

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.655-665>
УДК 633.14:631.529 (470.342)



Сравнительная оценка сортов озимой ржи по экологической устойчивости в условиях Кировской области

© 2022. Н. А. Набатова ✉, Е. И. Уткина, Е. С. Парфенова, М. Г. Шамова, Е. А. Псарева, М. Н. Жукова

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

Проведена оценка 10 сортов озимой ржи российской селекции по урожайности в условиях Кировской области. Средняя урожайность сортов озимой ржи за период исследований (2015–2021 гг.) составила 2,64 т/га и варьировала по годам от 1,39 т/га (2016 г., индекс условий среды (I_j) = -1,25) до 4,22 т/га (2015 г., I_j = 1,58). Средняя урожайность по сортам изменялась от 1,64 (Саратовская 7) до 3,62 т/га (Флора). Доля влияния на урожайность фактора «условия года» составила 43 %, фактора «сорт» – 28 %. На различную адаптивность и экологическую устойчивость сортов озимой ржи указывают: коэффициенты пластичности (b_i) – 0,40...1,39, стабильности (σd^2) – 0,25...1,07, мультипликативности (KM) – 1,31...2,97, адаптивности (KA) – 56,3...142,4, вариации (V) – 25...87 %; фактор фенотипической стабильности (SF) – 1,9...20,5; показатели размаха урожайности (d) – 0,47...0,95, гомеостатичности (H_{om}) – 0,02...0,13 и стрессоустойчивости ($Y_2 - Y_1$) – -2,28...-3,62. На основании суммирования рангов по 9 показателям адаптивности и экологической устойчивости признака «урожайность» выделены сорта, наиболее приспособленные к лимитирующим факторам среды (Фаленская 4, Алиса, Рушник и Флора).

Ключевые слова: *Secale cereale* L., урожайность, условия среды, адаптивность, стабильность, пластичность, коэффициент вариации, гомеостатичность, ранжирование

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0095).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Набатова Н. А., Уткина Е. И., Парфенова Е. С., Шамова М. Г., Псарева Е. А., Жукова М. Н. Сравнительная оценка сортов озимой ржи по экологической устойчивости в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(5):655–665. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.655-665>

Поступила: 07.06.2022

Принята к публикации: 22.09.2022

Опубликована онлайн: 26.10.2022

Comparative analysis of winter rye varieties by ecological stability in the conditions of Kirov region

© 2022. Natalia A. Nabatova ✉, Elena I. Utkina, Elena S. Parfenova, Marina G. Shamova, Ekaterina A. Psareva, Maria N. Zhukova

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

Ten winter rye varieties of Russian breeding were evaluated by yield in the conditions of Kirov region. The average yield of winter rye varieties during the research period of 2015–2021 was 2.64 t/ha and varied by years from 1.39 t/ha (2016, index of environmental conditions (I_j) = -1.25) to 4.22 t/ha (2015, I_j = 1.58). The variation of average yield by varieties was from 1.64 (Saratovskaya 7) to 3.62 t/ha (Flora). The proportion of the influence on the yield of the factor "conditions of the year" was 43 %, of the factor "variety" – 28 %. Different adaptability and environmental sustainability of winter rye varieties are indicated by: coefficients of plasticity (b_i) – 0.40...1.39, stability (σd^2) – 0.25...1.07, multiplicity (KM) – 1.31...2.97, adaptability (CA) – 56.3...142.4, variation (V) – 25...87 %; phenotypic stability factor (SF) – 1.9...20.5; yield spread (d) – 0.47...0.95, homeostability (H_{om}) – 0.02...0.13 and stress tolerance ($Y_2 - Y_1$) – -2.28...-3.62. Based on the summation of the ranks according to 9 indicators of adaptability and environmental stability of the «yield» trait, the varieties most adapted to the limiting environmental factors (Falenskaya 4, Alice, Rushnik and Flora) have been chosen.

Keywords: *Secale cereale* L., yield, environmental conditions, adaptability, stability, plasticity, coefficient of variation, homeostability, ranking

Acknowledgements: 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. 0767-2019-0095).

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

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citations: Nabatova N. A., Utkina E. I., Parfenova E. S., Shamova M. G., Psareva E. A., Zhukova M. N. Comparative analysis of winter rye varieties by ecological stability in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(5):655–665. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.655-665>

Received: 07.06.2022

Accepted for publication: 22.09.2022

Published online: 26.10.2022

Озимая рожь – это уникальная культура, которая отличается высокой продуктивностью и неприхотливостью к условиям произрастания. Рожь нетребовательна к плодородию почв, внесению удобрений, применению гербицидов и фунгицидов. Способность наиболее полно использовать осадки осенне-зимнего периода обуславливает ее высокую засухоустойчивость [1]. Достоинство озимой ржи – высокая зимостойкость, что имеет исключительно важное значение в условиях северного земледелия. В Кировской области зимостойкость напрямую связана со степенью отрастания растений после поражения снежной плесенью (*Microdochium nivale* (Fr.)). Поражение озимых на территории региона зачастую достигает 100 % из-за неблагоприятных условий зимнего периода. Создание сортов с высокой способностью регенерации после поражения снежной плесенью – одно из главных направлений селекции в регионе [2].

