

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.4.749-759>
УДК 633.14:631.524.84(470.342)



Анализ адаптивного и продуктивного потенциала сортов озимой ржи вятской селекции

© 2025. Е. С. Парфенова , Е. А. Псарева

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Изучение структуры урожая сортов озимой ржи в конкурсном сортоиспытании позволяет оценить результаты селекции и скорректировать направления отбора. В условиях Кировской области (2022–2024 гг.) изучали структуру урожая 13 районированных и перспективных сортов озимой ржи (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) в полевом опыте. Анализ признаков проводили с применением метода главных компонент с биplot-визуализацией. Метод главных компонент на основе анализа корреляционной матрицы выявляет причины изменчивости урожайности. Величина факторных нагрузок показала неодинаковый вклад признаков в увеличение урожайности в разных погодных условиях. Признаки «зимостойкость» и «высота растений» оказали положительное влияние на продуктивный потенциал сортов как во влажных, так и в засушливых условиях весенне-летней вегетации, «число колосков в колосе» – только при благоприятных условиях и отсутствии конкуренции в ценозе. Структура факторов изменялась при смене условий среды. Первый фактор (адаптивности) объяснял 31,5–53,3 % дисперсии урожайности за счет зимостойкости при достаточном увлажнении летней вегетации (2022, 2023 гг.) и за счет высоты растений при засухе в 2024 г. (факторные нагрузки 0,83–0,94 и 0,80 соответственно). Второй фактор с неустойчивой структурой объяснял 16,0–25,4 % дисперсии урожайности за счет количества колосков в колосе и поражения снежной плесенью (факторные нагрузки 0,80 и 0,83 соответственно). Достоверно высокая урожайность в опыте получена у сортов Лика (4,97 т/га), Батист (4,92 т/га), Графиня (4,88 т/га) при показателе стандарта Фаленская 4 – 4,55 т/га ($HCp_{05} = 0,24$). Значимый вклад в формирование урожайности сортов Лика и Батист внесли признаки «зимостойкость» и «высота растений», сорта Графиня – «число колосков в колосе». Высокая урожайность формировалась при различном вкладе признаков адаптивности и продуктивности. Селекция озимой ржи в условиях Кировской области должна быть направлена на повышение продуктивности.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., селекция, метод главных компонент, факторная нагрузка, урожайность, структура урожая

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2025-0010).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Парфенова Е. С., Псарева Е. А. Анализ адаптивного и продуктивного потенциала сортов озимой ржи вятской селекции. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(4):749–759.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.4.749-759>

Поступила: 11.04.2025

Принята к публикации: 24.07.2025

Опубликована онлайн: 29.08.2025

Analysis of the adaptive and productive potential of winter rye cultivars of Vyatka breeding

© 2025. Elena S. Parfenova , Ekaterina A. Psareva

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Study of the yield structure of winter rye cultivars in competitive variety testing makes it possible to evaluate the results of breeding and adjust the selection directions. In the conditions of the Kirov region (2022–2024), the yield structure of 13 zoned and promising cultivars of winter rye (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) was studied in a field experiment. The analysis of the traits was carried out using the principal component analysis with biplot visualization. The principal component analysis based on the analysis of the correlation matrix reveals the causes of yield variability. The magnitude of the factor loadings showed an unequal contribution of traits to the increase in yield in different weather conditions. The traits “winter hardiness” and “plant height” had a positive effect on the productive potential of cultivars in both wet and dry conditions of the spring-summer vegetation period, “number of spikelets per ear” – only under favorable conditions and the absence of competition in the cenosis. The structure of factors changed with changing environmental conditions. The first factor (adaptability) explained 31.5–53.3 % of the yield variance due to winter hardiness with sufficient moisture during the summer growing season (2022, 2023) and due to plant height during drought in 2024 (factor loadings of 0.83–0.94 and 0.80,

respectively). The second factor with an unstable structure explained 16.0–25.4 % of the yield variance due to the number of spikelets per ear and snow mold damage (factor loadings of 0.80 and 0.83, respectively). Reliably high yields in the experiment were obtained from the 'Lika' (4.97 t/ha), 'Batist' (4.92 t/ha), and 'Grafinya' (4.88 t/ha) cultivars, with the 'Falenskaya 4' standard indicator of 4.55 t/ha ($LSD_{05} = 0.24$). The traits "winter hardiness" and "plant height" made a significant contribution to the formation of the yield of the 'Lika' and 'Batist' cultivars and the "number of spikelets per ear" of the 'Grafinya' cultivars. High yields are formed with different contributions of adaptability and productivity traits. Breeding of winter rye in the conditions of the Kirov region should be aimed at increasing productivity.

Keywords: *Secale cereale* L., breeding, method of principal components, factor loading, yield, yield structure

Acknowledgments: the work was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2025-0010).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citation: Parfenova E. S., Psareva E. A. Analysis of the adaptive and productive potential of winter rye cultivars of Vyatka breeding. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(4):749–759. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.4.749-759>

