

Научная статья/Research Article

УДК 633.14.631.524 (571.12)

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-64-75

Ирина Владимировна Сафонова<sup>1✉</sup>, Николай Иванович Аниськов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1,2</sup>isafonova@vir.nw.ru

## ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА НА УРОВЕНЬ СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА И АДАПТИВНУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДИПЛОИДНЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ

Цель исследования – всесторонний анализ сортов озимой ржи по экологической устойчивости и определение наиболее перспективных. Объект исследования – 9 сортов диплоидной озимой ржи (Графиня, Кипрез, Флора (Кировская область), Московская 18 (Московская область), Таловская 45 (Воронежская область), Саратовская 10 (Саратовская область), Новосибирская 17 (Новосибирская область), Сударушка (Томская область)), поступившие в коллекцию ВИР в последние годы. Стандартом служил сорт Эра (Ленинградская область). Изучение проводили на опытных полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» в 2019–2022 годы. Почвы опытного поля дерново-слабоподзолистые, супесчаные по механическому составу, с нейтральной кислотностью ( $pH = 7,1–7,6$ ). Мощность гумусного горизонта – 23–47 см, содержание гумуса – 2,1–3,0 %. Обеспеченность подвижными формами калия средняя, фосфора – высокая, предшественник – чистый пар. Для точной и достоверной оценки были использованы показатели: средовая вариация ( $S^2$ ), коэффициент вариации (CV), мера превосходства ( $P_i$ ), индикатор агроэкологического превосходства ( $J_{sp}$ ), индекс восприимчивости к стрессам (SSPi), показатель стабильности (YSi), экологическая валентность (Wi), степень адаптированности (DAA), эффект реакции (Эр), показатель интенсивности (И), устойчивость к стрессам ( $Y_{min} - Y_{max}$ ), компенсаторская способность ( $(Y_{min} + Y_{max})/2$ ), стабильность ( $Y_{min}/Y_{max}$ ), коэффициент отзывчивости (Kp). Определена значительная изменчивость содержания белка в зерне от 11 % в 2020 г. до 13 % в 2022 г. Сорта Таловская 45, Московская 18, Новосибирская 17, Сударушка превысили стандартный сорт Эра на 1–0,4 %. Из 14 примененных показателей для более достоверной оценки необходимо использовать следующие: коэффициент вариации (CV), мера превосходства ( $P_i$ ), индекс восприимчивости к стрессам (SSPi), экологическая валентность (Wi), степень адаптированности (DAA), эффект реакции (Эр), показатель интенсивности (И). Высокой степенью адаптивности обладают сорта Московская 18, Новосибирская 17, Сударушка, Таловская 45.

**Ключевые слова:** сорт озимой ржи, содержание белка в зерне, стабильность, пластичность, экологическая устойчивость, уровень, ранг, средовая вариация, коэффициент вариации, мера превосходства, индекс восприимчивости к стрессам, степень адаптированности, генетическая гибкость, коэффициент отзывчивости, уровень интенсивности

**Для цитирования:** Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Влияние абиотических факторов Северо-Западного региона на уровень содержания белка и адаптивную изменчивость диплоидных сортов озимой ржи // Вестник КрасГАУ. 2024. № 7. С. 64–75. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-64-75.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Irina Vladimirovna Safonova<sup>1✉</sup>, Nikolay Ivanovich Aniskov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov, St. Petersburg, Russia

<sup>1,2</sup>isafonova@vir.nw.ru

## INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS OF THE NORTH-WEST REGION ON THE PROTEIN CONTENT LEVEL AND ADAPTIVE VARIABILITY OF WINTER RYE DIPLOID VARIETIES

*The aim of the study is a comprehensive analysis of winter rye varieties for environmental sustainability and identification of the most promising ones. The object of the study is 9 varieties of diploid winter rye (Grafinya, Kiprez, Flora (Kirov Region), Moskovskaya 18 (Moscow Region), Talovskaya 45 (Voronezh Region), Saratovskaya 10 (Saratov Region), Novosibirskaya 17 (Novosibirsk Region), Sudarushka (Tomsk Region)), which have been added to the VIR collection in recent years. The Era variety (Leningrad Region) served as a standard. The study was carried out on the experimental fields of the Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR National Research Scientific and Practical Institute in 2019–2022. The soils of the experimental field are sod-weakly podzolic, sandy loam in mechanical composition, with neutral acidity (pH = 7.1–7.6). The thickness of the humus horizon is 23–47 cm, the humus content is 2.1–3.0 %. The supply of mobile forms of potassium is average, phosphorus is high, the predecessor is pure fallow. For an accurate and reliable assessment, the following indicators were used: environmental variation ( $S^2$ ), variation coefficient (CV), measure of superiority ( $P_i$ ), indicator of agroecological superiority ( $J_{sp}$ ), stress susceptibility index (SSPi), stability indicator (YSi), ecological valence ( $W_i$ ), degree of adaptation (DAA), reaction effect ( $Er$ ), intensity indicator ( $I$ ), stress resistance ( $Y_{min} - Y_{max}$ ), compensatory capacity ( $Y_{min} + Y_{max}$ )/2, stability ( $Y_{min}/Y_{max}$ ), responsiveness coefficient ( $Kr$ ). Significant variability of protein content in grain was determined from 11 % in 2020 to 13 % in 2022. The varieties Talovskaya 45, Moskovskaya 18, Novosibirskaya 17, Sudarushka exceeded the standard variety Era by 1–0.4 %. Of the 14 indicators used, the following should be used for a more reliable assessment: the coefficient of variation (CV), the measure of superiority ( $P_i$ ), the index of susceptibility to stress (SSPi), the ecological valence ( $W_i$ ), the degree of adaptation (DAA), the effect of reaction ( $Er$ ), the intensity index ( $I$ ). The varieties Moskovskaya 18, Novosibirskaya 17, Sudarushka, Talovskaya 45 have a high degree of adaptability.*

**Keywords:** winter rye variety, protein content in grain, stability, plasticity, environmental sustainability, level, rank, environmental variation, variation coefficient, measure of superiority, stress susceptibility index, degree of adaptability, genetic flexibility, responsiveness coefficient, intensity level

**For citation:** Safonova I.V., Aniskov N.I. Influence of abiotic factors of the North-West region on the protein content level and adaptive variability of winter rye diploid varieties // Bulliten KrasSAU. 2024;(7): 64–75 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-64-75.