Озимая рожь является культурой универсального использования, однако основное назначение ржи – продовольственное: больше 60 % зерна ржи используется для хлебопечения [3]. Кроме этого, озимая рожь является незаменимым кормом для сельскохозяйственных животных. На 2021 год в Госреестре селекционных достижений РФ зарегистрировано более 80 сортов озимой ржи, различающихся по морфологическому строению (в т. ч. типу короткостебельности), хозяйственно ценным признакам и адаптивным характеристикам, что дает возможность подобрать сорта, которые наиболее полно отвечают условиям возделывания. Использование адаптивных пластичных сортов озимой ржи является одним из главных принципов в производстве зерна ржи для северных регионов [1]. Существует большое число методов количественной оценки реакций сорта на условия возделывания. Использование нескольких методов одновременно позволяет наиболее полно оценить адаптивные свойства сорта [4].

Цель исследований – оценить по урожайности адаптивный потенциал сортов озимой ржи разных эколого-географических групп, выявить сорта с широкой адаптацией к условиям Кировской области.

Новизна исследований. Впервые в условиях Кировской области проведена оценка сортов озимой ржи с использованием разных методов расчета показателей экологической устойчивости и адаптивных свойств. Выделены наиболее приспособленные к условиям Кировской области генотипы.

Материал и методы. Экспериментальную часть работы проводили в 2015-2021 гг. на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Почва опытного участка дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, $pH_{\text{сол.}}$ 4,0, содержание гумуса – 1,37 %, подвижного фосфора – 190 мг/кг почвы, обменного калия – 221 мг/кг почвы.

Изучали сорта озимой ржи (*Secale cereale* L.) селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (Фаленская 4, Рушник, Флора), ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» (Крона), ФГБНУ Башкирский НИИСХ (Памяти Кунакбаева), ФГБНУ Самарский НИИСХ (Антарес, Безенчукская 87), ФГБНУ Уральский НИИСХ (Алиса, Янтарная), ФГБНУ НИИСХ Юго-Востока (Саратовская 7). Учетная площадь делянки – 5 м², повторность – 2-кратная.

Учет урожайности осуществляли в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹. Индекс условий среды и показатели адаптивности определяли по формулам (табл. 1).

Ранжировали показатели адаптивности по В. Ю. Урбах [13]. Статистическую обработку проводили методами дисперсионного, корреляционного и вариационного анализов с использованием Microsoft Office Excel 2007.

По данным метеорологической станции г. Кирова (Кировская область, Россия), погодные условия в период активной весенне-летней вегетации (май-июль 2015-2021 гг.) различались по количеству осадков и температурному режиму (рис.).

Отклонение среднесуточной температуры от среднееголетнего значения в мае-июле не превышало 33 %. Неустойчивая погода наблюдалась в мае, когда среднемесячная температура изменялась от +7,6 (2017 г.) до +15,0 °C (2015 и 2021 гг.). Наибольшей стабильностью характеризовался июль с температурой на уровне средних значений или с небольшим отклонением (10 %).

По количеству выпавших осадков наблюдался существенный разброс показателей по всем периодам развития растений и формирования урожая зерна. Избыточным увлажнением ($ГТК_{\text{май-июль}} = 1,6-2,2$) характеризовались весенне-летние вегетационные периоды 2017 и 2018 гг. В 2015, 2016, 2019, 2020, 2021 гг. наблюдалось оптимальное сочетание тепла и влаги ($ГТК_{\text{май-июль}} = 1,1-1,3$). Засушливых условий в период вегетации за годы исследований выявлено не было.

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. 269 с.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 1 – Формулы расчета показателей адаптивных свойств и экологической устойчивости /
 Table 1 – Formulas for calculating parameters of adaptive qualities and ecological stability