Received: 11.04.2025

Accepted for publication: 24.07.2025

Published online: 29.08.2025

Актуальной задачей селекции озимой ржи (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Коет.) является повышение экологической устойчивости сортов для реализации их потенциальной продуктивности. Особенно важна адаптация сортов к региональным экологическим стрессовым факторам [1, 2]. Для озимой ржи в Волго-Вятском регионе основными экологическими неблагоприятными факторами являются суровые условия перезимовки, провоцирующие гибель растений от поражения снежной плесенью (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels et Hallett), и эдафический стресс. На величину и стабильность урожайности озимой ржи в регионе влияют климатические изменения последних десятилетий, которые выражаются в увеличении сумм активных и эффективных температур, осадков, частоты осенних и летних засух, удлинении периода осенней вегетации озимых культур [3, 4]. Дополнительным негативным фактором, влияющим на урожайность озимой ржи, является полегание, способное снизить урожай на 25–80 % в зависимости от фазы развития растений [5, 6]. Вегетационный период озимой ржи, по сравнению с яровыми зерновыми культурами, более длительный (от 270 до 350 дней), и формирование урожая этой культуры зависит от большего количества агрометеорологических факторов в осенне-зимний и весенне-летний периоды. Изучение структуры урожая озимой ржи в различных погодных условиях позволяет выявить общие и сортоспецифические закономерности формирования урожайности [7]. Структура урожая озимой ржи представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных признаков на уровне колоса, растения и ценоза, определяющий

величину урожайности сорта. Для анализа многомерных совокупностей признаков в селекционных и биологических исследованиях применяется метод главных компонент, который основан на анализе корреляционной матрицы и позволяет выявить скрытые от непосредственного наблюдения действующие факторы в совокупности признаков [8, 9, 10]. С помощью данного метода также можно выделить наиболее информативные признаки и классифицировать изучаемые объекты [11, 12]. Главные компоненты представляют собой некоторые интегральные характеристики («новые» признаки), образованные комбинацией исходных признаков и отражающие определенные биологические закономерности [13].

Результаты конкурсного сортоиспытания, как завершающего этапа селекционного процесса, дают полную агробиологическую характеристику сорта в широком диапазоне погодных условий. Анализ изменчивости и взаимосвязей признаков, участвующих в формировании урожая сортов озимой ржи, необходим для выявления «слабых мест» в селекционной работе, корректировки направлений отбора и повышения эффективности селекции.

Цель исследований – оценить сорта озимой ржи по комплексу признаков в различных погодных условиях вегетационного периода, выявить вклад факторов и агробиологических признаков в изменчивость урожайности для повышения эффективности селекционной работы.

Научная новизна – с помощью метода главных компонент установлены факторы и признаки, определяющие урожайность сортов озимой ржи селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-

Востока в конкурсном сортоиспытании в разных погодных условиях; выделены группы сортов с разной реакцией на изменение условий среды.

Материал и методы. Исследования проводили на 13 сортах озимой ржи (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) среднепоздней группы спелости селекции ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого». Сорта изучали в питомнике конкурсного сортоиспытания на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (центральная агроклиматическая зона Кировской области, северо-восток Волго-Вятского региона) в 2022–2024 гг. (стандарт – сорт Фаленская 4). Повторность опыта четырехкратная, учетная площадь делянки 10 м², способ посева рядовой с шириной междурядий 15 см, норма высева 6 млн всхожих семян на 1 га.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, рН_{KCl} – 4,0¹, содержание гумуса – 1,37 %², подвижного фосфора – 190 мг/кг, обменного калия – 221 мг/кг почвы³. Агротехника в опыте – принятая для центральной зоны Кировской области. Предшественник – чистый пар. Изучение сортов по комплексу хозяйственно ценных признаков проводили в соответствии с методикой⁴, в оценке уровней развития признаков использовали классификацию⁵. Гидротермический коэффициент (ГТК) определяли по формуле Г. Т. Селянинова⁶ с использованием данных интернет-ресурса⁷. Статистическую обработку данных урожайности проводили методом двухфакторного дисперсионного анализа с использованием пакета программ AGROS 2.07 (уровень значимости $p \leq 0,05$), анализ структуры корреляций – методом главных компонент⁸ в программе XLSTAT 2016.02.28451 по 9 признакам (для расчета использовали коэффициент ран-

говой корреляции Спирмена). Количество значимых главных компонент выделяли по критерию Кайзера (с собственным значением больше 1,0).

Основными агрометеорологическими факторами, определяющими урожайность озимой ржи в Кировской области, являются условия перезимовки и количество влаги в критические периоды водопотребления растений (всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, налив зерна). Условия перезимовки (высокий снеговой покров, зимние оттепели) ежегодно провоцировали выпревание растений из-за поражения снежной плесенью (*M. nivale* (Fr.) Sam. et Hall.). Степень поражения сортов была высокой – в среднем 92–95 %. В период «всходы – осеннее кущение» отмечены засушливые условия для посевов под урожай 2024 г. (ГТК = 0,14). Осенняя вегетация посевов под урожай 2022 и 2023 гг. проходила в условиях избытка осадков и недостатка тепла в сентябре (средняя температура воздуха за месяц составила 7,3 и 9,0 °С, количество осадков – 141 и 145 % от нормы соответственно). Большое значение для формирования продуктивности озимой ржи имеют погодные условия в период возобновления вегетации растений и в фазу «выход в трубку». Наиболее благоприятной в этом отношении была весна 2023 г. (сход снега раньше на 10–15 дней, средняя температура апреля выше нормы на 2,7 °С). В 2022 г. условия весны сложились на уровне средне-многолетних показателей (сход снега в последней декаде апреля). В 2024 г. отмечали аномальные условия (сильное длительное похолодание со средней температурой воздуха в мае ниже нормы на 4,5 °С и установлением снежного покрова в первой декаде мая).

¹ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

²ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 8 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

³ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

⁴Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. Вып. 2. 194 с.

⁵Международный классификатор СЭВ рода *Secale* L. Л.: ВИР, 1984. 20 с.

⁶Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:165–177.

⁷Погода и климат. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=27199&month=8&year=2022> (дата обращения: 04.02.2025).

⁸Кулаичев А. П. Методы и средства комплексного анализа данных. М., 2006. С. 315–350. [Электронный ресурс]. URL: <http://protein.bio.msu.ru/~akula/didFA/DidFA.htm> (дата обращения: 04.02.2025).

