.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-4524-571X;

А. И. Грабовец, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий отделом селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, grabovets_ai@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1530-7721;

М. А. Фоменко, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы, fomenko.marina.1602@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5385-6863;

О. В. Бирюкова, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства тритикале, biryukova.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-8155-5371;

И. В. Ляшков, научный сотрудник лаборатории агробиологии и первичного семеноводства, i.lyahkov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0278-9354

ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»,

346735, Ростовская область, пос. Рассвет, ул. Институтская, д. 1; e-mail: dzni@mail.ru

Исследования проведены в 2012–2018 гг. с целью изучения адаптивного потенциала сортов озимой пшеницы в зависимости от уровня минерального питания в почвенно-климатических условиях севера Ростовской области. Материалом для исследования стали 10 сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ ФРАНЦ. В период с 2012 по 2014 г. были изучены 6 сортов пшеницы (первая группа), в 2015–2018 гг. – 4 сорта (вторая группа). Почва опытного участка представлена черноземом южным среднemosным карбонатным. Схема опыта включала в себя 12 фонов минерального питания. Посевы размещали по черному пару, норма высева – 4 млн всхожих семян на 1 га по каждому агроварианту. Агроклиматические условия в годы закладки опыта были контрастными. В результате исследований было установлено, что в первой группе сортов на формирование урожайности оказал наибольшее влияние фактор «сорт» (64,4 %), во второй группе – фактор «агрофон» (71,0 %). Продуктивные возможности (по коэффициенту адаптивности) сортов Донская лира, Донна, Золушка, Боярыня и Донэра были высокими, они составили 101–108 %. В контрастных условиях минерального питания эти же сорта обладали оптимальным соотношением между потребностями генотипа и уровнем агрофона. Сорта Боярыня и Донна в своих группах сформировали максимальную урожайность. Она составила у Боярыни 6,71 т/га зерна, у Донны – 6,42 т/га. В ходе проведения работ было выявлено, что высокой приспособленностью к лимитированному количеству удобрений обладают сорта Миссия и Тарасовская 70. Оптимальное сочетание параметров экологической пластичности и стабильности было выявлено у сортов Донская лира, Боярыня, Вестница, Донстар, Донэра. Они имели широкий диапазон приспособительных возможностей, поэтому в условиях производства способны давать стабильный урожай зерна при различных вариациях уровня минерального питания.

Ключевые слова: сорт, озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), агрофон, урожайность, коэффициент адаптивности, пластичность, стабильность.

Для цитирования: Бирюков К. Н., Грабовец А. И., Фоменко М. А., Бирюкова О. В., Ляшков И. В. Адаптивный потенциал сортов озимой пшеницы в контрастных условиях минерального питания на Среднем Дону // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 72–78. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-72-78.

**ADAPTIVE POTENTIAL OF WINTER WHEAT VARIETIES
UNDER CONTRASTING CONDITIONS OF MINERAL NUTRITION
IN THE MIDDLE DON**

K. N. Biryukov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for agrobiolology and primary seed production, biryukov.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-4524-571X;

A. I. Grabovets, Doctor of Agricultural Sciences, professor, correspondence member of RAS, head of the department of wheat and triticale breeding and seed production, grabovets_ai@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1530-7721;

M. A. Fomenko, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory for wheat breeding and seed production, fomenko.marina.1602@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5385-6863;

O. V. Biryukova, researcher of the laboratory for triticale breeding and seed production, biryukova.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-8155-5371;

I. V. Lyashkov, researcher of the laboratory for agrobiolology and primary seed production, i.lyahkov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0278-9354

FSBSI "Federal Rostov Agricultural Research Center",

346735, Rostov region, Aksay district, v. of Rassvet, Institutskaya Str., 1; e-mail: dzni@mail.ru