**Acknowledgments:** the work has been carried out within the framework of the state assignment in accordance with the thematic plan of VIR FGEM-2022-0009 "Structuring and revealing the potential of hereditary variability of the world collection of grain and cereal crops of VIR for the development of an optimized gene bank and rational use in breeding and plant growing".

**Введение.** При нынешних экономических обстоятельствах основным резервом повышения качества зерна ржи является подбор приспособленных к условиям среды сортов с использованием новых, более совершенных методов оценки экологической пластичности [1, 2]. Для получения продукции в сельском хозяйстве особую ценность представляют популяции стабильные, по качеству пригодные для выращивания в разных условиях [3, 4]. В агрономическом понимании экологически устойчивый сорт – это линия, способная формировать высокое качество зерна в

различных почвенно-климатических условиях. Ценность адаптивного использования ржи, особенно в неблагоприятных условиях, вызвана тем, что высокая способность формировать высокое содержание белка в зерне может быть реализована при условии, что она защищена устойчивостью к действию абиотических и биотических стрессов. При этом чем хуже почвенно-климатические и погодные условия, тем больше роль экологической приспособленности получать высокое содержание белка в зерне [5, 6]. Связь между содержанием белка и экологическими ус-

ловиями в большей степени позволяет предсказывать поведение сортов с различной нормой реакции в различных условиях среды. В целях смягчения экологической зависимости сортов первостепенный приоритет должна получить целенаправленная селекция на адаптивность к разным и в большей степени к экстремальным погодным условиям. Это очень важно в связи с тем, что условия в большинстве своем бывают неблагоприятными, а это ведет к недобору урожая и весомым экономическим потерям, которые больше, чем доход от высокого уровня белка в благоприятные годы [7, 8]. Содержание белка в зерне в значительной степени зависит от агроклиматической составляющей экологических факторов сорт – условия возделывания [9]. Этот экономически весомый параметр больше всего применяют для оценок выявления реакции генотипа на колебания условий выращивания; расчета показателей его адаптивности, стабильности, пластичности, стрессоустойчивости; оценки использования сорта в сельскохозяйственном производстве. У лучших сортов амплитуда отклонений содержания белка от нормы при колебании условий вегетации значительно меньше, чем у неустойчивых [10, 11].

**Цель исследования** – всесторонний анализ сортов озимой ржи по экологической устойчивости и определение наиболее перспективных.

**Объекты и методы.** Экспериментальная часть по изучению проводилась в 2019–2022 гг. на опытных полях «НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Объект исследова-

ния – 9 сортов диплоидной озимой ржи, различного эколого-географического происхождения: Графиня, Кипрез, Флора (Кировская область), Московская 18 (Московская область), Таловская 45 (Воронежская область), Саратовская 10 (Саратовская область), Новосибирская 17 (Новосибирская область), Сударушка (Томская область). Стандартом служил сорт Эра (Ленинградская область). Почвы опытного поля дерново-слабоподзолистые, супесчаные по механическому составу, с нейтральной кислотностью (рН = 7,1–7,6). Мощность гумусного горизонта – 23–47 см, содержание гумуса – 2,1–3,0 %. Обеспеченность подвижными формами калия средняя, фосфора – высокая, предшественник – чистый пар. Образцы высевали селекционной сеялкой, из расчета 400 всхожих зерен на 1 м<sup>2</sup>, в двукратной повторности. В Северо-Западном регионе сроки посева озимой ржи – с 25 августа по 5 сентября. Изучаемые образцы были посеяны в эти же оптимальные сроки. Уборку проводили в фазу полной спелости, с последующим обмолотом. Условия произрастания сортов отличались по годам изучения. ГТК (гидротермический коэффициент), предложенный Г.Т. Селяниновым [12], в среднем за годы испытания в мае составил 1,5, что соответствует повышенному увлажнению. В июне он был равен 0,65 (недостаток влаги). В июле и августе наблюдался также повышенный уровень обеспеченности влагой (ГТК = 1,4; 1,7), что способствовало объективной оценке испытываемых сортов ржи (табл. 1).

Таблица 1

**Влагообеспеченность, температурный режим и ГТК  
в период весенне-летней вегетации сортов озимой ржи**

Показатель	Май	Июнь	Июль	Август
1	2	3	4	5
2019 г.				
Среднесуточная температура, °С	12,1	18,7	16,6	17,0
Сумма осадков, мм	73	23	93	4,9
ГТК	1,9	0,42	1,8	0,93
2020 г.				
Среднесуточная температура, °С	10,0	19,1	17,6	17,2
Сумма осадков, мм	25	66	94	104
ГТК	0,83	1,1	1,7	1,9
2021 г.				
Среднесуточная температура, °С	12,1	21,4	23,1	16,9
Сумма осадков, мм	139,4	22,1	50,3	135,1
ГТК	3,5	0,34	0,7	2,6