Формула / Formula	Расшифровка / Explanation	Авторы, год / Authors, year
$I_j = \frac{\sum Y_{ij}}{v} - \frac{\sum \sum Y_{ij}}{v \times n}$	I_j – индекс условий среды / environment index, $\sum Y_{ij}$ – сумма урожайности всех сортов за i -й год / sum of yields of all varieties for the i -th year $\sum \sum Y_{ij}$ – сумма урожайности всех сортов за все годы / sum of the yields of all varieties for all years, v – количество сортов / number of varieties, n – количество лет / number of years.	S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. З. Пакудина, 1984 / S. A. Eberhart, W. A. Russell as pre- sented by V. Z. Pakudin, 1984 [5]
$b_i = \frac{\sum Y_{ij} I_j}{\sum I_j^2}$	b_i – коэффициент пластичности / coefficient of plasticity, $\sum Y_{ij} I_j$ – сумма произведения урожайности i -ого сорта за j -й год на соответствующий индекс условий среды / sum of the product of the yield of the i -th variety for the j -th year by the corresponding environmental index, $\sum I_j^2$ – сумма квадратов индексов условий среды / sum of squares of environmental indices.	
$\sigma_d^2 = \frac{\sum \sigma_{ij}^2}{(n-2)}$	σ_d^2 – коэффициент стабильности / coefficient of stability, $\sum \sigma_{ij}^2$ – сумма квадратов отклонений фактической урожайности от теоретической / sum of the squared deviations of the actual yield from the theoretical, n – количество лет / number of years.	
$KM = \frac{Y_i + b_i x_i}{Y_i}$	KM – коэффициент мультипликативности / multiplicativity coefficient, Y_i – среднее значение урожайности i -го сорта / average value of the yield of the i -th variety, b_i – коэффициент регрессии i -го сорта / regression coefficient of the i -th variety, x_i – среднее значение урожайности по всем сортам для каждого j -го года / average value of yield for all varieties for each j -th year.	В. А. Драгавцев и др., 1984 / V. A. Dragavtsev et al., 1984 [6]
$V = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$	V – коэффициент вариации / coefficient of variation, s – стандартное отклонение / standard deviation, $\bar{x}$ – средняя арифметическая величина урожайности / arithmetic mean of yields.	Б. А. Доспехов, 1985 / B. A. Dospekhov, 1985 [7]
$SF = \frac{Y_{\max}}{Y_{\min}}$	SF – фактор стабильности / stability factor, $Y_{\min}$ – минимальная урожайность / minimum yield, $Y_{\max}$ – максимальная урожайность / maximum yield.	D. Lewis, 1954 [8]
$H_{om} = \frac{\bar{x}}{V}$	H_{om} – показатель гомеостатичности / homeostatic parameter, $\bar{x}$ – средняя арифметическая величина урожайности / arithmetic mean of yields, V – коэффициент вариации по урожайности / coefficient of variation by yield.	В. В. Хангильдин и др., 1977 / V. V. Khangildin et al., 1977 [9]
$KA = \frac{Y_{ij} \times 100}{Y_j}$	KA – коэффициент адаптивности / adaptivity coefficient, Y_{ij} – урожайность i -го сорта в j -й год испытаний / yield of the i -th variety in the j -th year, Y_j – среднесортная урожайность года испытаний / average variety yield of the test year.	Л. А. Животков и др., 1994 / L. A. Zhivotkov et al., 1994 [10]
$d = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\max}}$	d – размах урожайности / yield spread	В. А. Зыкин и др., 1984 / V. A. Zykin et al., 1984 [11]
$Y_2 - Y_1 =$ $Y_{\min} - Y_{\max}$	$Y_2 - Y_1$ – стрессоустойчивость / resistance to stress	A. A. Rossielle, J. Hemblin в изложении А. А. Гончаренко, 2005 / A. A. Rossielle, J. Hemblin as presented by A. A. Goncharenko, 2005 [12]

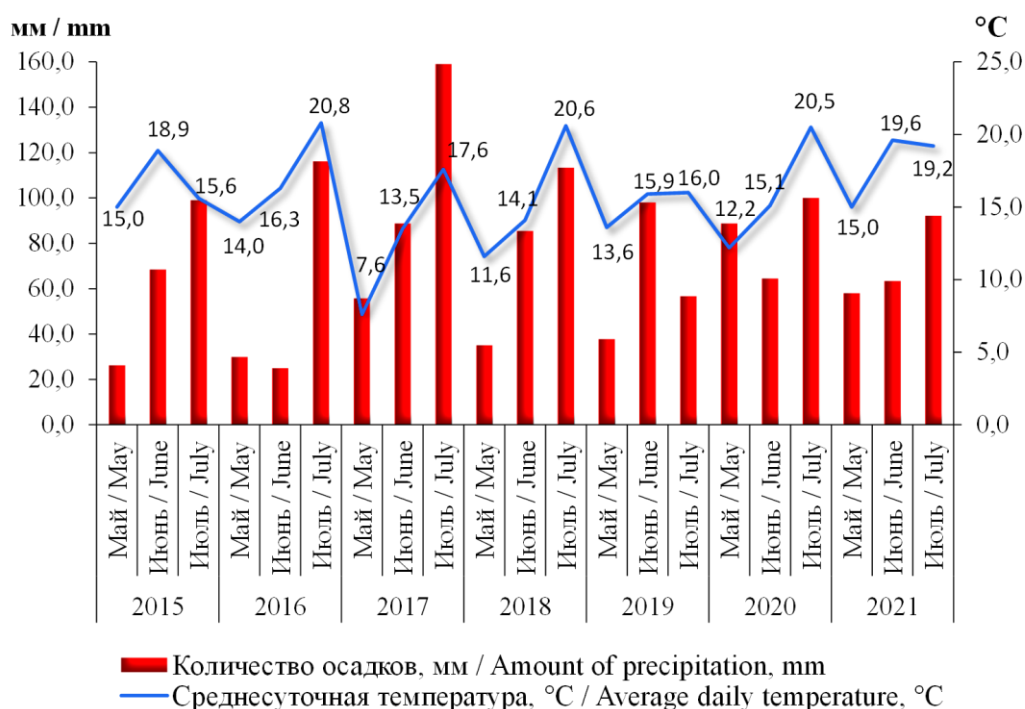


Рис. Характеристика погодных условий весенне-летних вегетационных периодов 2015-2021 гг. /
Fig. Characteristics of the weather conditions of the spring-summer growing seasons, 2015-2021

Результаты и обсуждение. Для характеристики условий выращивания сортов использовали индекс условий среды (I_j). В 2015, 2017 и в 2018 гг. I_j имел положительные значения (0,24...1,58), что свидетельствует о достаточно благоприятных условиях возделывания. Отрицательное значение индекса (-0,09...-1,25) в 2016, 2019, 2020, 2021 гг. говорит о неблаго-

приятном гидротермическом режиме для формирования урожая зерна озимой ржи. Лучшие условия для роста и развития наблюдались в 2015 году ($I_j = 1,58$), при этом средняя урожайность в опыте составила 4,22 т/га. В сложных погодных условиях 2016 г. средняя урожайность сортов ржи снизилась в 3 раза и составила 1,39 т/га (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность сортов озимой ржи, т/га (г. Киров, 2015-2021 гг.) /
Table 2 – Yield of winter rye varieties, t/ha (Kirov, 2015-2021)

Copm / Variety	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее / Average
Фаленская 4 / Falenskaya 4	4,94	2,58	3,51	4,23	3,75	2,30	2,77	3,44
Рушник / Rushnik	4,24	2,96	2,56	3,19	4,84	2,65	3,12	3,37
Флора / Flora	4,84	2,58	2,98	4,64	5,01	2,26	3,01	3,62
Крона / Krona	3,44	0,99	3,86	1,45	2,20	2,41	2,20	2,36*
Памяти Кунакбаева / Pamyati Kunakbayeva	4,30	1,05	2,87	1,62	3,17	2,74	1,72	2,50*
Антарес / Antares	3,76	0,30	2,69	2,77	0,64	2,41	1,63	2,03*
Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87	3,81	0,19	2,13	2,17	0,72	2,15	1,61	1,83*
Алиса / Alisa	4,26	1,68	2,86	4,15	2,89	2,48	1,82	2,88
Янтарная / Yantarnaya	4,95	1,42	3,18	3,87	2,01	2,42	1,63	2,78
Саратовская 7 / Saratovskaya 7	3,69	0,18	3,16	0,68	0,30	2,37	1,12	1,64*
Среднее / Average	4,22	1,39	2,98	2,88	2,55	2,42	2,06	-
I_j	1,58	-1,25	0,34	0,24	-0,09	-0,22	-0,58	-

* достоверно ниже стандарта Фаленская 4 при $P \geq 95\%$; $F_{\text{факт.}} = 5,8$; $F_{\text{теор.}} = 2,1$ /

* reliably below the standard Falenskaya 4 if $P \geq 95\%$; $F_{\text{fact.}} = 5.8$; $F_{\text{teor.}} = 2.1$

Изучаемые в опыте сорта относятся к разным эколого-географическим группам и неодинаково реагируют на конкретные условия выращивания, поэтому средняя урожайность в опыте по годам значительно варьировала ($V = 23\%$). Наиболее высокая и стабильная урожайность отмечена у сортов Флора, Фаленская 4 и Рушник селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (3,37-3,62 т/га), которые созданы в условиях Кировской области и максимально адаптированы к местному гидротермическому режиму. Средняя урожайность сортов Алиса и Янтарная (2,78-2,88 т/га) селекции ФГБНУ Уральский НИИСХ была немного ниже, но в пределах ошибки опыта, т. е. на уровне сорта-стандарта Фаленская 4.

По результатам дисперсионного анализа выявлено достоверное (на 5%-ном уровне значимости) влияние внешних условий на урожайность сортов (43 %). В сложных и нестабильных условиях выращивания озимых доля влияния генотипа была менее значительной и составила 28 %. Достоверное влияние условий года позволило провести расчет показателей адаптивности сортов озимой ржи по признаку «урожайность».

Коэффициент регрессии b_i (пластичность) показывает реакцию сорта на изменение

условий выращивания. Малопластичные сорта ($b_i < 1$) являются сортами экстенсивного типа и слабо откликаются на улучшение условий выращивания. Высокопластичные сорта интенсивного типа имеют коэффициент регрессии $b_i > 1$ и сильную реакцию на изменение условий среды. Среди ученых нет однозначного мнения, сорта с каким значением пластичности считать наиболее адаптивными. Ряд авторов [14, 15, 16] считают наиболее адаптивными малопластичные сорта, которые имеют $b_i < 1$. Гончаренко и др. [17] в своих исследованиях также делают вывод, что для селекции важна отнюдь не высокая пластичность. Однако другие авторы называют адаптивными высокопластичные сорта, у которых b_i значимо выше 1 [3, 18, 19, 20]. Третья группа авторов [21, 22] полагает, что наиболее адаптивными следует считать сорта с b_i близким или равным 1. Согласно авторам методики в изложении В. З. Пакудина и др. [5], идеальным считается сорт с коэффициентом регрессии близким к 1, поэтому в наших исследованиях мы оцениваем сорта, руководствуясь этим мнением. Наиболее приспособленными сортами в опыте являлись сорта озимой ржи Алиса ($b_i = 1,03$), Фаленская 4 ($b_i = 0,94$) и Памяти Кунакбаева ($b_i = 1,08$) (табл. 3).

Таблица 3 – Показатели адаптивных свойств и экологической устойчивости сортов озимой ржи по признаку «урожайность» (г. Киров, 2015-2021 гг.) /

Table 3 – Parameters of adaptive qualities and ecological stability of winter rye varieties by the “yield” trait (Kirov, 2015-2021)