The current study was carried out to research the adaptive potential of winter wheat varieties depending on the level of mineral nutrition in the soil and climatic conditions of the north of the Rostov region in 2012–2018. The objects of the study were 10 winter wheat varieties bred by FGBSI FRARC. Between 2012 and 2014 there were studied 6 wheat varieties (the first group), in 2015–2018 there were studied 4 ones (second group). The soil of the experimental plot was represented by southern medium-thick calcareous chernozem. The experimental scheme included 12 backgrounds of mineral nutrition. Crops were laid weedfree fallow, the seeding rate was 4 million germinating seeds per 1 ha for each agricultural variant. Agro-climatic conditions in the experimental years were contrasting. As a result of the study, there was found that in the first group of varieties, the factor 'variety' had the greatest influence on productivity formation (64.4 %), in the second group it was the factor 'agrobbackground' (71.0 %). Productive possibilities (according to the coefficient of adaptability) of the varieties 'Donskaya Lira', 'Donna', 'Zolushka', 'Boyarynya' and 'Donera' were high, they amounted to 101–108 %. In contrasting conditions of mineral nutrition, the above listed varieties had an optimal ratio between the needs of the genotype and the level of the agricultural background. The varieties 'Boyarynya' and 'Donna' in their groups formed the maximum yield with 6.71 t/ha of for 'Boyarynya' and 6.42 t/ha for 'Donna'. In the course of the current work, there was found that the varieties 'Missiya' and 'Tarasovskaya 70' had high adaptability to a limited amount of fertilizers. The optimal combination of parameters of ecological adaptability and stability were found for the varieties 'Donskaya Lira', 'Boyarynya', 'Vestnitsa', 'Donstar', 'Donera'. They had a wide range of adaptive capabilities, therefore, under production conditions, they could produce a stable grain yield with various variations in the level of mineral nutrition.

Keywords: variety, winter wheat (*Triticum aestivum* L.), agricultural background, productivity, coefficient of adaptability, stability.

Введение. Стрессовое воздействие климатических факторов оказывает существенное влияние на рост и развитие растений, вызывая снижение урожайности сельскохозяйственных культур (Тетяников и др., 2021). Это указывает на необходимость селекции сортов, адекватно реагирующих на изменения условий вегетации. Считается, что особый приоритет должна получить селекция на устойчивость к контрастным погодным условиям с учетом специфической приспособленности сортов к доминирующим стрессовым факторам конкретного региона (Волкова и др., 2020). Поэтому для субрайонов с волатильными погодными условиями, какой является Ростовская область, селекция должна иметь четко выраженную адаптивную направленность (Крохмаль и др., 2020).

Главная отличительная особенность адаптированных сортов – сочетание высокой потенциальной продуктивности с устойчивостью к наиболее распространенным в регионе абиотическим и биотическим стрессорам, а также доминирование генотипа над нерегулируемыми факторами внешней среды (Кинчаров и др., 2022). Наиболее ценными являются сорта, имеющие более высокий средний уровень урожайности и наименьший размах его колебаний при изменяющихся условиях выращивания. В благоприятных условиях предпочтительны сорта с высокой потенциальной продуктивностью, а в экстремальных условиях урожайность сорта должна сочетаться с высокой экологической устойчивостью (Байкалова и др., 2021). Для выявления генотипов, адаптивных к почвенно-климатическим условиям региона, проводят оценку пластичности и стабильности показателей, характеризующих количество и качество получаемой растениеводческой продукции (Зайцева и др., 2022).

Одним из определяющих ресурсов адаптивной технологии возделывания озимой пшеницы является сбалансированное минеральное питание, создание которого возможно, прежде всего, с использованием удобрений (Гуреев и др., 2021). Современные сорта в силу своих генетических особенностей характеризуются

различной способностью поглощать из почвы питательные вещества и использовать их для своего роста и развития. Поэтому система удобрений должна разрабатываться с учетом биологических особенностей не только культуры, но и сорта (Митрофанов и др., 2020).

Цель исследований – выяснить адаптивный потенциал сортов озимой пшеницы разных лет селекции на различных фонах минерального питания для оптимизации технологии возделывания в условиях севера Ростовской области.

Материалы и методы исследований. Исследования были выполнены в отделе селекции и семеноводства пшеницы и тритикале Федерального Ростовского аграрного научного центра в 2012–2018 гг. в северо-западной зоне Ростовской области. Материалом для исследования служили 10 сортов озимой пшеницы собственной селекции. В 2012–2014 гг. в опыте изучили сорта, включенные на тот период в Госреестр. Это были Донская лира, Донна, Золушка, Магия, Миссия, Тарасовская 70. В 2015–2018 гг. изучили сорта Боярыня, Вестница, Донстар, Донэра (включены в Госреестр позже первой группы сортов). Почва опытного участка – среднеспособный южный карбонатный чернозем. Мощность гумусового горизонта – 60–70 см. Количество гумуса в пахотном слое составило 3,2 % (ГОСТ 2613-91), гидролизующего азота (по Тюрину и Кононовой) – 67 мг/кг. Содержание общего азота ($N-NO_3 + N-NH_4$) (по Гинзбургу) в пахотном слое почвы было на уровне 28 мг/кг почвы, подвижных форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) (ГОСТ 26204-91) – 31 и 300 мг/кг соответственно. Сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27281-88) – 68 мг-экв./100 г.