В фазу «выход в трубку» (май) в 2022 г. прохладная влажная погода была благоприятной для ржи, в 2023 г. недостаток осадков не оказал отрицательного влияния на рост и развитие растений. В 2024 г. в условиях дефицита тепла в фазу «выход в трубку» рост растений замедлился, но резкое потепление в последней декаде мая ускорило переход растений к фазе «колошение». В фазы «колошение» и «цветение» в июне увлажнение было избыточным в 2022 г. (ГТК = 2,44) и недостаточным – в 2023 и 2024 гг. (ГТК – 0,71 и 0,56 соответственно). Налив и созревание зерна (июль) проходили при избыточном увлажнении в 2022-2023 гг. (ГТК – 2,10 и 3,12 соответственно) и в засушливых условиях 2024 г. (ГТК = 0,67). В 2023 г. в период созревания зерна (в июле) частые ливневые дожди с сильным ветром (сумма осадков 220 % от нормы) спровоцировали полегание растений. Таким образом, сравнительно благоприятные агрометеорологические условия для

роста и развития озимой ржи сложились в 2022 и 2023 гг., крайне неблагоприятными условиями отличился 2024 г. (наибольшее поражение снежной плесенью (*M. nivale* (Fr.) Sam. et Hall.), летняя засуха).

Результаты и их обсуждение. Урожайность сортов озимой ржи в конкурсном сортоиспытании варьировала под влиянием генотипа сорта, погодных условий года и взаимодействия этих факторов. Статистически значимое влияние условий среды и взаимодействия генотипа со средой показывает недостаточно высокий адаптивный потенциал сортов, что проявляется в варьировании урожайности по годам и уменьшает стабильность продуктивности генотипов. Урожайность в среднем по сортам была достоверно выше в годы с достаточной влагообеспеченностью весенне-летней вегетации (2022 и 2023 гг.) по сравнению с засушливым 2024 г. (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние генотипа и условий года на урожайность сортов озимой ржи, т/га /
Table 1 – Influence of genotype and year conditions on yield of winter rye cultivars, t/ha

Сорт (фактор А) / Cultivar (factor A)	Год (фактор В) / Year (factor B)			Среднее (сорт) / Average (cultivar)
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
Фаленская 4, стандарт / 'Falenskaya' 4, standard	4,47	5,01	4,17	4,55
Лика / 'Lika'	5,16*	5,44*	4,30	4,97*
Батист / 'Batist'	5,12*	5,53*	4,11	4,92*
Графиня / 'Grafinya'	5,47*	5,49*	3,69	4,88*
Перепел / 'Perepel'	4,96*	5,10	3,54	4,53
Флора / 'Flora'	4,40	4,94	4,23	4,52
Графит ФП / 'Grafit FP'	4,61	4,74	3,71	4,35
Талица / 'Talitsa'	5,13*	4,11	3,57	4,27*
Графит / 'Grafit'	4,14	4,77	3,89	4,27*
Рушник / 'Rushnik'	4,58	4,82	3,19	4,20*
Фаленская универсальная / 'Falenskaya universalnaya'	4,94*	4,47	3,15	4,19*
Вятка 2 / 'Vyatka 2'	4,09	4,17	3,80	4,02*
Гармония / 'Garmoniya'	3,62	4,89	3,14	3,88*
Среднее по опыту / Average by the experiment	4,43			
Среднее (год) / Average (year)	4,67*	4,88*	3,73	-
HCP ₀₅ (сорт) / LSD ₀₅ (cultivar)	-			0,24
HCP ₀₅ (год) / LSD ₀₅ (year)	0,11			-
HCP ₀₅ (сорт x год) / LSD ₀₅ (cultivar x year)	0,41			

* Различия по сравнению с сортом-стандартом статистически значимы при $p \leq 0,05$ /

* Differences compared to the standard cultivar are statistically significant at $p \leq 0.05$

Достоверные сортовые различия по урожайности показывают наличие генотипического разнообразия. По усредненным данным, в сравнении со стандартом, выделены сорта с достоверно высокой урожайностью (Лика, Батист, Графиня), сорта на уровне стандарта (Перепел, Флора, Графит ФП), сорта с достоверно низкой урожайностью (Талица, Графит, Рушник, Фаленская универсальная, Вятка 2, Гармония). К высокоурожайным отнесены новые районированные сорта, к средне- и низкоурожайным – как районированные сорта ранних сроков селекции (Вятка 2, Рушник, Флора), так и новые селекционные популяции (Талица, Гармония, Графит, Графит ФП). Такое разделение демонстрирует, с одной стороны, возможности селекции, а с другой – необходимость повышения продуктивного потенциала селекционного материала. Варьирование урожайности каждого сорта по годам обусловлено взаимодействием генотипа и среды. Сорта Флора и Графит стабильно формировали урожайность на уровне стандарта в благоприятных и засушливых условиях, Графиня и Перепел достоверно превосходили стандарт (либо не уступали) в благоприятных условиях, но уступали стандарту на фоне дефицита влаги. Сорта Талица, Фаленская универсальная отличались сильными колебаниями урожайности, Вятка 2 и Рушник, в основном, формировали урожайность на уровне стандарта, Вятка 2 был более урожайным в засушливых условиях. Сорт Гармония характеризовался низкой урожайностью во все годы изучения. В целом отмечено, что условия 2022 и 2023 гг. в большей мере способствовали проявлению продуктивного потенциала сортов, в неблагоприятных условиях 2024 г. проявились адаптивные возможности генотипов. Трехлетнее изучение в широком диапазоне погодных условий в достаточной мере выявило норму реакции генотипов, что позволило получить агробиологическую характеристику сортов (табл. 2).