1	2	3	4	5
2022 г.				
Среднесуточная температура, °С	10,0	17,6	19,9	20,6
Сумма осадков, мм	25,6	47	75,7	112,6
ГТК	0,8	0,9	1,2	1,8
Среднепогодные данные				
Среднесуточная температура, °С	11,3	15,7	18,8	16,9
Сумма осадков, мм	46	71	79	83
ГТК	1,5	0,65	1,4	1,7

**Результаты и их обсуждение.** В 2019 г. за время произрастания условия складывались неблагоприятно для формирования высокого уровня содержания белка в зерне. Температура воздуха в мае, июне была выше среднепогодной и сочеталась с недостатком осадков в июне и августе, что привело к низкому содержанию белка в зерне ( $\bar{Y} = 11,1 \%$ ). 2020 г. характеризовался недостатком влаги в мае, июне и высокой температурой в июне, августе, количество белка в зерне – на уровне 2019 г. ( $\bar{Y} = 11,0 \%$ ). Примерно такая же погода наблюдалась и в 2021 г., среднее содержание белка в зерне было на том же уровне ( $\bar{Y} = 11,5 \%$ ). И лишь в 2022 г. было тепло, что позволило сформировать более высокое содержание белка в зерне ( $\bar{Y} = 13,0 \%$ ). В 2019 г. уровень белка изменялся от 8,9 % у сорта Саратовская 10 до 12,6 % у сорта Таловская 45. В 2020 г. минимальным содержанием белка было получено у сорта Флора (9,5 %), а максимальное – у сорта Таловская 45 (12,7 %). В 2021 г. меньший белок был отмечен у сорта Флора (9,3 %), высокое содержание белка – у Таловской 45 (13,0 %). В 2022 г. содержание белка

изменялось от 12,2 % у сорта Флора до 13,7 % – у сорта Московская 18. По ранговой оценке за весь период изучения выделились сорта: Таловская 45, Новосибирская 17, Московская 18, Сударушка (табл. 2).

На первом этапе по данным дисперсионного анализа выявляется наличие связи сорт – условия среды. По Б.А. Доспехову [13],  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}}$ , нулевая гипотеза отвергается, потому что условия лет изучения и исследуемые сорта оказывают достойное влияние на уровень содержания белка (табл. 3).

Для выявления стабильности сорта в изложении Н.С. Веcker и J. Léon (1988) [14] использовали формулу

$$S_i^2 = \frac{\sum_i (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{n-1}, \quad (1)$$

где  $S_i^2$  – средовая вариация генотипа;  $Y_{ij}$  – среднее значение признака для i-го генотипа j-й среде;  $\bar{Y}_i$  – среднее значение признака по всем средам. Наиболее стабильный генотип имеет наименьшее значение средовой вариации (табл. 4).

Таблица 2

**Содержание белка, индекс условий среды и варибельность в зерне диплоидных сортов озимой ржи**

Номер каталога ВИР	Образец	Содержание белка, %					± к стандарту	Ранг
		2019	2020	2021	2022	Среднее		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
11893	Графиня	10,4	10,8	10,6	13,1	11,2	-0,5	7
11894	Кипрез	10,7	10,1	10,5	13,3	11,2	-0,5	7
11895	Флора	9,6	9,5	9,3	12,2	10,1	-1,6	8
11896	Московская 18	11,4	11,7	12,4	13,7	12,3	+0,6	3
11897	Таловская 45	12,6	12,7	13,0	12,3	12,7	+1,0	1
11890	Саратовская 10	8,9	10,3	13,1	12,7	11,3	-0,4	6
11892	Новосибирская 17	12,4	10,8	13,0	13,6	12,5	+0,8	2
11891	Сударушка	11,5	11,4	11,8	13,6	12,1	+0,4	4

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11640	Эра (стандарт)	12,6	11,6	9,9	12,8	11,7	–	5
$\Sigma Y_i$		100,1	98,9	103,6	117,3	11,7	–	–
Среднее $\bar{Y}$		11,1	11,0	11,5	13,0	11,7	–	–
$lj$		–0,6	–0,5	–0,2	+1,3	–	–	–

Таблица 3

## Изменчивость содержания белка в зерне сортов озимой ржи

Источник изменчивости	Общая	Годы (А)	Сорта (В)	Остаток
Сумма квадратов	67,6	27,7	23,0	16,9
Степень свободы	35	3	8	24
Средний квадрат	–	9,2	2,9	0,70
$F_{\text{фактическое}}$	–	11,0	5,0	–
$F_{\text{теоретическое}}$	–	3,01	2,3	–

Таблица 4

## Средовая вариация, мера превосходства, эквалента, стабильность и восприимчивость к стрессам генотипов ржи по уровню белка в зерне

Сорт	$S^2_i$	CV, %	$P_i$	$SSP_i$	$YS_i$	$W_i$
Графиня	1,57	13,4	7,5	10,3	0,793	0,65
Кипрез	2,12	18,1	8,6	12,3	0,759	1,09
Флора	1,82	1,6	17,8	11,9	0,762	1,02
Московская 18	1,05	8,97	1,5	8,4	0,832	0,2
Таловская 45	1,32	11,2	0,85	2,7	0,946	3,88
Саратовская 10	3,98	34,1	10,1	16,0	0,679	7,34
Новосибирская 17	1,4	12,4	1,83	10,3	0,794	1,99
Сударушка	1,06	9,08	7,3	8,0	0,838	0,05
Эра (стандарт)	1,75	14,2	6,0	11,3	0,773	5,21

Стабильными, слабо реагирующими на ухудшение условий выращивания являются сорта: Московская 18 ( $S^2 = 1,05$ ); Сударушка ( $S^2 = 1,06$ ), Таловская 45 ( $S^2 = 1,32$ ), Новосибирская 17 ( $S^2 = 1,4$ ).