Предшественник – черный пар. Технология подготовки черного пара общепринятая для зоны. Посев проводили в оптимальные для данной зоны сроки (10–15 сентября). Норма высева – 4 млн всхожих семян на 1 га на каждом агрофоне. Глубина заделки семян – 4–5 см. Перед посевом семена не протравливали. Площадь деланки 50 м², повторность – трехкратная. В фазе кущения культуры

проводили гербицидную обработку против сорняков, в фазе колошения – инсектицидную обработку по вредителям. Учет урожайности озимой пшеницы вели методом поделяночно-обмолота комбайном Сампо 500 с последующим приведением данных по урожайности к стандартной влажности. Оценку показателей качества зерна в зависимости от уровня агрофона не проводили.

Схема внесения минеральных удобрений включала в себя следующие варианты (агрофона):

1. Без удобрений (контроль) – 0 кг/га д.в.
2. N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) – 50 кг/га д.в.
3. N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_7P_{18} (50 кг/га ЖКУ) – 75 кг/га д.в.
4. N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_{30} (65 кг/га карбамида) – 80 кг/га д.в.
5. $N_{12}P_{52}$ в основном внесении (100 кг/га аммофоса) – 64 кг/га д.в.
6. $N_{12}P_{52}$ (100 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) – 114 кг/га д.в.
7. $N_{12}P_{52}$ (100 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_7P_{18} (50 кг/га ЖКУ) – 139 кг/га д.в.
8. $N_{12}P_{52}$ (100 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_{30} (65 кг/га карбамида) – 144 кг/га д.в.
9. $N_{24}P_{104}$ в основном внесении (200 кг/га аммофоса) – 128 кг/га д.в.
10. $N_{24}P_{104}$ (200 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) – 178 кг/га д.в.
11. $N_{24}P_{104}$ (200 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_7P_{18} (50 кг/га ЖКУ) – 203 кг/га д.в.
12. $N_{24}P_{104}$ (200 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_{30} (65 кг/га карбамида) – 208 кг/га д.в.

Основное удобрение (аммофос, $N_{12}P_{52}$) заделывали в почву осенью под основную (вспашка на глубину 20–22 см) обработку пара. Ранневесеннюю подкормку провели прикорневым способом, как только наступила физическая спелость почвы в фазе кущения пшеницы. Вносили аммиачную селитру (N_{34}) согласно схеме опыта. При некорневой подкормке по вегетирующим растениям использовали ЖКУ ($N_{13}P_{37}$) в фазе выхода в трубку. В фазе перед колошением вносили карбамид (N_{46}) на агровариантах, предусмотренных схемой опыта.

Для оценки адаптивного потенциала сортов озимой пшеницы в условиях Среднего Дона определяли экологическую характеристику каждого генотипа (Доспехов, 2014).

Учитываемый признак – урожайность зерна (Y). Среднесортная урожайность по опыту – средняя урожайность всех исследуемых сортов за все годы изучения по всем агрофонам. Агрофон с максимальным проявлением изучаемого признака принят за оптимальный, с минимальным проявлением – за лимитированный. Для определения реакции сортов озимой пшеницы на условия минерального питания был рассчитан индекс условий агрофона (Lj) и коэффициент адаптивности (CA) (Зыкин и др., 2011). Индекс условий агрофона представляет собой отношение среднего урожая по сортам на каждом агрофоне к среднесортной урожайности по опыту. Разность между лимитированным и оптимальным агрофоном отражает уровень устойчивости сорта к дефициту питательных элементов (SU), а уравнение $(Y_{opt} + Y_{lim})/2$ показывает наличие у сорта компенсаторной способности (CS). Параметры стабильности и экологической пластичности оценивали по методу, основанному на расчете коэффициента линейной регрессии (bi) и варианты стабильности (S^2di).