Сорта отличались достаточно высокой выравненностью агробиологических показателей. Пониженные значения массы зерна с колоса и массы 1000 зерен (согласно классификатору рода *Secale* L. – менее 2,1 г и 32,0 г соответственно, а также по сравнению с сортами инорайонной селекции) у сортов указывают на необходимость усиления селекционной работы в этом направлении, так как, во-первых, эти признаки являются резервом увеличения

потенциала продуктивности, во-вторых, с крупностью зерна связаны технологические качества. Большинство урожайных сортов (с показателем выше или на уровне стандарта) характеризовались более высокими показателями зимостойкости и густоты продуктивного стеблестоя по сравнению с сортами, уступившими стандарту по урожайности. По сравнению с зимостойкими сортами (Фаленская 4, Вятка 2, Флора, Лика, Батист, Рушник) менее зимостойкие сорта (Графит ФП, Графит, Фаленская универсальная, Талица, Гармония) отличались более разреженным стеблестоем, лучшей устойчивостью к полеганию, сравнительно большей массой зерна с колоса и массой 1000 зерен.

В результате анализа корреляционной матрицы с помощью метода главных компонент выделено от 3 до 4 главных компонент (в зависимости от года), которые объясняли 79,8–83,9 % накопленной дисперсии признаков. Признаки, относящиеся к одной компоненте, связаны между собой положительно при одинаковом знаке факторных нагрузок и отрицательно – при разных знаках факторных нагрузок. Главные компоненты, объясняющие основную часть дисперсии признаков, выбираются в качестве факторов. Чем больше значение факторной нагрузки признака (по модулю), тем теснее признак связан с данным фактором (табл. 3).

В 2022 г. на фоне нормальных условий перезимовки, избыточного увлажнения летней вегетации и слабого полегания основную часть общей дисперсии объясняли 4 фактора. Первый фактор (31,5 % изменчивости урожайности) имел наибольшую факторную нагрузку с зимостойкостью. Фактор выявил положительное влияние активного весеннего отрастания и роста растений в высоту на урожайность. Второй фактор (25,4 % изменчивости урожайности) имел наибольшую факторную нагрузку с количеством колосков в колосе и массой зерна с колоса. Фактор показал положительное влияние увеличения количества колосков в колосе и массы зерна с колоса на урожайность. Поражение снежной плесенью снижало урожайность из-за гибели побегов кущения, а также уменьшения количества колосков в колосе. Взаимная независимость первого и второго факторов указывает на отсутствие конкуренции между растениями в агрофитоценозе.

Таблица 2 – Агробиологические показатели сортов озимой ржи (среднее за 2022–2024 гг.) /
Table 2 – Agrobiological indicators of winter rye cultivars (average for 2022–2024)

Сорт / Cultivar	Зимостой- кость, балл / Winter hardi- ness, point	Поражение снежной плесенью, % / Snow mold infestation, %	Густота продуктивного стеблестоя, шт/м ² / Productive stem density, pcs/m ²	Высота растений, см / Plant height, cm	Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, point	Количество колосков в колосе, шт. / Number of spikelets per ear, pcs.	Масса зерна с колоса, г / Grain weight from the ear, g	Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g	Натура зерна, г/л / Grain-unit, g/l
Фаленская 4, стандарт / 'Falenskaya 4', standard	4,4	92	373	138	4,1	33	1,44	27,3	710
Лика / 'Lika'	4,8	92	446	132	3,9	34	1,43	27,2	700
Багнет / 'Batist'	4,7	93	461	135	3,9	35	1,47	27,7	702
Флора / 'Flora'	4,7	92	435	135	4,0	32	1,57	28,0	712
Вятка / 'Vyatka 2'	4,7	90	389	170	2,8	31	1,27	28,5	703
Рушник / 'Rushnik'	4,6	93	428	134	3,9	32	1,48	28,8	694
Графиня / 'Графиня'	4,5	97	318	136	4,4	36	1,91	29,4	703
Перепел / 'Perepel'	4,4	96	474	131	4,5	35	1,74	29,5	702
Талица / 'Talitsa'	4,2	88	403	137	4,1	37	1,87	29,8	693
Графит ФП / 'Графит ФР'	4,2	98	382	129	4,6	34	1,69	29,3	707
Фаленская универсальная / 'Falenskaya universalnaya'	4,0	85	317	128	4,5	36	1,93	31,1	725
Графит / 'Grafit'	3,8	99	402	128	4,4	35	1,65	29,0	702
Гармония / 'Garmoniya'	3,7	100	348	127	4,3	33	1,68	29,0	695
Среднее по опыту / Average for the experiment	4,4	94	398	135	4,1	34	1,63	28,8	704
Коэффициент вариации, % / Coefficient of variation, %	8	5	13	8	11	5	13	4	1

Таблица 3 – Величина факторных нагрузок главных компонент / Table 3 – Value of factor loadings of principal components