T.R. Francis, L.W. Kannenberg (1978) [15] в качестве меры стабильности предложили использовать комбинацию среднего значения признака и коэффициента вариации. Коэффициент вариации  $i$ -го генотипа определяют по стандартной формуле

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{y}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение для  $i$ -го генотипа по всем средам. Наиболее стабильный генотип имеет наименьший коэффициент вариации. Все изучаемые сорта можно разделить на 4 группы:

I – среднее значение признака генотипа выше общей средней в опыте, коэффициент вариации ниже среднего по опыту;

II – значение признака выше средней, вариация тоже выше средней;

III – значение признака ниже средней, вариация ниже средней;

IV – значение признака ниже средней, вариация выше средней.

Сорта из I группы наиболее стабильны. В нашем исследовании в эту группу вошли сорта: Таловская 45 (Б, % = 12,7; CV = 11,2), Новосибирская 17 (Б, % = 12,5; CV = 12,5), Московская 18 (Б, % = 12,3; CV = 8,97), Сударушка (Б, % = 12,1; CV = 9,08). Во II группу: Эра (Б, % = 11,7; CV = 14,2), в III группу: Флора (Б, % = 10,1; CV = 1,6), в IV группу: Кипрез (Б, % = 11,2; CV = 18,1), Графиня (Б, % = 11,2; CV = 13,4), Саратовская 10 (Б, % = 11,3; CV = 34,1).

C.S. Lin, M.R. Binns (1988) [16] предложили применить «меру превосходства» ( $P_i$ ) в качестве параметра стабильности.

$$P_i = \sum (Y_{ij} - M_j)^2 / (2n), \quad (3)$$

где  $P_i$  – мера превосходства по стабильности;  $M_j$  – максимальное значение;  $Y_{ij}$  – по всем генотипам  $j$ -й среды.

Генотипы с меньшим значением  $P_i$  считаются более стабильными. Наиболее стабильными по уровню этого параметра являются сорта: Таловская 45 ( $P_i = 0,85$ ), Московская 18 ( $P_i = 1,5$ ), Новосибирская 17 ( $P_i = 1,83$ ).

Индикатор агроэкологической приспособленности определяли по [17]:

$$J_{sp} = \frac{S_s}{S_k}, \quad (4)$$

где  $J_{sp}$  – индикатор пластичности;  $S_s$  – содержание белка сорта в год изучения;  $S_k$  – среднее содержание белка всех сортов изучения.

По этому показателю сорта в изучении можно разделить на 4 группы:

1. Сорта очень низкого района использования (ОН): Флора.

2. Сорта низкого региона применения (Н): Графиня, Кипрез, Саратовская 10.

3. Сорта средней области распространения (С): Сударушка, Эра.

4. Сорта широкой зоны выращивания (Ш): Московская 18, Таловская 45, Новосибирская 17.

Также нами были рассчитаны индекс восприимчивости к стрессам ( $SSP_i$ ) и стабильности содержания белка в зерне ( $YS_i$ ), которые указывают насколько содержание белка восприимчиво к стрессам и насколько оно стабильно в исследуемых условиях (табл. 5).

$$SSP_i = \left[ \frac{Y_{min} - Y_{max}}{2 \cdot Y_{max}} \right] 100; \quad (5)$$

$$YS_i = \frac{Y_{min}}{Y_{max}}, \quad (6)$$

где  $Y_{min}$  – минимальное значение признака;  $Y_{max}$  – максимальное значение признака.

Наиболее восприимчивыми к стрессовым условиям произрастания сорта, имеющими самый низкий уровень восприимчивости к стрессам ( $SSP_i = 2,7-8,4$ ), были Таловская 45, Сударушка, Московская 18. К устойчивым можно отнести эти же сорта ( $YS_i = 0,946-0,832$ ).

Таблица 5

**Индикатор агроэкологической приспособленности  $J_{sp}$  и размах региона культивирования ржи**

Год	Сорта озимой ржи								
	Графиня	Кипрез	Флора	Московская 18	Таловская 45	Саратовская 10	Новосибирская 17	Сударушка	Эра
2019	0,94	0,94	0,86	1,02	1,13	0,80	1,12	1,04	1,14
2020	0,98	0,92	0,86	1,06	1,15	0,94	0,98	1,03	1,05
2021	0,92	0,91	0,80	1,07	1,13	1,14	1,13	1,03	0,94
2022	1,01	1,02	0,93	1,05	0,95	0,98	1,05	1,05	0,98
Среднее	0,96	0,95	0,86	1,05	1,09	0,96	1,11	1,04	1,04
Широта региона культивации	Н	Н	ОН	Ш	Ш	Н	Ш	С	С

C. Wricke (1962) [18] предложил в качестве меры стабильности генотипа использовать сумму квадратов эффектов взаимодействия генотип  $\times$  среда. По всем средам данный вариант назван экологической валентностью и вычисляется по формуле

$$W_i = \sum (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{...})^2, \quad (7)$$

где  $Y_{ij}$  – величина показателя  $i$ -го сорта в  $j$ -м году;  $\bar{Y}_i$  – уровень признака  $i$ -го сорта за ряд лет

испытания;  $\bar{Y}_j$  – средняя величина признака в  $j$ -м году;  $\bar{Y}_{...}$  – средний уровень всего набора сортов в опыте.

Авторами установлено, что чем меньше эквалента ( $W_i$ ), тем у сорта выше уровень стабильности. По результатам исследования выявлено, что этот параметр был ниже у сортов Сударушка, Московская 18, Графиня, Флора, Кипрез ( $W_i = 0,05; 0,2; 0,65; 1,02; 1,09$  соответственно). Они способны формировать высокое содержание белка в неблагоприятных условиях.