Условия вегетации озимой пшеницы различались по годам. Посев проводили как при оптимальном количестве влаги в почве, так и при ее минимальном содержании в посевном слое. Весенне-летнее развитие растений также проходило в различных условиях по влагообеспеченности и температурному режиму. Фаза формирования зерновки и налива зерна в 2012, 2013, 2015, 2018 гг. характеризовалась очень жестким лимитом по увлажнению, также наблюдали высокие температуры воздуха. Значение ГТК в этот период варьировало от 0,55 до 0,87. В 2014, 2016, 2017 гг. погодные условия в эту фазу развития пшеницы были в целом благоприятными (ГТК был от 1,00 до 1,23).

Результаты и их обсуждение. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа позволили установить достоверность влияния на урожайность у первой группы сортов озимой пшеницы фонов минерального питания и их взаимодействие при уровне значимости 95 %. Максимальный вклад в формирование урожая пшеницы данной группы оказал фактор «сорт», определяющий адаптацию к факторам внешней среды. Действие этого фактора составило 64,4 %. Вклад в формирование урожайности фактора «агрофон» был на уровне 31,2 %. Взаимодействие двух этих факторов было незначительным (4,4 %). Среднесортная урожайность данной группы составила 5,94 т/га (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность первой группы сортов озимой пшеницы в зависимости от уровня агрофона (2012–2014 гг.), т/га
Table 1. Productivity of the first group of winter wheat varieties depending on the level of the agricultural background (2012–2014), t/ha

Агрофон (фактор А)	Индекс агрофона (Lj)	Сорт (фактор В)					
		Донская лира	Донна	Золушка	Миссия	Магия	Тарасовская 70
1. Без удобрений	–0,56	5,74	5,69	5,55	5,10	5,06	5,14
2. N_{50}	–0,29	5,95	6,08	5,83	5,40	5,33	5,31

Окончание табл. 1

Агрофон (фактор А)	Индекс агрофона (Lj)	Сорт (фактор В)					
		Донская лира	Донна	Золушка	Миссия	Магия	Тарасовская 70
3. N ₅₇ P ₁₈	0,13	6,27	6,54	6,45	5,84	5,63	5,69
4. N ₈₀	0,19	6,51	6,49	6,41	5,79	5,90	5,70
5. N ₁₂ P ₅₂	-0,28	5,91	6,13	5,92	5,26	5,11	5,69
6. N ₆₂ P ₅₂	-0,04	6,28	6,43	6,29	5,48	5,45	5,53
7. N ₆₉ P ₇₀	0,19	6,53	6,67	6,57	5,66	5,72	5,65
8. N ₉₂ P ₅₂	0,19	6,53	6,63	6,56	5,71	5,76	5,60
9. N ₂₄ P ₁₀₄	-0,17	6,03	6,12	6,07	5,50	5,41	5,52
10. N ₇₄ P ₁₀₄	0,08	6,38	6,56	6,26	5,68	5,57	5,70
11. N ₈₁ P ₁₂₂	0,18	6,44	6,69	6,47	5,74	5,76	5,64
12. N ₁₀₄ P ₁₀₄	0,39	6,68	7,04	6,72	5,84	5,87	5,87
Среднесортная урожайность = 5,94 т/га							
НСР ₀₅ – фактор А = 0,13, В = 0,09; доля влияния, % – фактора А = 31,2, В = 64,4, взаимодействие А × В = 4,4							

Сорт как генетическая система специфически реагирует на уровень агрофона. Наиболее благоприятная ситуация для полной реализации потенциальных возможностей генотипов пшеницы сложилась на варианте 12 (суммарно 208 кг д.в. на 1 га). На этом варианте индекс условий агрофона был равен 0,39. Для ряда агрофонов был характерен отрицательный индекс, где фактором, лимитирующим урожайность озимой пшеницы, послужило недостаточное количество азота и фосфора. Это отчетливо проявилось на фоне без удобрений, где был высокий отрицательный индекс агрофона, и была получена минимальная урожайность по каждому сорту.