<i>Coptm / Variety</i>	b_i	σd^2	KM	$V, \%$	SF	H_{om}	$Y_2 - Y_1$	d	$KA, \%$
Фаленская 4 / Falenskaya 4	0,94	0,30	1,72	28	2,1	0,12	-2,64	0,53	134,7
Рушник / Rushnik	0,40	0,74	1,31	25	1,9	0,13	-2,28	0,47	137,1
Флора / Flora	0,84	1,02	1,61	32	2,2	0,11	-2,75	0,55	142,4
Крона / Krona	0,84	0,61	1,94	43	3,9	0,06	-2,87	0,74	89,3
Памяти Кунакбаева / Pamyati Kunakbayeva	1,08	0,43	2,14	44	4,1	0,06	-3,25	0,76	92,9
Антарес / Antares	1,22	0,50	2,58	61	12,5	0,03	-3,46	0,92	71,5
Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87	1,20	0,32	2,74	64	20,1	0,03	-3,62	0,95	63,7
Алиса / Alisa	1,03	0,30	1,94	35	2,5	0,08	-2,58	0,61	109,4
Янтарная / Yantarnaya	1,39	0,25	2,32	46	3,5	0,06	-3,53	0,71	102,6
Саратовская 7 / Saratovskaya 7	1,22	1,07	2,97	87	20,5	0,02	-3,51	0,95	56,3

Среднеквадратичное отклонение σd^2 (стабильность) – это способность сортов сохранять постоянство признаков при изменяющихся

условиях выращивания. Чем меньше коэффициент стабильности, тем более стабилен сорт. В изученном наборе сортов наиболее стабиль-

ными были сорта Янтарная и Алиса уральской селекции, а также сорт-стандарт Фаленская 4 Кировской селекции ($\sigma d^2 = 0,25-0,30$). Коэффициент корреляции между показателями b_i и σd^2 – незначительный ($r = -0,33$), это говорит о том, что данные показатели оценивают сорта с разных сторон адаптивности. Ранее проведенные исследования по изучению адаптивности яровой пшеницы показали, что растения не могут совмещать в одном генотипе пластичность и стабильность [23]. Анализируя данные таблицы 3, можно сделать вывод, что этот факт не подтвердился в наших исследованиях: у сортов Алиса и Фаленская 4 выявлены высокие показатели как пластичности, так и стабильности.

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции урожайности сортов озимой ржи с показателями адаптивных свойств и экологической устойчивости /
Table 4 – Correlation coefficients for yield of winter rye varieties with parameters of adaptive qualities and ecological stability

b_i	σd^2	KM	V, %	SF	H_{om}	$Y_2 - Y_1$	d	KA, %
-0,61	-0,01	-0,91*	-0,91*	-0,85*	0,96*	0,79*	-0,96*	0,99*

* значимо на 1%-ном уровне / * significant at 1% level

Расчет коэффициента вариации (V) является одним из самых простых способов, позволяющих выявить реакцию растений на неблагоприятные условия окружающей среды. У всех сортов в опыте отмечен высокий уровень вариации урожайности ($V = 25...87\%$). Наименьшие значения V отмечены у сортов местной селекции ($V = 25...32\%$), что говорит о более высокой их стабильности. Большой размах значений V по сортам показывает высокую информативность показателя.

Способность растений формировать урожай при неблагоприятных условиях среды называется гомеостатичностью. Сорта с высокой гомеостатичностью могут сводить к минимуму негативные воздействия окружающей среды. При расчете коэффициента гомеостатичности (H_{om}) используется коэффициент вариации (V), поэтому V и H_{om} тесно связаны друг с другом ($r = -0,90$). Высокая гомеостатичность в опыте отмечена у сортов Рушник (0,13), Фаленская 4 (0,12) и Флора (0,11).

При постоянно изменяющихся погодных условиях важным показателем адаптивности растений является стрессоустойчивость ($Y_2 - Y_1$), которая показывает разницу между минимальной и максимальной урожайностью в опыте. Чем меньше разрыв между Y_{min} и Y_{max} ,

Недостатком методики S. A. Eberhart, W. A. Russell [5] называют наличие у показателей b_i и σd^2 «эффекта шкалы», то есть зависимость от среднего значения признака [4, 24]. Однако в нашем опыте «эффекта шкалы» у показателей b_i и σd^2 не наблюдалось, о чем свидетельствует отсутствие достоверных связей в парных корреляциях между урожайностью и показателями b_i и σd^2 (табл. 4). С другой стороны, по мнению некоторых авторов [25, 26], отсутствие у b_i и σd^2 достоверных связей с урожайностью говорит о том, что эти показатели являются теоретическими и мало подходят для практической селекции.

тем стрессоустойчивость сортов выше. Максимальную стрессоустойчивость имели сорта Рушник (-2,28), Алиса (-2,58) и Фаленская 4 (-2,64). Таким образом, сорта с наименьшими значениями коэффициента вариации, максимальной гомеостатичностью и высокой стрессоустойчивостью считаются наиболее адаптивными. В нашем опыте такое сочетание показателей отмечено у сорта Рушник ($V = 25\%$, $H_{om} = 0,13$, $Y_2 - Y_1 = -2,28$).

По мнению А. А. Гончаренко, для селекции важное адаптивное значение, наравне с коэффициентом вариации, имеет высокая фенотипическая стабильность (фактор стабильности SF) [17]. Фактор фенотипической стабильности рассчитывается как отношение наиболее высокого значения признака к наиболее низкому. Чем выше числовое значение SF, тем сорт менее стабилен. Сорт наиболее устойчив по фенотипу при выращивании в разных условиях, если $SF = 1$. К наиболее фенотипически стабильным сортам в опыте можно отнести: Рушник ($SF = 1,9$), Фаленская 4 ($SF = 2,1$) и Флора ($SF = 2,2$).

Для оценки пластичности сортов, наравне с методикой S. A. Eberhart, W. A. Russell [5], применяют метод В. А. Драгавцева [6] по расчету коэффициента мультипликатив-

ности (KM). Чем выше значение KM, тем сорт сильнее реагирует на изменение окружающей среды. Наибольшее значение KM было отмечено у сортов Саратовская 7 (2,97), Безенчукская 87 (2,74) и Антарес (2,58). Сорта местной селекции с минимальными значениями KM (1,31-1,72) относятся к сортам экстенсивного типа. Такие сорта обладают низкой отзывчивостью на изменение факторов среды. С одной стороны, улучшение условий выращивания не дает существенной прибавки урожая местных сортов, с другой стороны, при неблагоприятных условиях урожайность остается стабильной. По мнению ряда авторов [4, 21, 24], KM у сортов варьирует слабо, что затрудняет оценку экологической устойчивости. Однако в наших исследованиях значения KM, как и b_i , варьировали достаточно сильно (25 и 28 % соответственно).

Для определения потенциальной продуктивности Л. А. Животков в 1994 году предложил использовать коэффициент адаптивности (КА) [10]. В нашем опыте КА варьировал от 56,3 до 142,4 %. При КА > 100 % сорт считается

адаптивным. Высокие адаптивные свойства и потенциал продуктивности в опыте отмечены у сортов Флора (142,4 %), Рушник (137,1 %) и Фаленская 4 (134,7 %). Связь показателя КА с урожайностью была исключительно тесной, что подтверждается высоким значением коэффициента детерминации ($R^2 = 0,99$).

Показатель размаха урожайности (d) определяли по методике В. А. Зыкина [11], в опыте он варьировал от 0,47 до 0,95. Чем значение d ниже, тем сорт более стабилен. В наших исследованиях низкий размах урожайности отмечен у сортов Рушник (0,47), Фаленская 4 (0,53) и Флора (0,55).

Все приведенные выше показатели адаптивных свойств и экологической устойчивости имеют свои преимущества и недостатки, поэтому для оценки адаптивного потенциала сортов целесообразно использовать одновременно несколько методик.

Применение системы рангов по исследуемым показателям позволяет всесторонне оценить сорта и выявить максимально адаптивные по большинству методик (табл. 5).

**Таблица 5 – Ранжирование сортов озимой ржи по показателям адаптивного потенциала /
Table 5 – Ranking of winter rye varieties by parameters of adaptive potential**

<i>Copm / Variety</i>	b_i	σd^2	KM	V	SF	H_{om}	$Y_2 - Y_1$	d	KA	Сумма рангов / Sum of ranks
Фаленская 4 / Falenskaya 4	2	2	8	2	2	2	3	2	3	26
Рушник / Rushnik	10	8	10	1	1	1	1	1	2	35
Флора / Flora	4	9	9	3	3	3	4	3	1	39
Крона / Krona	4	7	6	5	6	5	5	6	7	51
Памяти Кунакбаева / Pamyati Kunakbayeva	3	5	5	6	7	5	6	7	6	50
Антарес / Antares	7	6	3	8	8	8	7	8	8	63
Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87	6	4	2	9	9	8	10	9	9	66
Алиса / Alisa	1	2	6	4	4	4	2	4	4	31
Янтарная / Yantarnaya	9	1	4	7	5	5	9	5	5	50
Саратовская 7 / Saratovskaya 7	7	10	1	10	10	10	8	9	10	75

Наименьший ранг говорит об адаптивности сорта. Оценка сортов озимой ржи по 9 показателям позволила выделить наиболее адаптивные для нашего региона: Фаленская 4 (сумма рангов 26), Алиса (31), Рушник (35) и Флора (39).

Разные авторы придерживаются неоднозначных мнений относительно того, какие методики следует использовать при расчете

адаптивности [18, 23]. Так, А. Б. Дьяков (2010) при изучении адаптивности обнаружил различия в биологической интерпретации одних и тех же вычисляемых параметров (в частности, коэффициента регрессии b_i) [27]. Из-за большого практического значения адаптивности количество публикаций на эту тему растет, возрастают и различия в толковании результатов.

Поэтому особое значение имеет правильный выбор методик оценки адаптивных свойств и экологической устойчивости для конкретной культуры в конкретных условиях возделывания, а также верное трактование результатов в соответствии с методикой.

Заключение. По комплексу показателей экологической устойчивости и адаптивных свойств признака «урожайность» выделены

сорта озимой ржи селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока – Фаленская 4, Рушник и Флора, селекции ФГБНУ Уральский НИИСХ – Алиса, которые можно считать наиболее приспособленными к условиям Кировской области. Не обладая высокой интенсивностью, данные сорта характеризуются значительным адаптивным потенциалом и приспособлены к различным агрометеорологическим условиям.

Список литературы

1. Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Шамова М. Г., Парфенова Е. С., Набатова Н. А., Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Шляхтина Е. А. Возделывание озимой ржи в условиях северного земледелия. Научно-практические рекомендации. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2021. 120 с.
Режим доступа: <http://fanc-sv.ru/activity/info/izdaniya-2021-g.html>
2. Кедрова Л. И. Озимая рожь в Северо-Восточном регионе России. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 158 с.
3. Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Сравнительная оценка адаптивного потенциала сортов озимой ржи по признаку «содержание белка в зерне» в условиях Ленинградской области. Евразийский Союз Ученых. 2020;1-3(70):37-43. DOI: <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.3.70.545>
4. Волкова Л. В., Щенникова И. Н. Сравнительная оценка методов расчёта адаптивных реакций зерновых культур. Теоретическая и прикладная экология. 2020;(3):140-146.
DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-140-146>
5. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сельскохозяйственных культур. Сельскохозяйственная биология. 1984;19(4):109-113.
6. Драгавцев В. А., Цильке В. А., Рейтер Б. Г. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1984, 229 с.
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
8. Lewis D. Geneenvironment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability. Heredity. 1954;(8):333-356.
9. Хангильдин В. В., Асфондиярова Р. Р. Проявление гомеостаза у гибридов гороха посевного. Биологические науки. 1977;(1):116-121.
10. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайности». Селекция и семеноводство. 1994;(2):3-6.
11. Зыкин В. А., Мешков В. В., Сапега В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск, 1984. 24 с.
12. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник РАСХН. 2005;(6):49-53.
13. Урбах В. Ю. Биометрические методы: статистическая обработка опытных данных в биологии, сельском хозяйстве и медицине. М.: Наука, 1964. С. 19-247. Режим доступа: <https://booksee.org/dl/818843/e75fb7>
14. Парфенова Е. С., Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Псарева Е. А. Экологическая пластичность и стабильность сортов озимой ржи по регенерационной способности и урожайности в Кировской области. Владимирский земледелец. 2019;(1):39-43. DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2019-10053>
15. Шляхтина Е. А., Рылова О. Н. Результаты оценки адаптивных показателей признаков «урожайность» и «число падения» сортов озимой ржи в условиях Кировской области. Зерновое хозяйство России. 2020;(3):38-42. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-38-42>
16. Потапова Г. Н., Галимов К. А., Зобнина Н. Л. Продуктивность и адаптивность сортов озимой ржи на Среднем Урале. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(10):28-33.
DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11004>
17. Гончаренко А. А., Макаров А. В., Ермаков С. А., Семенова Т. В., Точилин В. Н. Оценка экологической стабильности и пластичности инбредных линий озимой ржи. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015;(1-2):3-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22857291>
18. Мамеев В. В. Выявление сортов озимой ржи с экологической адресностью для юго-запада центра России. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(3(43)):78-83.
DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-3-78-83>

19. Федорова В. А. Оценка экологической пластичности сортов озимой ржи в аридной зоне севера Астраханской области. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2020;6(2):223-228. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-2-223-228>
20. Бебякин В. М., Кедрова Л. И., Кулеватова Т. Б. Адаптивность: методические подходы, методы и критерии её оценки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2005;(7):4-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12881546>
21. Jat M. L., Jat R. K., Singh P., Jat S. L., Sidhu H. S., Jat H. S., Bijarniya D., Parihar C. M., Gupta R. Predicting yield and stability analysis of wheat under different crop management systems across agro-ecosystems in India. American Journal of Plant Sciences. 2017;8(8):1977-2012. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.88133>
22. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Гильмуллина Л. Ф., Илалова Л. В., Вафина Г. С. Новый сорт озимой ржи «Зилант» с широкой адаптацией. Зерновое хозяйство России. 2021;1(1):8-13. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-8-13>
23. Бебякин В. М., Кулеватова Т. Б., Старичкова Н. И. Методические подходы, методы и критерии оценки адаптивности растений. Известия Саратовского Университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2005;5(2):69-71. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11700278>
24. Balcha A. Genotype by environment interaction for grain yield and association among stability parameters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). American Journal of Plant Sciences. 2020;11(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.111001>
25. Lin C. S., Binns M. R., Lefkovich L. P. Stability analysis: Where do we stand? Crop Science. 1986;26(5):894-900. URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2135/cropsci1986.0011183X002600050012x>
26. Becker H. C., Leon J. Stability analysis in plant breeding. Plant Breeding. 1988;101(1):1-23. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1439-0523.1988.TB00261.X>
27. Дьяков А. Б., Трунова М. В. Взаимосвязь между параметрами стабильности и адаптивности сортов. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2010;(1(142-143)):80-86. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15100736>

References

1. Utkina E. I., Kedrova L. I., Shamova M. G., Parfenova E. S., Nabatov N. A., Sheshegova T. K., Shechkleina L. M., Shlyakhtina E. A. Cultivation of winter rye in the conditions of northern agriculture. Scientific and practical recommendations. Kirov: FGBNU FANTs Severo-Vostoka, 2021. 120 p. URL: <http://fanc-sv.ru/activity/info/izdaniya-2021-g.html>
2. Kedrova L. I. Winter rye in the North-Eastern region of Russia. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2000. 158 p.
3. Aniskov N. I., Safonova I. V. Comparative estimation of the adaptive potential of winter rye varieties by the protein content in the grain in the conditions of the Leningrad region. *Evrasiyskiy Soyuz Uchenykh* = Eurasian Union of Scientists. 2020;1-3(70):37-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.3.70.545>
4. Volkova L. V., Shchennikova I. N. Comparative evaluation of methods for calculating adaptive responses of cereals. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2020;(3):140-146. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-140-146>
5. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. Assessment of ecological plasticity and stability of agricultural crops. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 1984;19(4):109-113. (In Russ.).
6. Dragavtsev V. A., Tsilke V. A., Reyter B. G. Genetics of productivity traits of spring wheat in Western Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1984, 229 p.
7. Dospekhov B. A. Methodology of field experiment. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
8. Lewis D. Geneenvironment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability. *Heredity*. 1954;(8):333-356.
9. Khangildin V. V., Asfondiyarova R. R. Manifestation of homeostasis in hybrids of edible pea. *Biologicheskie nauki*. 1977;(1):116-121. (In Russ.).
10. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatueva L. I. Methods for identifying the potential productivity and adaptability of varieties and breeding forms of winter wheat by the "yield" indicator. *Selektsiya i semenovodstvo*. 1994;(2):3-6. (In Russ.).
11. Zykin V. A., Meshkov V. V., Sapega V. A. Parameters of ecological plasticity of agricultural plants, their calculation and analysis: methodical recommendations. Novosibirsk, 1984. 24 p.
12. Goncharenko A. A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik RASKhN*. 2005;(6):49-53. (In Russ.).
13. Urbakh V. Yu. Biometric methods: statistical processing of experimental data in biology, agriculture and medicine. Moscow: Nauka, 1964. pp. 19-247. URL: <https://booksee.org/dl/818843/e75fb7>