А.И. Кинчаров с соавторами [19] вычислил параметр индекса признака сорта ( $li$ ), определяемого как разность среднего значения показателя сорта к средней величине по опыту:

$$li = \frac{x_i - x}{x}, \quad (8)$$

где  $li$  – индекс признака сорта;  $x_i$  – среднее значение признака сорта;  $x$  – среднее значение признака по опыту.

Наиболее высокий уровень индекса отмечен у сортов: Таловская 45, Новосибирская 17, Московская 18 и Сударушка ( $li = +8,6; +6,8; +5,1; +3,4$  соответственно) (табл. 6).

Таблица 6

### Экологическая приспособленность сортов озимой ржи

Сорт	Степень DAA					Экологическая приспособленность
	$li, \%$	$Ri, \%$	$Di, \%$	$\%$	Ранг	
Графиня	- 4,3	16,2	- 20,6	- 8,7	6	Средняя
Кипрез	- 4,3	18,9	- 24,1	- 10,5	7	Низкая
Флора	- 13,7	17,9	- 22,1	- 17,9	9	Низкая
Московская 18	+ 5,1	12,0	- 16,7	+ 0,4	3	Высокая
Таловская 45	+ 8,6	2,6	- 5,4	+ 5,8	2	Высокая
Саратовская 10	- 3,4	15,4	- 21,3	+ 9,3	1	Высокая
Новосибирская 17	+ 6,8	9,4	- 20,6	- 4,4	5	Средняя
Сударушка	+ 3,4	12,8	- 16,2	0	4	Средняя
Эра (стандарт)	0	9,4	- 22,6	- 13,2	8	Низкая

Значимым параметром сорта является его отзывчивость на благоприятные условия, которая определяется по формуле

$$Ri = \frac{X_{max} - Xi}{X}, \quad (9)$$

где  $Ri$  – уровень отзывчивости на улучшение условий;  $X_{max}$  – значение в благоприятный год;  $Xi$  – уровень признака сорта;  $X$  – величина в опыте.

Наиболее высокий уровень отзывчивости присущ сортам Кипрез, Флора, Саратовская 10, Сударушка ( $Ri = 17,9; 17,9; 15,4; 12,8$  соответственно).

Большое значение имеет уровень устойчивости сорта к неблагоприятным условиям ( $Di$ ).

$$Di = \frac{X_{min} - X_{max}}{X_{max}} \cdot 100, \quad (10)$$

где  $Di$  – степень депрессии;  $X_{min}$  –  $X_{max}$  – минимальное и максимальное значение признака.

Минимальные значения устойчивости отмечены у сортов Кипрез, Эра, Флора, Саратовская 10 ( $Di = -24,1; -22,6; -22,1; -21,3$  соответственно).

Уровень адаптированности сорта (DAA) определяется путем сложения по формуле

$$DAA = li + Ri + Di, \quad (11)$$

где DAA – степень адаптированности;  $li$  – индекс признака сорта;  $Ri$  – уровень отзывчивости на улучшение условий;  $Di$  – степень депрессии.

Полученные результаты показали, что высокой приспособленностью обладают: Саратовская 10 (DAA = + 9,3 %), Таловская 45 (DAA = + 5,8); Московская 18 (DAA = + 0,4).

В.В. Новохатин [20] предложил для расчета эффекта реакции сортов на условия среды использовать формулу

$$Эр = (Ai - \overline{Afi}) - Ji, \quad (12)$$

где  $Ai$  – величина признака сорта в год изучения;  $\overline{Afi}$  – средняя величина признака за годы изучения;  $Ji$  – индекс условий среды.

Им определено, что чем выше степень величины эффекта реакции сорта, тем он более способен приспосабливаться к улучшению условий возделывания, отрицательные и незначительные показатели присущи сортам с низкой адаптационной способностью (табл. 7).

## Уровень эффекта реакции сортов озимой ржи

Сорт	Показатель эффекта реакции				Сумма за годы изучения	Ранг
	2019	2020	2021	2022		
Графиня	-0,2	+0,1	-0,4	+0,6	+0,1	4
Кипрез	+0,1	-0,6	-0,5	+3,4	+2,4	1
Флора	+0,1	-0,1	-0,6	+0,8	+0,2	3
Московская 18	-0,3	-0,1	0,3	0,1	0	5
Таловская 45	0,5	0,5	0,5	-1,7	-0,2	7
Саратовская 10	-1,8	-0,5	2,0	0,1	-0,2	7
Новосибирская 17	0,5	-1,2	1,0	-0,2	0,1	4
Сударушка	0	-0,2	-0,1	0,2	-0,1	6
Эра (стандарт)	+1,5	+0,4	-1,6	0	+0,3	2

Показатель интенсивности (И) Р.А. Удачин [21] предлагает определять по формуле

$$И = \frac{X_{\text{опт}} - X_{\text{лим}}}{X_{\text{ср}}} \cdot 100 \%, \quad (13)$$

где  $x_{\text{ср}}$  – среднее содержание белка;  $x_{\text{опт}}$ ,  $x_{\text{лим}}$  – значение уровня белка в благоприятных и неблагоприятных условиях.

По уровню параметра интенсивности изучаемые сорта разделены на три типа: интенсивные, полуинтенсивные, экстенсивные.

Экстенсивные сорта: Таловская 45 ( $И = 5,5$ ); интенсивные сорта: Флора, Кипрез, Эра, Графиня ( $И = 28,7; 28,5; 24,7; 24,1$  соответственно). Полуинтенсивные сорта: Новосибирская 17, Саратовская 10, Московская 18, Сударушка ( $И = 22,4; 21,2; 18,6; 18,0$  соответственно) (табл. 8).