Признак / Trait	Главные компоненты / Principal components											
	2022 г.				2023 г.			2024 г.				
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	
Урожайность / Yield	0,69	0,64	0,07	0,18	0,28	0,79	-0,36	0,78	0,42	0,25	0,12	
Поражение снежной плесенью / Snow mold infestation	-0,61	-0,55	-0,20	-0,33	-0,64	0,51	-0,05	-0,26	0,83	-0,01	0,20	
Зимостойкость / Winter hardiness	0,83	-0,22	-0,14	-0,20	0,94	0,14	0,05	0,55	-0,62	0,26	-0,25	
Густота продуктивного стеблестоя / Productive stem density	-0,20	0,40	-0,81	-0,17	0,87	0,20	0,05	0,44	-0,20	0,81	0,05	
Высота растений / Plant height	0,78	-0,28	-0,11	0,30	0,76	-0,09	0,42	0,80	-0,30	-0,16	0,25	
Устойчивость к полеганию / Lodging resistance	-0,77	0,53	0,19	0,06	-0,77	0,51	0,10	-0,43	0,30	0,69	0,08	
Количество колосков в колосе / Number of spikelets per ear	0,25	0,80	-0,16	0,08	-0,78	-0,06	-0,31	-0,79	-0,32	0,31	0,13	
Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	-0,46	-0,17	0,17	0,80	-0,75	-0,25	0,41	-0,74	-0,43	-0,18	-0,06	
Масса зерна с колоса / Grain weight from the ear	-0,19	0,77	0,35	-0,25	-0,88	-0,21	-0,02	-0,64	-0,28	0,11	0,63	
Натура зерна / Grain-unit	0,25	-0,13	0,81	-0,32	-0,31	0,53	0,69	0,49	-0,16	-0,18	0,77	
Доля общей дисперсии, % / Proportion of total variance, %	31,45	25,40	15,89	11,19	53,30	16,00	10,54	38,14	18,62	14,58	11,91	
Накопленная дисперсия, % / Cumulative of variance, %	31,45	56,84	72,73	83,91	53,30	69,30	79,84	38,14	56,76	71,34	83,25	

Примечание: выделены жирным шрифтом статистически значимые факторные нагрузки с величиной $\geq 0,55$ (уровень значимости $p \leq 0,05$, количество наблюдений 13) /

Note: statistically significant factor loadings with a value ≥ 0.55 (significance level $p \leq 0.05$, number of observations 13) are highlighted in bold.

Натура зерна и густота продуктивного стеблестоя объясняли 15,9 % изменчивости урожайности в третьем факторе (разные знаки факторных нагрузок означают, что лучшие условия для налива зерна сложились в разреженном стеблестое). Количество колосьев на 1 м² ко времени уборки зависело от условий летней вегетации (густота продуктивного стеблестоя и зимостойкость имели значимые нагрузки на разные факторы). В четвертом факторе масса 1000 зерен объясняла 11,2 % изменчивости урожайности (небольшая доля объясненной дисперсии связана с невысоким значением массы 1000 зерен у сортов).

В 2023 г. на фоне более сильного полегания посевов в фазу «созревание зерна» большую часть общей дисперсии объясняли 3 фактора. Первый фактор с максимальной факторной нагрузкой зимостойкости объяснял 53,3 % изменчивости урожайности и выявил усиление конкуренции между растениями

в агрофитоценозе при увеличении густоты и высоты стеблестоя. Разреженные, короткостебельные и устойчивые к полеганию посевы формировали более крупное зерно (в исследовании [14] также получены данные о снижении массы 1000 зерен в посевах, полегших после цветения). Увеличение высоты растений и густоты продуктивного стеблестоя способствовало полеганию посевов (отрицательная связь между этими признаками выявлена в работе [15]). Урожайность во втором факторе объясняла 16 % дисперсии. Отсутствие значимых нагрузок других признаков в этом факторе показывает, что урожайность формировалась за счет всего комплекса признаков, без выраженного влияния отдельных. Кроме того, независимость первого и второго факторов также подтверждает, что высокая урожайность формировалась при сочетании различной величины устойчивости к полеганию, зимостойкости, поражения снежной плесенью, густоты про-

дуктивного стеблестоя, высоты растений и признаков колоса. Позднее полегание не влияло значимо на урожайность. Натура зерна объясняла 10,5 % изменчивости урожайности в третьем факторе.

В 2024 г. на фоне более сильного поражения снежной плесенью и в засушливых условиях летней вегетации большую часть общей дисперсии объясняли 4 фактора. Первый фактор с наибольшей факторной нагрузкой признака высоты растений определил 38,1 % изменчивости урожайности. В условиях летней засухи высокую урожайность сформировали сорта, которые лучше перезимовали и эффективно использовали весенние запасы почвенной влаги для роста стебля. Вероятно, зимостойкие сорта, обладающие способностью к активному весеннему отрастанию, также являются более засухоустойчивыми. Высокорослые сорта имели меньшую продуктивность колоса и крупность зерна, что являлось их адаптивной реакцией на дефицит влаги. Второй фактор с максимальной факторной нагрузкой на поражение снежной плесенью обусловил 18,6 % изменчивости урожайности. Выделение признака поражения снежной плесенью в отдельный фактор указывает на более сильное поражение патогеном в данном году. Густота продуктивного стеблестоя объясняла 14,6 % изменчивости урожайности в третьем факторе (устойчивость к полеганию была выше у сортов с более густым стеблестоем). Отсутствие связи между зимостойкостью и густотой продуктивного стеблестоя в засушливых условиях можно объяснить отмиранием побегов у растений в течение вегетации из-за дефицита влаги. Натура зерна объяснила 11,9 % изменчивости урожайности в четвертом факторе (при дефиците влаги более выполненным было мелкое зерно).

Таким образом, агрономические признаки (колоса и зерна) и биологические, характеризующие ценоз, вносили в дисперсию урожайности разнонаправленные вклады. Эти группы признаков разделялись на разные факторы или сочетались в одном факторе с разными знаками факторных нагрузок, что свидетельствует о конкуренции между растениями в ценозе. Увеличению урожайности сортов способствовали зимостойкость, высота растений и количество колосков в колосе. При этом зимостойкость и высота растений положительно влияли на урожайность при достаточном увлажнении и засухе. Количество колосков в колосе увели-

чивало урожайность только при отсутствии конкуренции в агрофитоценозе, когда признаки колоса и ценоза имели значимые нагрузки на разные факторы. При наличии конкуренции в агрофитоценозе, вызванной полеганием (2023 г.) и летней засухой (2024 г.), увеличение количества колосков в колосе (и, значит, массы зерна с колоса) было сопряжено с меньшей зимостойкостью и плотностью стеблестоя, что привело к снижению урожайности. Поражение снежной плесенью уменьшало продуктивный потенциал сортов в связи со снижением плотности стеблестоя и продуктивности колоса.