Ежегодную положительную динамику роста урожайности данных сортов пшеницы наблюдали при ранневесеннем внесении азота. При использовании N₅₀ на агрофоне 2 по всем сортам были получены достоверные прибавки. Они составили 0,17–0,39 т/га по отношению к контролю. Тот же эффект был получен на агрофонах 6 (N₆₂P₅₂) и 10 (N₇₄P₁₀₄). На агрофоне 6 средняя величина прибавок составила 0,53 т/га. Максимальной прибавка была у сортов Донна и Золушка (по 0,74 т/га). На агрофоне 10 среднесортная урожайность составила 5,57–6,56 т/га. Сорт-лидер на этом

агрофоне был Донна. Некорневая подкормка вегетирующих растений пшеницы ЖКУ способствовала формированию продуктивности изученных сортов на уровне 5,63–6,54 т/га (агрофон 3, N₅₇P₁₈), 5,65–6,67 т/га (агрофон 7, N₆₉P₇₀) и 5,64...6,69 т/га (агрофон 11, N₈₁P₁₂₂). Улучшение азотного питания растений пшеницы путем внесения N₃₀ в период начала колошения позволило получить прибавку урожайности зерна на агрофонах 4 (N₃₀) и 8 (N₉₂P₅₂) на уровне 0,75 т/га. Максимальными прибавки урожайности от некорневого применения азота были на агрофоне 12 (N₁₀₄P₁₀₄). Их уровень составил 0,73–1,35 т/га по сравнению с контролем. Данный агрофон был наиболее продуктивным. Среднесортная урожайность здесь составила 6,33 т/га. Максимальная урожайность была зафиксирована у сортов Донна, Золушка и Донская лира (7,04; 6,72 и 6,68 т/га соответственно).

Среднесортная урожайность второй группы сортов озимой пшеницы составила 6,48 т/га. При этом вклад в формирование урожайности фактора «агрофон» превалировал и составил 71,0 %. Действие фактора «сорт» было на уровне 26,7 %. Взаимодействие двух этих факторов было минимальным (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность второй группы сортов озимой пшеницы в зависимости от уровня агрофона (2015–2018 гг.), т/га
Table 2. Productivity of the second group of winter wheat varieties depending on the level of agricultural background (2015–2018), t/ha

Агрофон (фактор А)	Индекс агрофона (Lj)	Сорт (фактор В)			
		Боярыня	Вестница	Донстар	Донэра
1. Без удобрений	-0,55	6,17	5,91	5,67	5,99
2. N ₅₀	-0,16	6,56	6,26	6,06	6,43
3. N ₅₇ P ₁₈	0,25	6,91	6,68	6,49	6,83
4. N ₈₀	0,21	6,84	6,67	6,40	6,86
5. N ₁₂ P ₅₂	-0,38	6,33	6,14	5,87	6,07
6. N ₆₂ P ₅₂	-0,09	6,67	6,37	6,13	6,41
7. N ₆₉ P ₇₀	0,13	6,81	6,62	6,36	6,68
8. N ₉₂ P ₅₂	0,20	6,90	6,74	6,35	6,75
9. N ₂₄ P ₁₀₄	-0,29	6,37	6,20	5,97	6,25

Окончание табл. 2

Агрофон (фактор А)	Индекс агрофона (Lj)	Сорт (фактор В)			
		Боярыня	Вестница	Донстар	Донэра
10. N ₇₄ P ₁₀₄	0,04	6,82	6,43	6,35	6,50
11. N ₈₁ P ₁₂₂	0,34	7,07	6,68	6,65	6,89
12. N ₁₀₄ P ₁₀₄	0,30	7,07	6,66	6,57	6,85
Среднесортная урожайность = 6,48 т/га					
НСР ₀₅ – фактор А = 0,09, В = 0,05; доля влияния, % – фактора А = 71,0, В = 26,7, взаимодействие А × В = 2,4					

Для всех сортов данной группы агрофоны 11 (N₈₁P₁₂₂) и 12 (N₁₀₄P₁₀₄) были наиболее оптимальными для реализации максимальной урожайности. Продуктивность сортов на этих агровариантах была выше, чем среднесортная. Она составила на агрофоне 11 в среднем по сортам 6,82 т/га, на агрофоне 12 – 6,79 т/га. Собственно, это отражается в показателях индекса условий агрофона, которые составили 0,34 и 0,30 соответственно. Для сортов Боярыня, Вестница и Донэра агрофоны 3 (N₅₇P₁₈), 4 (N₈₀), 7 (N₆₉P₇₀), 8 (N₉₂P₅₂) также являлись эффективными для формирования потенциальной продуктивности.

На варианте без удобрений продуктивность сортов второй группы была на уровне 5,67–6,17 т/га. Высокий урожай зерна на контроле объясняется содержанием выше среднего в почве доступных фосфатов и накопленным во время парования почвы доступным азотом. Привнесении N₁₂P₅₂ (агрофон 5) урожайность изучаемых сортов составила 5,87–6,33 т/га. После внесения N₁₂P₁₀₄ (агрофон 9) уровень доступного фосфора увеличился на 6,6 мг/кг. Прибавки зерна в этом случае составили 0,20–0,30 т/га по сравнению с контролем. Выявленные тенденции по подкормкам для первой группы сортов были характерны и для сортов второй группы. При ранневесеннем внесении азота (50 кг/га д.в.) на агрофонах 2 (N₅₀), 6 (N₆₂P₅₂) и 10 (N₇₄P₁₀₄)

по всем сортам были получены достоверные прибавки. Они составили 0,35–0,68 т/га по отношению к контролю. Положительный эффект был получен на агрофонах 3 (N₅₇P₁₈), 7 (N₆₉P₇₀) и 11 (N₈₁P₁₂₂) при некорневой подкормке сортов жидким комплексным удобрением. Улучшение фосфорного питания озимой пшеницы за счет внесения раствора ЖКУ на лист способствовало формированию среднесортной урожайности на агрофоне 3 на уровне 6,73 т/га, на агрофоне 7 – 6,62 т/га, на агрофоне 11 – 6,82 т/га. На агрофоне 11 максимальная урожайность в опыте была зафиксирована у сортов Боярыня, Донстар и Донэра (7,07; 6,65 и 6,89 т/га соответственно). Некорневая подкормка карбамидом способствовала в любой год исследований формированию продуктивности изученных сортов на уровне 6,40–6,86 т/га (агрофон 4, N₈₀), 6,35–6,90 т/га (агрофон 8, N₉₂P₅₂) и 6,57–7,07 т/га (агрофон 12, N₁₀₄P₁₀₄).

По коэффициенту адаптивности можно судить о продуктивных возможностях изучаемых сортов (табл. 3). В первой группе сорта Донская лира, Донна, Золушка способны реализовать свой потенциал продуктивности при данном уровне минерального питания. Коэффициент адаптивности этих сортов варьировал в опыте от 105 до 108 %. Во второй группе такими сортами были Боярыня и Донэра с показателем адаптивности 103 и 101 % соответственно.

Таблица 3. Оценка адаптивности сортов озимой пшеницы
Table 3. Estimation of adaptability of the winter wheat varieties

Сорт	Варьирование урожайности (Y), т/га			Признаки адаптивности*				
	Уопт.	Улим.	Уср. (по опыту)	СА, %	CS	SU	bi	S ² di
2012–2014 гг.								
Донская лира	5,74	6,68	6,27	105	6,21	–0,94	1,07	0,004
Донна	5,69	7,04	6,42	108	6,37	–1,35	1,29	0,006
Золушка	5,55	6,72	6,26	105	6,14	–1,16	1,25	0,004
Миссия	5,10	5,84	5,58	94	5,47	–0,73	0,82	0,006
Магия	5,06	5,90	5,55	93	5,48	–0,84	0,97	0,008
Тарасовская 70	5,14	5,87	5,59	94	5,50	–0,73	0,60	0,012
2015–2018 гг.								
Боярыня	6,17	7,07	6,71	103	6,62	–0,90	0,99	0,002
Вестница	5,91	6,74	6,45	99	6,32	–0,83	0,91	0,003
Донстар	5,67	6,65	6,24	96	6,16	–0,98	1,01	0,002
Донэра	5,99	6,89	6,54	101	6,44	–0,90	1,08	0,003

Примечание. *СА – коэффициент адаптивности, CS – компенсаторная способность, SU – устойчивость к дефициту питательных элементов, bi – экологическая пластичность, S²di – фенотипическая стабильность.

Высокая относительная устойчивость к лимитированному количеству удобрений уста-

новлена у сортов Миссия и Тарасовская 70 (–0,73). У них диапазон приспособительных

возможностей к ограниченному количеству азота и фосфора шире, нежели у остальных изученных генотипов. Уровень устойчивости сортов Вестница, Магия, Боярыня, Донэра, Донская лира и Донстар находился в пределах от $-0,83$ до $-0,98$. То есть устойчивость этих сортов можно определить как среднюю. Минимальной устойчивостью к дефициту питательных элементов характеризовались сорта Донна ($-1,35$) и Золушка ($-1,16$).

Расчет компенсаторной способности позволил установить среднюю урожайность сортов пшеницы в контрастных условиях минерального питания. Максимальное соответствие данной схеме агровариантов установлено в первой группе у сортов Донна, Донская лира и Золушка (6,37; 6,21 и 6,14 соответственно), во второй группе у сортов Боярыня и Донэра (6,62 и 6,44 соответственно). Данные сорта обладают оптимальным соотношением между потребностями генотипа и уровнем агрофона. То есть формирование их урожайности происходит с большей адекватностью к меняющемуся уровню минерального питания, чем у других сортов.

Важным элементом при учете адаптивных свойств сортов является оценка их экологической пластичности и стабильности. Выявлено, что для каждого сорта пшеницы характерна определенная реакция на улучшение уровня агрофона. К экологически пластичным сортам с коэффициентом регрессии, равным или близким к единице, из первой группы можно отнести сорта Донская лира и Магия. Во второй группе все сорта являются пластичными. Изменение их урожайности практически полностью соответствует изменению уровня минерального питания. Сорта Миссия и Тарасовская 70 обладали низкой экологической пластичностью ($b_i < 1$), рост их урожайности не соответствовал темпам улучшения агрофона. Оптимальным решением использования данных сортов является посев их по низким и средним агрофонам. Сорта Донна ($b_i = 1,29$) и Золушка ($b_i = 1,25$) проявили высокую отзывчивость на улучшение уровня минерального питания. Для реализации их потенциальной продуктивности лучше всего подойдут варианты агротехники с высоким уровнем агрофона.

Наиболее стабильными по способности формировать продуктивность в различных условиях минерального питания в первой группе были сорта Донская лира и Золушка ($S^2di = 0,004$). Во второй группе все сорта были стабильными по этому параметру ($S^2di = 0,002-0,003$). По оптимальному сочетанию параметров экологической пластичности и стабильности выделились сорта Донская лира, Боярыня, Вестница, Донстар, Донэра. В производственных условиях они представляют определенную ценность, поскольку имеют широкий диапазон приспособительных возможностей и способны давать стабильный урожай зерна при различных вариантах минерального питания.

Выводы. В результате проведенных исследований было выявлено, что для полной реализации потенциальной продуктивности сортов Донская лира, Донна, Золушка в условиях севера Ростовской области необходимы высокие агрофоны (>200 кг д.в. на 1 га). Сорта Боярыня, Вестница, Донэра, Магия, Донстар были более переменными по отношению к насыщенности агрофона. Для них подходят варианты от 80 до 208 кг д.в. на 1 га. У сортов Миссия и Тарасовская 70 определили высокую приспособленность к лимитированному количеству удобрений.

Анализ адаптивного потенциала сортов озимой пшеницы позволил определить степень их реакции на улучшение минерального питания. К пластичным сортам ($b_i \sim 1$) были отнесены Донская лира, Магия, Вестница, Боярыня, Донэра, Донстар. Динамика их урожайности полностью соответствует колебаниям уровня минерального питания. Полуинтенсивные сорта Миссия и Тарасовская 70 обладали низкой экологической пластичностью. Сорта Донна и Золушка, являясь высокоинтенсивными, проявили высокую отзывчивость на рост уровня минерального питания. Высокой вариансой стабильности ($S^2di = 0,002-0,004$) характеризовался целый ряд сортов пшеницы (Донская лира, Золушка, Боярыня, Вестница, Донстар, Донэра). Оптимальное сочетание параметров экологической пластичности и стабильности было отмечено у сортов Донская лира, Боярыня, Вестница, Донстар, Донэра.

Библиографические ссылки

1. Байкалова Л. П., Серебрянников Ю. И. Оценка адаптивного потенциала сортов твердой яровой пшеницы по урожайности // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2. С. 46–55. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-46-55.
2. Волкова Л. В., Щенникова И. Н. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 140–146. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146.
3. Гуреев И. И., Гостев А. В., Нитченко Л. Б. Экономико-экологическая эффективность адаптивной системы удобрения ярового ячменя // Юг России. Экология и развитие. 2021. Т. 16, № 3. С. 95–101. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-95-101.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., перераб. и доп. Стереотип изд. М.: Альянс, 2014. 352 с.
5. Зайцева И. Ю., Щенникова И. Н., Панихина Л. В., Дягилева Е. В. Адаптивность высокобелковых генотипов ячменя в условиях Волго-Вятского региона // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 4. С. 30–38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-30-38.

6. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Исламгулов Д. Р. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений: 2-е изд., перераб. и доп. Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. 100 с.

7. Кинчаров А. И., Демина Е. А., Кинчарова М. Н., Таранова Т. Ю., Муллаянова О. С., Чекмасова К. Ю. Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 4. С. 39–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47.

8. Крохмаль А. В., Грабовец А. И., Гординская Е. А., Бирюков К. Н., Барулина Н. И. Селекция тритикале кормового направления на продуктивность и адаптивность // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 6. С. 54–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10610.

9. Митрофанов Ю. И., Петрова Л. И., Пугачева Л. В., Первушина Н. К., Смирнова Н. А. Озимая тритикале на осушаемых землях // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 42–46. DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/42-46.

10. Тетяников Н. В., Боме Н. А. Анализ взаимодействия «генотип × среда» и оценка адаптивного потенциала ячменя в условиях Северного Зуралья // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 3. С. 63–73. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-63-73.

References

1. Baikalova L. P., Serebrennikov Yu. I. Otsenka adaptivnogo potentsiala sortov tverdoi yarovoi pshenitsy po urozhainosti [Estimation of the adaptive potential of spring durum wheat varieties according to productivity] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 2. S. 46–55. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-46-55.

2. Volkova L. V., Shchennikova I. N. Sravnitel'naya otsenka metodov rascheta adaptivnykh reaktsii zernovykh kul'tur [Comparative estimation of methods for calculating adaptive responses of grain crops] // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2020. № 3. S. 140–146. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146.

3. Gureev I. I., Gostev A. V., Nitchenko L. B. Ekonomiko-ekologicheskaya effektivnost' adaptivnoi sistemy udobreniya yarovogo yachmenya [Economic and environmental efficiency of the adaptive system of spring barley fertilization] // Yug Rossii. Ekologiya i razvitie. 2021. Т. 16, № 3. S. 95–101. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-95-101.

4. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 6-е изд., перераб. и доп. Stereotip izd. M.: Al'yans, 2014. 352 s.

5. Zaitseva I. Yu., Shchennikova I. N., Panikhina L. V., Dyagileva E. V. Adaptivnost' vysokobelkovykh genotipov yachmenya v usloviyakh Volgo-Vyat'skogo regiona [Adaptability of high-protein barley genotypes in the conditions of the Volga-Vyatka region] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2022. Т. 183, № 4. S. 30–38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-30-38.

6. Zykin V. A., Belan I. A., Yusov V. S., Islamgulov D. R. Metodika rascheta i otsenki parametrov ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaystvennykh rasteniy [Methodology for calculating and estimating the parameters of ecological adaptability of agricultural plants]: 2-е изд., перераб. и доп. Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. 100 с.

7. Kincharov A. I., Demina E. A., Kincharova M. N., Taranova T. Yu., Mullayanova O. S., Chekmasova K. Yu. Metodika otsenki agroekologicheskoi adaptirovannosti genotipov v usloviyakh global'nogo potepeniya klimata [Methodology for estimating the agroecological adaptability of genotypes in the context of global warming] // Trudy poprikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2022. Т. 183, № 4. С. 39–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47.

8. Krokhmal' A. V., Grabovets A. I., Gordinskaya E. A., Biryukov K. N., Barulina N. I. Seleksiya tritikale kormovogo napravleniya na produktivnost' i adaptivnost' [Breeding of forage triticale for productivity and adaptability] // Dostizheniya nauki i tekhniki AПК. 2020. Т. 34, № 6. С. 54–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10610.

9. Mitrofanov Yu. I., Petrova L. I., Pugacheva L. V., Pervushina N. K., Smirnova N. A. Ozimaya tritikale na osushaemykh zemlyakh [Winter triticale on drained lands] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaystvennoi nauki. 2020. № 1. С. 42–46. DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/42-46.

10. Tetyannikov N. V., Bome N. A. Analiz vzaimodeistviya «genotip × sreda» i otsenka adaptivnogo potentsiala yachmenya v usloviyakh Severnogo Zaural'ya [Analysis of the “genotype × environment” correlation and estimation of the adaptive potential of barley in the conditions of the Northern Trans-Urals] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2021. Т. 182. № 3. С. 63–73. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-63-73.

Поступила: 20.02.23; доработана после рецензирования: 30.03.23; принята к публикации: 30.03.23.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Бирюков К. Н. – концептуализация исследований, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Грабовец А. И. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Фоменко М. А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Бирюкова О. В. – выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Ляшков И. В. – выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.