Устойчивость к стрессам и генетическую гибкость и стабильность определяли по А.А. Rosielle, J. Hemblin (1981) в изложении А.А. Гончаренко [22]:

$$\text{Устойчивость к стрессу} = Y_{\text{min}} - Y_{\text{max}}, \quad (14)$$

где  $Y_{\text{min}}$  – минимальное содержание белка;  $Y_{\text{max}}$  – максимальное содержание белка.

Компенсаторную способность сорта рассчитывали по формуле

$$\text{Компенсаторная способность} = (Y_{\text{min}} + Y_{\text{max}}) / 2; \quad (15)$$

$$\text{Стабильность} = \frac{Y_{\text{min}}}{Y_{\text{max}}}. \quad (16)$$

По параметрам, выявленным в результате определения стрессоустойчивости, было установлено, что высокий параметр характерен сорту Таловская 45 ( $-0,7$ ). Максимальная генетическая гибкость выявлена у сортов: Таловская 45, Московская 18, Сударушка, Новосибирская 17 ( $12,6; 12,5; 12,5; 12,2$  соответственно). Высокий уровень стабильности отмечен у сортов Таловская 45 ( $0,95$ ), Сударушка ( $0,84$ ), Московская 18 ( $0,83$ ) и Саратовская 10 ( $0,81$ ).

Таблица 8

## Содержание белка, интенсивность, стрессоустойчивость и отзывчивость

Сорт	Белок, %			Интенсивность (И), %	Стрессоустойчивость			Коэффициент отзывчивости
	$Y_{\text{min}}$	$Y_{\text{max}}$	$\bar{Y}$		$Y_{\text{min}} - Y_{\text{max}}$	$(Y_{\text{min}} + Y_{\text{max}}) / 2$	$\frac{Y_{\text{min}}}{Y_{\text{max}}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Графиня	10,4	13,1	11,2	24,1	-2,7	11,7	0,79	1,3
Кипрез	10,1	13,3	11,2	28,5	-3,2	11,7	0,76	1,3
Флора	9,3	12,2	10,1	28,7	-2,9	10,7	0,76	1,3



1	2	3	4	5	6	7	8	9
Московская 18	11,4	13,7	12,3	18,6	-2,3	12,5	0,83	1,2
Таловская 45	12,3	13,0	12,7	5,5	-0,7	12,6	0,95	1,1
Саратовская 10	10,3	12,7	11,3	21,2	-2,4	11,5	0,81	1,2
Новосибирская 17	10,8	13,6	12,5	22,4	-2,8	12,2	0,79	1,3
Сударушка	11,4	13,6	12,1	18,0	-2,2	12,5	0,84	1,2
Эра (стандарт)	9,9	12,8	11,7	24,7	-2,9	11,4	0,77	1,3

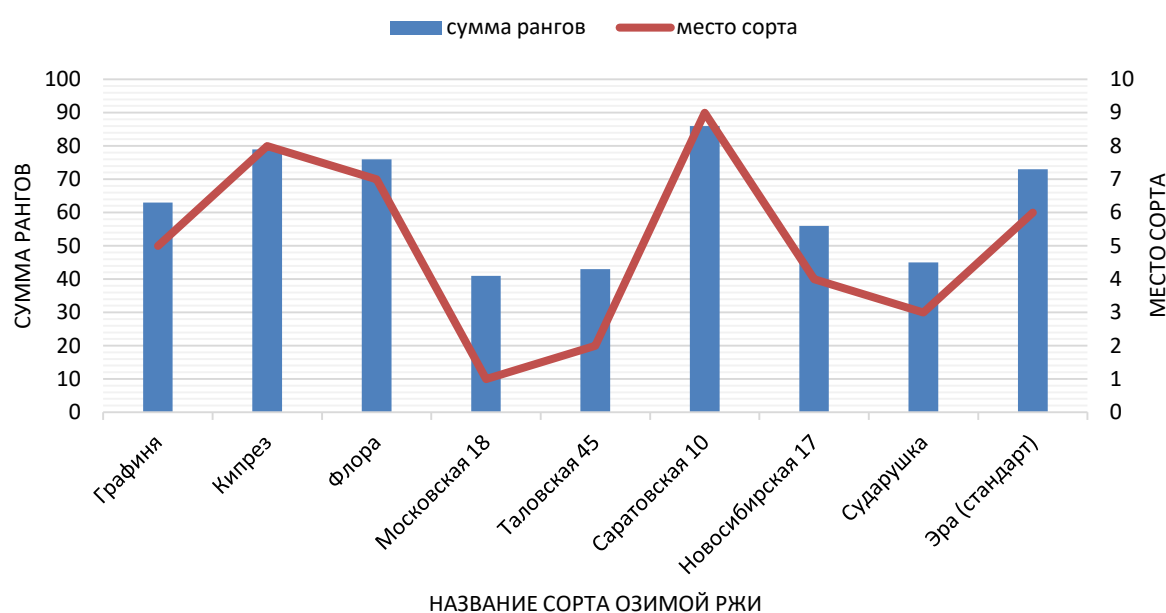
По мнению В.А. Зыкина [23], коэффициент отзывчивости нужно вычислять по формуле

$$Kp = \frac{Y_{max}}{Y_{min}}, \quad (17)$$

где  $Kp$  – коэффициент отзывчивости;  $Y_{min}$ ,  $Y_{max}$  – значение уровня белка на оптимальном и лимитированном фоне.

Наибольший уровень отзывчивости получен по сортам: Графиня ( $Kp = 1,3$ ), Кипрез ( $Kp = 1,3$ ), Флора ( $Kp = 1,3$ ), Новосибирская 17 ( $Kp = 1,3$ ), Эра ( $Kp = 1,3$ ).