14. Parfenova E. S., Utkina E. I., Kedrova L. I., Psareva E. A. Secological plasticity and stability of winter rye varieties based on yield and regeneration capability in the Kirov region. *Vladimirskiy zemledelets* = Vladimir agricolist. 2019;(1):39-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2019-10053>
15. Shlyakhtina E. A., Rylova O. N. The estimation results of the adaptive indicators of the traits «productivity» and «a falling number» of the winter rye varieties in the Kirov region. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2020;(3):38-42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-38-42>
16. Potapova G. N., Galimov K. A., Zobnina N. L. Productivity and adaptability of winter rye varieties in the Middle Urals. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(10):28-33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11004>
17. Goncharenko A. A., Makarov A. V., Ermakov S. A., Semenova T. V., Tochilin V. N. Estimation of ecological stability and plasticity inbred lines of a winter rye. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* = Reports of the Russian Academy of agricultural sciences. 2015;(1-2):3-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22857291>
18. Mameev V. V. Search for varieties of winter rye with environmental targeting for the southwest of central Russia. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2018;(3(43)):78-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-3-78-83>
19. Fedorova V. A. Assessment of ecological flexibility of winter rye varieties in the arid zone of the north of the Astrakhan region. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2020;6(2):223-228. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-2-223-228>
20. Bebyakin V. M., Kedrova L. I., Kulevatova T. B. Adaptability: methodological approaches, methods and criteria for its evaluation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2005;(7):4-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12881546>
21. Jat M. L., Jat R. K., Singh P., Jat S. L., Sidhu H. S., Jat H. S., Bijarniya D., Parihar C. M., Gupta R. Predicting yield and stability analysis of wheat under different crop management systems across agro-ecosystems in India. *American Journal of Plant Sciences*. 2017;8(8):1977-2012. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.88133>
22. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Gilmullina L. F., Ilalova L. V., Vafina G. S. The new winter rye variety 'Zilant' with broad adaptability. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2021;1(1):8-13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-8-13>
23. Bebyakin V. M., Kulevatova T. B., Starichkova N. I. Methodical approaches, methods and estimation criteria of plant autoadaptivity. *Izvestiya Saratovskogo Universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya* = Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology. 2005;5(2):69-71. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11700278>
24. Balcha A. Genotype by environment interaction for grain yield and association among stability parameters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *American Journal of Plant Sciences*. 2020;11(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.111001>
25. Lin C. S., Binns M. R., Lefkovich L. P. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science*. 1986;26(5):894-900. URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2135/cropsci1986.0011183X002600050012x>
26. Becker H. C., Leon J. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*. 1988;101(1):1-23. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1439-0523.1988.TB00261.X>
27. Diakov A. B., Trunova M. V. Vzaimosvyaz' mezhdu parametrami stabil'nosti i adaptivnosti sortov. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2010;(1(142-143)):80-86. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15100736>

Сведения об авторах

✉ **Набатова Наталья Александровна**, младший научный сотрудник лаборатории селекции и 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/0000-0002-3845-0168>, e-mail: nabatova43@rambler.ru

Уткина Елена Игоревна, доктор с.-х. наук, зав. отделом 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/0000-0001-5650-6906>

Парфенова Елена Сергеевна, кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией селекции и 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>

Шамова Марина Геннадьевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории селекции и 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/0000-0003-4991-1510>

Псарева Екатерина Александровна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и 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/0000-0002-9020-4765>

Жукова Мария Николаевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и 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/0000-0002-9015-0613>

Information about the authors

✉ **Natalia A. Nabatova**, junior researcher, the Laboratory of Breeding and Seed Production of Winter Rye, 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/0000-0002-3845-0168>,
e-mail: nabatova43@rambler.ru

Elena I. Utkina, DSc in Agricultural Science, Head of the Department of Winter Rye, 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/0000-0001-5650-6906>

Elena S. Parfenova, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Breeding and Seed Production of Winter Rye, 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>

Marina G. Shamova, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Breeding and Seed Production of Winter Rye, 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/0000-0003-4991-1510>

Ekaterina A. Psareva, junior researcher, the Laboratory of Breeding and Seed Production of Winter Rye, 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>

Maria N. Zhukova, junior researcher, the Laboratory of Breeding and Seed Production of Winter Rye, 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/0000-0002-9015-0613>

✉ – Для контактов / Corresponding author