Визуализация результатов анализа структуры изменчивости методом главных компонент в виде биplot-графика наглядно отражает сортовые особенности формирования урожайности. Биplot показывает расположение сортов и признаков в пространстве двух факторов, объясняющих наибольшую долю общей дисперсии (рис.). Расположение сорта на биплоте показывает, насколько выражен у сорта отдельный признак или фактор. Чем длиннее и ближе вектор признака к факторной оси, тем сравнительно более весомо этот признак представлен в факторе.

В условиях разных лет первый фактор («фактор адаптивности») разделил сорта на две контрастные группы по вкладу зимостойкости и связанных с ней признаков в формирование урожайности. Для сортов с положительными координатами первого фактора урожайность определялась высокой зимостойкостью и выносливостью к снежной плесени, длинностебельностью и склонностью к полеганию, и соответственно меньшими значениями признаков колоса и массы 1000 зерен. Урожайность сортов с отрицательными координатами первого фактора определялась меньшей зимостойкостью и высотой растений, более сильным поражением снежной плесенью, меньшей плотностью стеблестоя, устойчивостью к полеганию, высокой продуктивностью колоса. Положительные координаты первого фактора имели сорта Фаленская 4, Вятка 2, Лика, Батист; отрицательные координаты первого фактора отмечены у сортов Перепел, Графит, Графит ФП, Гармония. Выявлены сорта Графиня, Флора, Рушник, Талица, Фаленская универсальная с сильным эффектом взаимодействия «генотип x среда». Отзывчивость таких сортов на изменение условий среды проявлялась в смене факторных координат на биплоте.

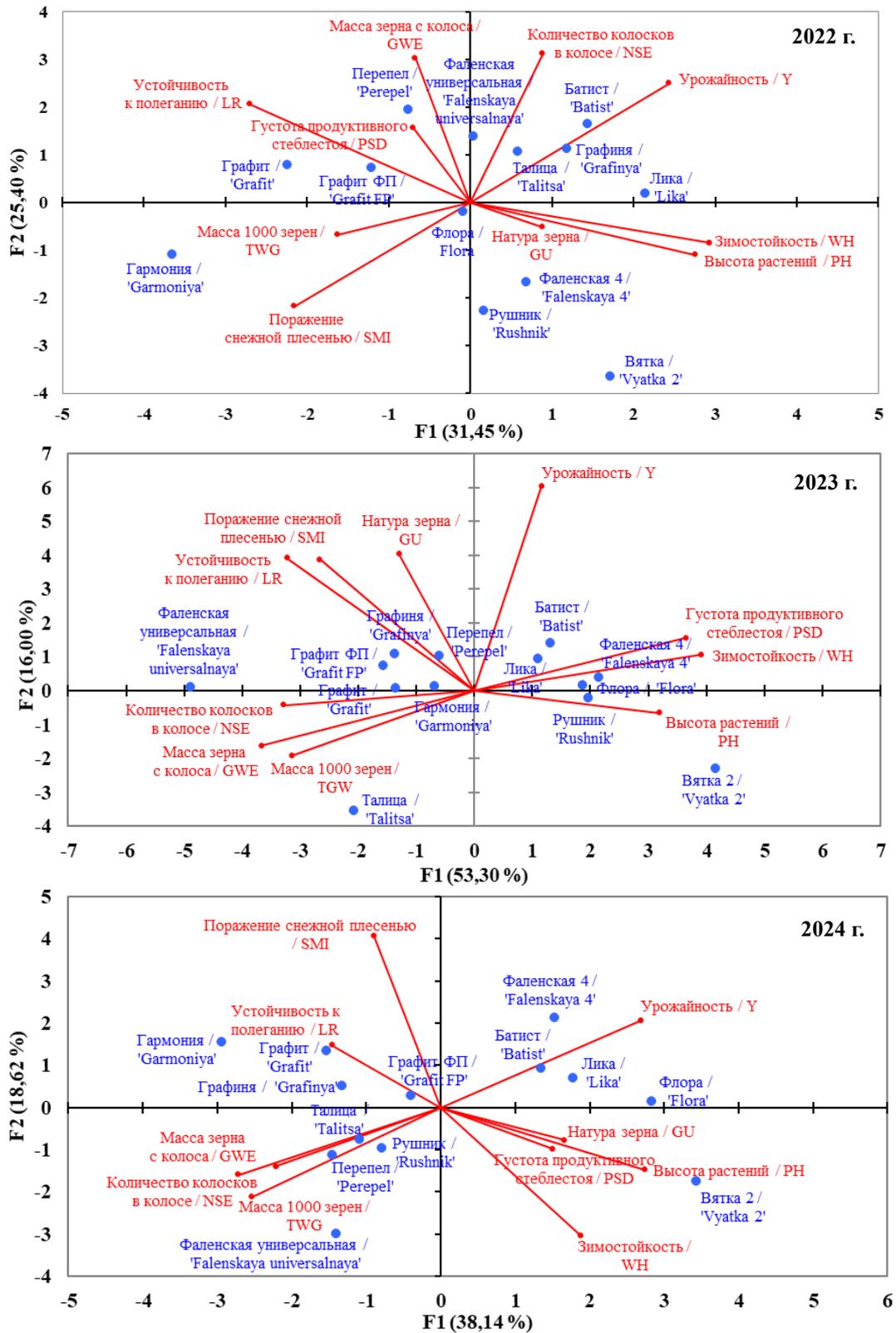


Рис. Расположение сортов и признаков озимой ржи на плоскости факторов: урожайность; густота продуктивного стеблестоя; зимостойкость; устойчивость к полеганию; количество колосков в колосе; масса зерна с колоса; масса 1000 зерен; натура зерна; высота растений (среднее, 2022–2024 гг.) /

Fig. Location of cultivars and traits of winter rye in the factor plane: Y – yield; PSD – productive stem density; WH – winter hardiness; LR – lodging resistance; NSE – number of spikelets per ear; GWE – grain weight from the ear; TGW – 1000 grain weight; GU – grain-unit; PH – plant height (average for 2022–2024)

Заключение. С помощью метода главных компонент установлена различная роль агробиологических признаков в формировании урожайности сортов озимой ржи в конкурсном сортоиспытании в разные годы. Разнонаправленный вклад в изменчивость урожайности внесли признаки ценоза (зимостойкость, поражение снежной плесенью, густота продуктивного стеблестоя, высота растений, устойчивость к полеганию) и продуктивности (количество колосков в колосе, масса зерна с колоса, масса 1000 зерен, натура зерна), что указывает на наличие конкуренции в агрофитоценозе. Большую часть изменчивости урожайности (53,3–56,8 %) объяснял фактор «адаптивность», а также второй фактор с неустойчивой структурой. В различных условиях среды наблюдали изменение структуры факторов и их роли в формировании продуктивного потенциала сортов. При достаточном увлажнении фактор «адаптивность» был наиболее тесно связан с зимостойкостью (факторная нагрузка составила 0,83–0,94), при дефиците влаги фактор «адаптивность» зависел от высоты растений (факторная нагрузка – 0,80). Второй фактор в благоприятных условиях зависел от количества колосков в колосе (факторная нагрузка – 0,80). В благоприятных условиях факторы в равной степени увеличивали урожайность (доля дисперсии 31,5 и 25,4 % соот-

ветственно). При усилении конкуренции между растениями в ценозе на фоне ухудшения условий среды (плохая перезимовка и летняя засуха) заметно возросла роль фактора «адаптивность» (доля дисперсии 53,3 и 38,1 % соответственно). Поражение снежной плесенью во все годы уменьшало продуктивный потенциал сортов в связи со снижением плотности стеблестоя и массы зерна с колоса. Сорта с высоким и низким вкладом фактора «адаптивность» в урожайность различались по выносливости к снежной плесени, зимостойкости, высоте растений, массе 1000 зерен, количеству колосков в колосе и массе зерна с колоса. Высокую урожайность в опыте сформировали сорта Лика и Батист с высоким вкладом и Графиня с низким вкладом фактора «адаптивность» (в среднем 4,97; 4,92; 4,88 т/га). Устойчивость урожайности сортов Лика и Батист проявлялась в стабильных факторных координатах на биоплоте. Сорта Графиня, Флора, Рушник, Талица, Фаленская универсальная отличались сильным эффектом взаимодействия «генотип x среда» и сменой факторных координат на биоплоте. В селекционной работе с озимой рожью в условиях Кировской области необходимо повышать продуктивный потенциал будущих сортов на основе признаков зимостойкости, высоты растений, количества колосков в колосе.

Список литературы

1. Гончаренко А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции. *Зерновое хозяйство России*. 2016;(3):31–37. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26642951> EDN: WLASMV
2. Гончаренко А. А., Макаров А. В., Ермаков С. А., Семенова Т. В., Точилин В. Н., Цыганкова Н. В., Скатова С. Е., Крахмалева О. А. Экологическая устойчивость сортов озимой ржи с различным типом короткостебельности. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019;(3):3–9. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627201933-9> EDN: UFHSWL
3. Переведенцев Ю. П., Френкель М. О., Шаймарданов М. З. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. *Науч. ред. Э. П. Наумов*. Казань: Казанский ГУ, 2010. 242 с. Режим доступа: https://www.cnsnb.ru/Vexhib/rsh/10_8503.pdf
4. Кедрова Л. И., Уткина Е. И., Шамова М. Г., Набатова Н. А. Реализация адаптивного потенциала продуктивности озимой ржи в условиях региональных климатических изменений. *АгроЭкоИнфо*. 2019;(3(37)):29. Режим доступа: https://agroecoinfo.ru/TEXT/RUSSIAN/2019/st_320_annot.html
5. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н. *Научные основы селекции озимой ржи*. Казань: изд-во ФЭН, 2019. 352 с.
6. Muszynska A., Guendel A., Melzer M., Moya Y. A., Roder M. S., Rolletschek H. et al. A mechanistic view on lodging resistance in rye and wheat: a multiscale comparative study. *Plant Biotechnology Journal*. 2021;19(12):2646–2661. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbi.13689>
7. Чайкин В. В., Тороп А. А., Тороп Е. А., Голева Г. Г., Ващенко Т. Г. Структура урожайности высокогетерозисных гибридов озимой ржи и особенности ее формирования. *Аграрный научный журнал*. 2023;(11):136–143. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i11pp136-143> EDN: EEPExQ
8. Гудзенко В. Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(1):110–118. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.469> EDN: YXMGCT
9. Пономарев С. Н., Пономарева М. Л., Маннапова Г. С., Фомин С. И. Особенности формирования урожайности озимой ржи в контрастных гидротермических условиях севера Средневолжья. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2022;(4(44)):151–162. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-4-151-162> EDN: LCIETE
10. Desheva G., Valchinova E. Morpho-agronomic assessment of genetic diversity among rye accessions using multivariate analyses. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2023;29(2):338–350. URL: <https://agrojournal.org/29/02-17.pdf>
11. Дуктова Н. А., Гриб С. И., Иванова Е. В., Андроник Е. Л., Виноградов Д. В. Применение многомерного анализа для оценки селекционной ценности исходного материала твердой яровой пшеницы. *АгроЭкоИнфо*. 2023;(1(55)):13. DOI: <https://doi.org/10.51419/202131125> EDN: WCWOTI

12. Stepniewska S., Cacak-Pietrzak G., Fraś A., Jończyk K., Studnicki M., Wisniewska M. et al. Effect of genotype and environment on yield and technological and nutrition traits on winter rye grain from organic production. *Agriculture*. 2024;14(12):2249. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14122249>
13. Животовский Л. А. Интеграция полигенных систем в популяциях. Проблема анализа комплекса признаков. М.: Наука, 1984. С. 95–113.
14. Ровдо Т. В., Артюх Д. Ю. Результаты изучения коллекционных образцов озимой ржи по основным хозяйственно-ценным признакам. Земледелие и селекция в Беларуси. 2021;(57):251–258.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46430631> EDN: NFHJGL
15. Zuo Y., Zhang X., Zuo S., Ren X., Liu Z., Dong L., Li J. Changes of stem characteristics, senescence indexes and yield and quality of wintering rye under different populations. *Sustainability*. 2021;13(12):6876. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126876>

References

1. Goncharenko A. A. Ecological stability of grain crop varieties and tasks of breeding. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2016;(3):31–37. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26642951>
2. Goncharenko A. A., Makarov A. V., Ermakov S. A., Semenova T. V., Tochilin V. N., Tsygankova N. V., Skatova S. E., Krakhmaleva O. A. Ecological stability of varieties of winter rye with various type of a short-stem. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2019;(3):3–9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627201933-9>
3. Perevedentsev Yu. P., Frenkel M. O., Shaymardanov M. Z. Modern changes in the climatic conditions and resources of the Kirov region. Scientific editor E. P. Naumov. *Kazanskiy GU*, 2010. 242 p. URL: https://www.cnsnb.ru/Vexhib/rsh/10_8503.pdf
4. Kedrova L. I., Utkina E. I., Shamova M. G., Nabatova N. A. Realization of the adaptive productivity potential of winter rye in the context of regional climatic changes. *AgroEkoInfo* = AgroEcoInfo. 2019;(3(37)):29. (In Russ.). URL: https://agroecoinfo.ru/TEXT/RUSSIAN/2019/st_320_annot.html
5. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N. Scientific foundations of winter rye breeding. *Kazan: izd-vo FEN*, 2019. 352 p.
6. Muszynska A., Guendel A., Melzer M., Moya Y. A., Roder M. S., Rolletschek H. et al. A mechanistic view on lodging resistance in rye and wheat: a multiscale comparative study. *Plant Biotechnology Journal*. 2021;19(12):2646–2661. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbi.13689>
7. Chaykin V. V., Torop A. A., Torop E. A., Goleva G. G., Vashchenko T. G. Yield structure of highly heterosic winter rye hybrids and features of its formation. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(11):136–143. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.v2023i11pp136-143>
8. Gudzenko V. N. Statistical and graphical (GGE biplot) evaluation of the adaptive ability and stability of winter barley breeding lines. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(1):110–118. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.469>
9. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L., Mannapova G. S., Fomin S. I. Features of winter rye yield formation in contrasting hydrothermal conditions of the northern middle Volga region. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2022;(4(44)):151–162. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-4-151-162>
10. Desheva G., Valchinova E. Morpho-agronomic assessment of genetic diversity among rye accessions using multivariate analyses. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2023;29(2):338–350. URL: <https://agrojournal.org/29/02-17.pdf>
11. Duktova N. A., Grib S. I., Ivanova E. V., Andronik E. L., Vinogradov D. V. Application of multidimensional analysis for assessing the breeding value of the initial material of durum spring wheat. *AgroEkoInfo* = AgroEcoInfo. 2023;(1(55)):13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51419/202131125>
12. Stepniewska S., Cacak-Pietrzak G., Fraś A., Jończyk K., Studnicki M., Wisniewska M. et al. Effect of genotype and environment on yield and technological and nutrition traits on winter rye grain from organic production. *Agriculture*. 2024;14(12):2249. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14122249>
13. Zhivotovskiy L. A. Integration of polygenic systems in populations. The problem of analyzing a set of features. Moscow: *Nauka*, 1984. pp. 95–113.
14. Rovdo T. V., Artyukh D. Yu. Results of studying collection accessions of winter rye in terms of the main economically important traits. *Zemledelie i selektsiya v Belarusi* = Arable Farming and Plant Breeding in Belarus. 2021;(57):251–258. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46430631>
15. Zuo Y., Zhang X., Zuo S., Ren X., Liu Z., Dong L., Li J. Changes of stem characteristics, senescence indexes and yield and quality of wintering rye under different populations. *Sustainability*. 2021;13(12):6876. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126876>

Сведения об авторах

✉ **Парфенова Елена Сергеевна**, кандидат с.-х. наук, заведующая лабораторией селекции и первичного семеноводства озимой ржи, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8919-4056>, e-mail: elka1745@yandex.ru

Псарева Екатерина Александровна, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9020-4765>

Information about the authors

✉ **Elena S. Parfenova**, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Winter Rye Breeding and Primary Seed Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8919-4056>, e-mail: elka1745@yandex.ru

Ekaterina A. Psareva, research assistant, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9020-4765>

✉ – Для контактов / Corresponding author