Нами использован принцип ранжирования сортов по величине их показателей, для определения которых использовали сумму рангов, при этом учитывали, что меньший параметр характерен для сортов с наиболее пластичными и стабильными значениями этого показателя (рис.).



### Ранжирование сортов ржи по уровню адаптивности

#### Заключение

1. В условиях Ленинградской области выявлена большая изменчивость средовых условий во время изучения сортов ржи, а также уровня содержания белка в зерне.

2. В среднем за время испытания высокий показатель белка был отмечен у сортов: Таловская 45, Новосибирская 17, Московская 18, Сударушка (12,7; 12,5; 12,3; 12,1 % соответственно).

3. По потенциалу ранговой оценки, а также величине адаптивности, рассчитанной по 14

формулам, лучшими признаны сорта: Московская 18 ( $\Sigma = 41$ ), Таловская 45 ( $\Sigma = 43$ ), Сударушка ( $\Sigma = 45$ ), Новосибирская 17 ( $\Sigma = 56$ ).

4. По результатам исследований выявлено, что для получения объективной оценки реакции сортов следует использовать следующие показатели: коэффициент вариации ( $CV$ ), мера превосходства ( $P_i$ ), индекс восприимчивости к стрессам ( $SSP_i$ ), экологическая валентность ( $W_i$ ), степень адаптированности ( $DAA$ ), эффект реакции ( $\Delta p$ ), показатель интенсивности ( $I$ ).

## Список источников

1. *Потапова Г.Н., Галимов К.А., Зобнина Н.Л.* Продуктивность и адаптивность сортов озимой ржи на Среднем Урале // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 10. С. 28–33. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11004.
2. *Сафонова И.В., Аниськов Н.И.* Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи // Аграрный вестник Урала. 2022. № 6 (221). С. 16–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26.
3. *Шляхтина Е.А.* Адаптивный потенциал сортов озимой ржи в условиях Кировской области // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1 (29). С. 192–199. EDN YZJNGD.
4. *Батакова О.Б., Корелина В.А.* Оценка урожайности, пластичности и стабильности образцов ярового ячменя в условиях Европейского Севера РФ // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. «Агрономия и животноводство». 2021. Т. 16. № 2. С. 118–128. DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-118-128.
5. *Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Никонорова И.М.* Морфологические особенности низкопентозанового зерна ржи // Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 2. С. 123–130. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130.
6. *Торбина И.В., Фардеева И.Р.* Адаптивность коллекционных образцов озимой пшеницы к условиям Среднего Предуралья // Вестник Казанского ГАУ. 2021. № 2 (62). С. 43–48. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-43-48.
7. *Некрасов Е.И., Марченко Д.М., Иванисов М.М.* Экологическая пластичность сортов озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 2. С. 54–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-54-58.
8. *Гулянов Ю.А.* Современное состояние и перспективы производства озимой ржи в Оренбургской области // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1 (29). С. 17–29. EDN ECLWUU.
9. *Des Marais D.L., Hernandez K.H., Juenger T.E.* Genotype-by-environment interaction and plasticity: exploring genomic responses of plants to the abiotic environment // Annual Rev. Ecol. Evol. Syst. 2013. V. 44. P. 5–29.
10. *Muslimov M.G., Taimazova N.S., Arnautova G.I.* Comparative Characteristics of Productivity Elements among film and Huskless forms of Oat // International Journal of Ecology and Development. 2017. V. 32. N 4. P. 130–137.
11. *Gadisovich M.B., Kurkiev K.U., Muslimov M.G.* Comparative Characteristics of Productivity elements among film and Huskless form of Oat // International Journal of Green Pharmacy. 2017. V. 11. N 3. P. 502–507.
12. *Селянинов Г.Т.* К методике сельскохозяйственной климатографии // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1930. № 2 (22). С. 45–91.
13. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. М.: Альянс; 2014. 351 с.
14. *Becker H.C. and Léon J.* Stability Analysis in Plant Breeding // Plant Breeding. 1988. 101, 1-23. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x.
15. *Francis T.R. and Kannenberg L.W.* Yield Stability Studies in Short-Season Maize. 1. A Descriptive Method for Grouping Genotypes // Canadian Journal of Plant Science. 1978. 58, 1029-1034. DOI: 10.4141/cjps78-157.
16. *Lin C.S., Binns M.R., Lefkoviitch L.P.* Stability Analysis: Where Do We Stand? // Crop science. 1986. 26, 894-900. DOI: 10.2135/cropsci1986.0011183X002600050012x.
17. *Eberhart S.A., Russell W.A.* Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966. 6(1):36–40. DOI: 10.2135/cropsci1966.
18. *Wricke C.* Under line method zur Ertassung der ecologischen Strenbreite in Feldversuchen // Z. Pflanzenerziehung. 1962. Vol. 47, № 1. P. 92–96.
19. Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата / *А.И. Кинчаров [и др.]* // Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 2. С. 123–130. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47.
20. *Новохатин В.В.* Экологическая селекция мягкой яровой пшеницы, оптимизация селекционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири // Мат-лы междунар. конф. (Красноярск, 23–26 июля 2019 г.) // под ред.

- Н.А. Сурина, Н.В. Зобовой. Красноярск, 2019. С. 92–101.
21. Удачин Р.А., Головченко А.П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы // Селекция и семеноводство. 1990. № 5. С. 2–6.
  22. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2002. № 6. С. 49–53.
  23. Зыкин В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: метод. рекомендации. Новосибирск, 1984. С. 24.
  7. Nekrasov E.I., Marchenko D.M., Ivanisov M.M. 'Ekologicheskaya plastichnost' sortov ozimoy myagkoj pshenicy // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2022. T. 14, № 2. S. 54–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-54-58.
  8. Gulyanov Yu.A. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy proizvodstva ozimoy rzhi v Orenburgskoj oblasti // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. 2022. № 1 (29). S. 17–29. EDN ECLWUU.
  9. Des Marais D.L., Hernandez K.H., Juenger T.E. Genotype-by-environment interaction and plasticity: exploring genomic responses of plants to the abiotic environment // Annual Rev. Ecol. Evol. Syst. 2013. V. 44. P. 5–29.
  10. Muslimov M.G., Taimazova N.S., Arnautova G.I. Comparative Characteristics of Productivity Elements among film and Huskless forms of Oat // International Journal of Ecology and Development. 2017. V. 32. N 4. P. 130–137.
  11. Gadisovich M.B., Kurkiev K.U., Muslimov M.G. Comparative Characteristics of Productivity elements among film and Huskless form of Oat // International Journal of Green Pharmacy. 2017. V. 11. N 3. P. 502–507.
  12. Selyaninov G.T. K metodike sel'skohozyajstvennoj klimatografii // Trudy po sel'skohozyajstvennoj meteorologii. 1930. № 2 (22). S. 45–91.
  13. Dosphehov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij). 5-e izd. M.: Al'yans; 2014. 351 s.
  14. Becker H.C. and Léon J. Stability Analysis in Plant Breeding // Plant Breeding. 1988. 101,1-23. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x.
  15. Francis T.R. and Kannenberg L.W. Yield Stability Studies in Short-Season Maize. 1. A Descriptive Method for Grouping Genotypes // Canadian Journal of Plant Science. 1978. 58,1029-1034. DOI: 10.4141/cjps78-157.
  16. Lin C.S., Binns M.R., Lefkovitch L.P. Stability Analysis: Where Do We Stand? // Crop science. 1986. 26, 894-900. DOI: 10.2135/cropsci.1986.0011183X002600050012x.
  17. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966. 6(1):36-40. DOI: 10.2135/cropsci.1966.
  18. Wricke C. Under line method zur Ertassung der ecologischen Strenbreite in Feldversuchen // Z. Pflanzenerziehung. 1962. Vol. 47, № 1. P. 92–96.

### References

1. Potapova G.N., Galimov K.A., Zobnina N.L. Produktivnost' i adaptivnost' sortov ozimoy rzhi na Srednem Urale // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2020. T. 34, № 10. S. 28–33. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11004.
2. Safonova I.V., Anis'kov N.I. Znachimost' kompleksnoj ocenki selekcionnyh indeksov i parametrov stressoustojchivosti sortov ozimoy rzhi // Agrarnyj vestnik Urala. 2022. № 6 (221). S. 16–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26.
3. Shlyahina E.A. Adaptivnyj potencial sortov ozimoy rzhi v usloviyah Kirovskoj oblasti // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. 2022. № 1 (29). S. 192–199. EDN YZJNGD.
4. Batakova O.B., Korelina V.A. Ocenka urozhajnosti, plastichnosti i stabil'nosti obrazcov yarovogo yachmenya v usloviyah Evropejskogo Severa RF // Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Ser. "Agronomiya i zhivotnovodstvo". 2021. T. 16. № 2. S. 118–128. DOI: 10.22363/2312-797H-2021-16-2-118-128.
5. Kobyljanskij V.D., Soloduhina O.V., Nikonorova I.M. Morfologicheskie osobennosti nizkoptozanovogo zerna rzhi // Tr. po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2021. T. 182. № 2. S. 123–130. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130.
6. Torbina I.V., Fardeeva I.R. Adaptivnost' kolekcionnyh obrazcov ozimoy pshenicy k usloviyam Srednego Predural'ya // Vestnik Kazanskogo GAU. 2021. № 2 (62). S. 43–48. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-43-48.

19. Metodika ocenki agro`ekologicheskoy adaptirovannosti genotipov v usloviyah global'nogo potepleniya klimata / A.I. Kincharov [i dr.] // Tr. po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2021. T. 182, № 2. S. 123–130. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47.
20. Novohatin V.V. `Ekologicheskaya selekciya myagkoj yarovoj pshenicy, optimizaciya selekcionnogo processa – faktor stabilizacii i rosta produkcii rastenievodstva Sibiri // Mat-ly mezhdunar. konf. (Krasnoyarsk, 23–26 iyulya 2019 g.) // pod red. N.A. Surina, N.V. Zobovoj. Krasnoyarsk, 2019. S. 92–101.
21. Udachin R.A., Golovchenko A.P. Metodika ocenki `ekologicheskoy plastichnosti sortov pshenicy // Selekcija i semenovodstvo. 1990. № 5. S. 2–6.
22. Goncharenko A.A. Ob adaptivnosti i `ekologicheskoy ustojchivosti sortov zernovyh kul'tur// Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk. 2002. № 6. S. 49–53.
23. Zykin V.A. Parametry `ekologicheskoy plastichnosti sel'skohozyajstvennyh rastenij, ih raschet i analiz: metod. rekomendacii. Novosibirsk, 1984. S. 24.

Статья принята к публикации 04.06.2024 / The article accepted for publication 04.06.2024.

Информация об авторах:

**Ирина Владимировна Сафонова**<sup>1</sup>, старший научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса, ржи и ячменя, кандидат сельскохозяйственных наук

**Николай Иванович Аниськов**<sup>2</sup>, старший научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса, ржи и ячменя, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Information about the authors:

**Irina Vladimirovna Safonova**<sup>1</sup>, Senior Researcher, Department of Genetic Resources of Oats, Rye and Barley, Candidate of Agricultural Sciences

**Nikolay Ivanovich Aniskov**<sup>2</sup>, Senior Researcher, Department of Genetic Resources of Oats, Rye and Barley, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher

