

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408>

УДК 633.14:631.82:631.815

Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность озимой ржи в Среднем Предуралье© 2023. Д. Г. Шишков^{1,2} ✉, В. Р. Олехов¹, М. Т. Васбиева²¹ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», г. Пермь, Российская Федерация,²Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

Озимая рожь является важной культурой Нечерноземной зоны России, продуктивность которой зависит от применения удобрений. В работе представлены данные об агрономической и экономической эффективности возделывания озимой ржи сорта Фалёнская 4 в условиях длительного применения минеральных удобрений. Исследования проводили в 2019-2021 гг. в Пермском крае на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в длительном стационарном опыте, заложенном по сокращённой факториальной схеме (6х6х6) с широким диапазоном доз и соотношений NPK. В условиях 2019 года высокая урожайность получена в варианте N₃₀P₁₂₀K₁₂₀ (3,07 т/га), наибольшая окупаемость минеральных удобрений зерном – в вариантах N₉₀ и N₃₀P₃₀K₃₀ (6,09 и 5,69 кг зерна). В условиях 2021 года наибольшая урожайность и окупаемость зерном получены в варианте N₉₀ – 3,01 т/га и 13,96 кг зерна, в среднем за два года – 2,95 т/га и 9,82 кг зерна соответственно. Регрессионным уравнением в среднем за 2 года доказана эффективность азотных удобрений, фосфорные и калийные не оказали достоверного эффекта. Увеличение прибавки урожайности происходило до дозы азота 90 кг/га, при N₉₀ составило 0,42 т/га. Самая высокая окупаемость зерном получена при внесении дозы N₃₀ (7,3 кг зерна, с каждым увеличением доз на 30 кг/га данный показатель линейно снижался на 1,3 кг). Предельная рентабельность по годам исследований получена в варианте без применения удобрений – в среднем за два года она составила 60 %. В 2021 г. при применении N₉₀ рентабельность составила 50 %, в контроле – 43 %. Среди изучаемых доз азота, применяемого в чистом виде, все обеспечивали положительную рентабельность, однако наиболее экономически эффективным, не учитывая возделывание без применения удобрений, являлось использование доз N₃₀ и N₆₀ – рентабельность составила 52 и 45 % соответственно.

Ключевые слова: *Secale cereale L.*, факториальный опыт, экономическая эффективность минеральных удобрений, окупаемость удобрений зерном

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (тема № АААА-А19-119032190059-8).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шишков Д. Г., Олехов В. Р., Васбиева М. Т. Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность озимой ржи в Среднем Предуралье. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):399-408. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408>

Поступила: 30.03.2023

Принята к публикации: 23.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

The influence of different doses and ratios of mineral fertilizers on the yield of winter rye in the Urals© 2023. Danil G. Shishkov^{1,2} ✉, Vladimir R. Olekhov¹, Marina T. Vasbieva²¹Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, Perm, Russian Federation,²Perm Agricultural Research Institute – division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation

Winter rye is an important crop of the Non-Chernozem belt of Russia, the productivity of which depends on the use of fertilizers. The paper presents data on the agronomic and economic efficiency of cultivating Falenskaya 4 winter rye under conditions of long-term use of mineral fertilizers. The studies were carried out in 2019-2021 in Perm Region on sod-podzolic heavy loamy soil in a long-term stationary experiment based on a reduced factorial design (6x6x6) with a wide range of doses and NPK ratios. The highest yield in 2019 was obtained in N₃₀P₁₂₀K₁₂₀ variant (3.07 t/ha), the highest payback of mineral

fertilizers by grain was noted in N_{90} and $N_{30}P_{30}K_{30}$ variants (6.00 and 5.69 kg of grain). The highest yield and payback of grain in the conditions of 2021 and for two years of research in average was obtained in the variant N_{90} : in 2021, 3.01 t/ha and 13.96 kg of grain, for 2 years average – 2.95 t/ha and 9.82 kg of grain. The efficiency of nitrogen fertilizers has been proved by a regression equation for two years average, phosphoric and potash fertilizers did not have a significant effect. The rise in the yield increase occurred up to a nitrogen dose of 90 kg/ha and amounted to 0.42 t/ha at N_{90} . The highest payback by grain was noted among nitrogen treatments – by N_{30} (7.3 kg of grain), with each increase in doses by 30 kg/ha, this indicator decreased linearly by 1.3 kg. The highest profitability over the years of research was obtained in the variant without fertilizers – 60 %, over two years in average. The profitability of using N_{90} was higher compared with the control only in 2021 – 50 % versus 43 %. All the studied doses of nitrogen used separately provided positive profitability, but the most cost-effective was the use of N_{30} and N_{60} – profitability was 52 and 45 %, respectively.

Keywords: *Secale cereale L.*, factorial experiment, economic efficiency of mineral fertilizers, payback of fertilizers by grain

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences (theme No. AAAA-A19-119032190059-8).

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

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

For citations: Shishkov D. G., Olekhov V. R., Vashieva M. T. The influence of different doses and ratios of mineral fertilizers on the yield of winter rye in the Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(3):399-408. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408>

Received: 30.03.2023

Accepted for publication: 23.05.2023

Published online: 28.06.2023

Озимая рожь – ценная зерновая культура, наиболее полноценно среди озимых зерновых реализующая потенциал своей продуктивности в Нечернозёмной зоне. Происходит это за счёт устойчивости к почвенной кислотности, высокой зимостойкости, а также отзывчивости на применение удобрений за счёт продолжительного периода потребления питательных веществ [1, 2, 3, 4].

На низкоплодородных дерново-подзолистых почвах научно обоснованное внесение удобрений является одним из основных методов повышения урожайности зерновых культур и сохранения плодородия почвы [5, 6, 7]. Чаще всего наибольший эффект в увеличении урожайности принадлежит применению полного минерального удобрения и азотной подкормки [1, 4, 8, 9]. Однако многие авторы указывают на то, что эффективность действия удобрений зависит от условий произрастания, а именно – агрохимического состояния почвы и погодных условий периода вегетации [10, 11, 12]. По данным М. А. Фесенко с соавт. [13], гидротермические условия вегетации могут определять до 59 % урожайности озимой ржи, притом что уровень питания – только до 21 %. Также стоит отметить, что наибольшая окупаемость применения удобрений чаще всего происходит за счёт использования азотных удобрений [7, 14].

Важным вопросом остаётся влияние повышенных доз минеральных удобрений на урожайность озимой ржи. Ряд исследований указывает на то, что эффективность повышенных доз проявляется нелинейно [2, 15]. В Кировской

области по результатам опыта с длительным применением удобрений установлено, наибольшая прибавка получена при внесении полного минерального удобрения в дозе 150 кг/га д. в., но окупаемость 1 кг д. в. удобрений зерном и уровень рентабельности производства были выше при внесении NPK в дозе 30 кг/га д. в. [16].

Цель исследований – изучить действие различных доз и соотношений элементов питания на фоне длительного применения минеральных удобрений на урожайность озимой ржи сорта Фалёнская 4 и оценить их экономическую эффективность.

Научная новизна – установлена урожайность и экономическая эффективность возделывания озимой ржи на фоне длительного применения минеральных удобрений при использовании широкого диапазона доз и соотношений элементов питания на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Среднего Предуралья.

Материал и методы. Исследования проводили в длительном стационарном опыте «Изучение влияния доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность полевых культур», заложенном в 1978 году на базе Пермского НИИСХ – филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН. Исследования проводили в 2018-2019 гг. и 2020-2021 гг.

Схема опыта состоит из 24 вариантов, представляет собой сокращённую схему 1/9 полного факториального эксперимента (6х6х6) и предусматривает изучение 6 градаций доз

азотных (N), фосфорных (P) и калийных (K) удобрений – от 0 до 5 в условных обозначениях количества единичных доз (30 кг/га д. в.). Повторность вариантов в опыте двукратная, расположение делянок рендомизированное, общая площадь делянки составляет 120 м², учётная площадь – 76,4 м².

Исследования в опыте проводятся в полевом парозернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: чистый пар – озимая рожь – картофель – яровая пшеница с подсевом клевера – клевер 1 г. п. – клевер 2 г. п. – ячмень – овёс. На момент проведения исследований началась 6 ротация севооборота. Удобрения, согласно схеме, вносили под все культуры севооборота, кроме клевера.

На момент закладки опыта (1978 и 1980 гг.) почва имела следующие характеристики: содержание гумуса 2,12 %, рН_{KCl} 5,6, подвижных соединений фосфора и калия по Кирсанову 175 и 203 мг/кг соответственно. К началу 6-ой ротации агрохимические показатели пахотного слоя в целом по опыту изменились: произошло подкисление среды почвенного раствора (рН_{KCl} = 5,1), обеспеченность подвижными соединениями фосфора увеличилась до 224 мг/кг, калия не изменилось (200 мг/кг), содержание гумуса уменьшилось незначительно до 2,07 %. По отдельным вариантам опыта изменение агрохимических показателей почвы соответствовало используемым удобрениям.

Азотные удобрения под озимую рожь вносили согласно схеме опыта в два приёма: половина дозы под предпосевную культивацию, вторая половина – при подкормке под весеннее боронование (доза подкормки была различна для вариантов). Фосфорные и калийные удобрения вносили полностью под предпосевную культивацию. Посев осуществляли 31.08.2018 и 29.08.2020 (норма высева 6 млн всхожих семян на гектар), учёт урожайности – 24.08.2019 и 20.07.2021.

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали регрессионный анализ методом наименьших квадратов по В. Н. Перегудову¹, проведённый с помощью Microsoft Excel. Точность построенных уравнений оценивали коэффициентом корреляции между фактическими данными, полученными в поле и рассчитанными по уравнению.

Гидротермические условия вегетационных периодов, оцененные по гидротермическому коэффициенту (ГТК), представлены на рисунке 1. Основной особенностью вегетационного периода 2018-2019 гг. является обильное количество осадков с 3 декады июня до уборки, из-за чего во многих вариантах опыта наблюдалось полегание растений. Вегетационный период 2020-2021 гг. отличался сильно засушливыми условиями в 1-2 декады мая во время весеннего кушения, большим количеством осадков ливневого характера в 1 и 3 декады июля.

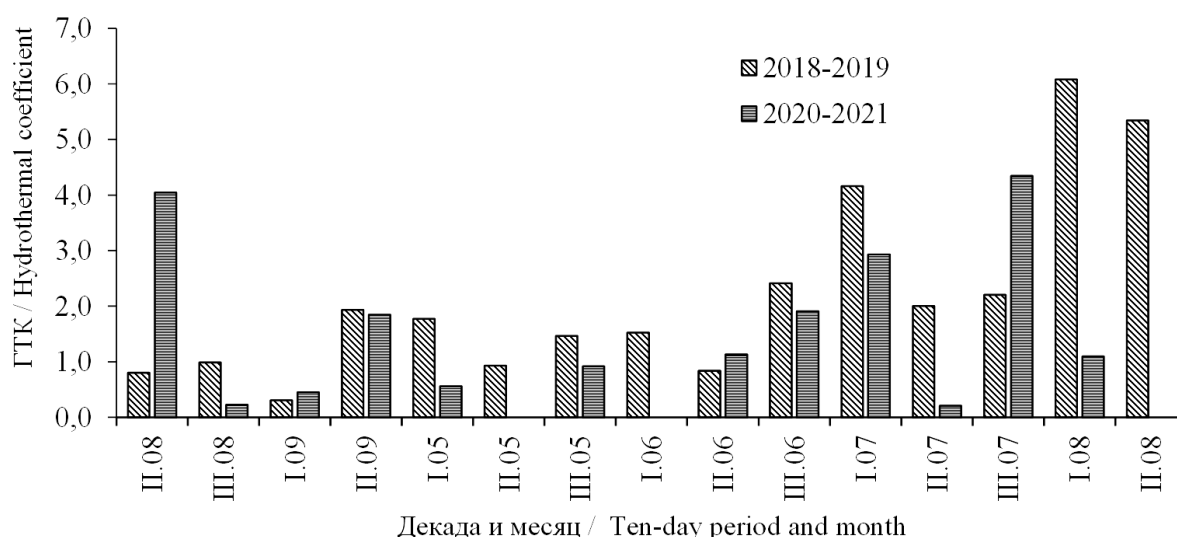


Рис. 1. ГТК вегетационного периода 2018-2019 гг. и 2020-2021 гг. /

Fig. 1. Hydrothermal coefficients of the vegetation periods of 2018-2019 and 2020-2021

¹Перегудов В. Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. М.: Колос, 1978. 183 с.

Результаты и их обсуждение. Внесение минеральных удобрений оказало влияние на урожайность озимой ржи сорта Фалёнская 4, которое по годам исследований было различным (табл. 1). В условиях 2019 года, когда уборка культуры проходила в условиях повышенного количества осадков, наибольшая величина урожайности получена в варианте $N_{30}P_{120}K_{120}$, относительно высокая – в вариантах $N_{30}P_{30}K_{30}$ и N_{90} . Наименьшая урожайность отмечена при применении полного минерального удобрения $N_{150}P_{150}K_{150}$, на 0,13 т/га ниже, чем в варианте без внесения удобрений. Урожайность меньше контроля получена в

вариантах $N_{90}P_{90}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$, на уровне контроля – при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$. Таким образом, в гидротермических условиях 2019 года среди полных доз минерального удобрения наибольшая эффективность отмечена при использовании минимальной дозы НРК по 30 кг д. в./га, повышение дозы вело к снижению эффективности. Агрономическая окупаемость применения 1 кг д. в. удобрений прибавкой зерна изменялась в относительно узком диапазоне от 0 до 3 кг в большинстве вариантов, наибольшая окупаемость отмечена в вариантах с применением N_{90} и $N_{30}P_{30}K_{30}$ (5,69 и 6,09 кг соответственно).

Таблица 1 – Урожайность озимой ржи сорта Фаленская 4 и окупаемость минеральных удобрений зерном / Table 1 – The yield of Falenskaya 4 winter rye and the payback of mineral fertilizers with grain

Вариант / Variant	2019 г.		2021 г.		Среднее за 2 года / Average for 2 years	
	У*	О	У	О	У	О
$N_0P_0K_0$ (контроль / control)	2,37	-	1,75	-	2,06	-
K_{90}	2,56	2,10	1,85	1,06	2,21	1,58
P_{90}	2,68	3,38	1,69	-	2,19	1,35
$P_{90}K_{90}$	2,56	1,03	1,75	-	2,15	0,49
N_{90}	2,88	5,69	3,01	13,96	2,95	9,82
$N_{90}K_{90}$	2,81	2,45	2,73	5,44	2,77	3,95
$N_{90}P_{90}$	2,34	-	2,18	2,36	2,26	1,09
$N_{90}P_{90}K_{90}$	2,29	-	2,30	2,02	2,29	0,85
$N_{30}P_{30}K_{30}$	2,92	6,09	2,05	3,28	2,48	4,68
$N_{30}P_{30}K_{120}$	2,84	2,61	2,06	1,70	2,45	2,15
$N_{30}P_{120}K_{30}$	2,81	2,42	2,04	1,59	2,42	2,01
$N_{30}P_{120}K_{120}$	3,07	2,57	2,09	1,25	2,58	1,91
$N_{120}P_{30}K_{30}$	2,83	2,55	2,20	2,50	2,52	2,52
$N_{120}P_{30}K_{120}$	2,53	0,57	2,02	0,98	2,27	0,78
$N_{120}P_{120}K_{30}$	2,42	0,18	2,91	4,27	2,66	2,23
$N_{120}P_{120}K_{120}$	2,39	0,05	2,66	2,50	2,52	1,28
$N_{60}P_{60}K_{60}$	2,42	0,27	2,39	3,54	2,41	1,91
$N_{60}P_{60}K_{150}$	2,63	0,97	2,21	1,69	2,42	1,33
$N_{60}P_{150}K_{60}$	2,79	1,55	2,17	1,53	2,48	1,54
$N_{60}P_{150}K_{150}$	2,81	1,21	2,20	1,24	2,50	1,22
$N_{150}P_{60}K_{60}$	2,55	0,66	2,04	1,05	2,29	0,85
$N_{150}P_{60}K_{150}$	2,72	0,97	2,22	1,29	2,47	1,13
$N_{150}P_{150}K_{60}$	2,53	0,43	2,26	1,40	2,39	0,92
$N_{150}P_{150}K_{150}$	2,24	-	2,32	1,26	2,28	0,48

*У – урожайность, т/га, О – окупаемость 1 кг д. в. зерном, кг /

*U – Yield, t/ha, O – payback of 1 kg of active ingredient by grain, kg

В условиях вегетационного периода 2021 года, для которого были характерны засушливые погодные условия, фазы развития культуры проходили быстрее, из-за чего уборка прошла раньше среднесезонных сроков. Если для 2019 года между максимальной урожайностью и в контроле наблюдали разрыв 0,70 т/га, то в 2021 году он увеличился до 1,26 т/га, что свидетельствует о серьёзном влиянии на урожайность погодных условий. Применение почти всех исследуемых доз минеральных удобрений приводило к увеличению урожайности относительно контроля, за исключением вариантов с внесением одних фосфорных и сочетания фосфорных с калийными удобрениями в дозе 90 кг/га д. в. Высокая урожайность отмечена в вариантах с применением одних азотных удобрений в дозе 90 кг/га д. в. и $N_{120}P_{120}K_{30}$, наименьшая – в вариантах без применения удобрений, P_{90} и $P_{90}K_{90}$. Окупаемость применения 1 кг д. в. удобрений прибавкой зерна в условиях 2021 года была выше и изменялась по вариантам опыта от 0,98 кг ($N_{120}P_{30}K_{120}$) до 13,96 кг (N_{90}).

В среднем за 2 года исследований выделился вариант N_{90} , в котором получили наибольшую урожайность и окупаемость применения 1 кг д. в. удобрений зерном (2,95 т/га и 9,82 кг соответственно). Низкую урожайность получили при возделывании озимой ржи без применения удобрений, наименьшую окупаемость – в вариантах $P_{90}K_{90}$ и $N_{150}P_{150}K_{150}$.

С использованием метода наименьших квадратов были получены следующие уравнения регрессии, описывающие эффекты от применения азотных и фосфорных удобрений (формулы 1-3).

Математически доказуемого влияния калийных удобрений на урожайность озимой ржи сорта Фаленская 4 за годы исследований не выявлено.

$$Y_{2019} = 2,58 + 0,1 \times N - 0,07 \times P + 0,04 \times P^2 - 0,05 \times NP; \quad (1)$$

$$Y_{2021} = 1,72 + 0,45 \times N - 0,07 \times N^2; \quad (2)$$

$$Y_{2019-2021} = 2,18 + 0,26 \times N - 0,04 \times N^2, \quad (3)$$

где Y_{2019} , Y_{2021} , $Y_{2019-2021}$ – урожайность зерна озимой ржи в 2019, 2021 годах, в среднем за 2019-2021 гг.; N , P , NP – дозы азотных и фосфорных удобрений, их сочетаний в кодированном виде (количество единичных доз); 2,58; 1,72; 2,18 – урожайность в контроле теоретическая; 0,1...0,04 – коэффициенты регрессии, характеризующие действие удобрений.

В условиях 2019 года достоверный эффект на урожайность оказывали азотные и фосфорные удобрения как отдельно, так и при совместном применении, однако влияние их зависело от доз. Коэффициент корреляции между фактическими и расчётными данными составил 0,71 ($p \leq 0,05$). В 2021 году доказана эффективность азотных удобрений, действие которых также зависело от доз. Коэффициент корреляции между фактическими и расчётными данными составил 0,75 ($p \leq 0,05$). В целом за два года исследований математически доказуемый эффект оказывали только азотные удобрения, однако стоит отметить, что коэффициент корреляции между фактическими и расчётными данными получили относительно низким ($r = 0,64$), что может свидетельствовать о том, что в каждый из этих лет исследований другие факторы оказывали разнонаправленное математически недоказуемое влияние. К этим факторам могут относиться как погодные условия (обильные осадки 2019 г. и засуха 2021 г.), так и действие фосфорных и калийных удобрений и их сочетание. Также следует отметить, что доказанная эффективность только азотных удобрений может являться следствием того, что за 5 ротаций севооборота запасы фосфора и калия в почве достигли высокого уровня, достаточного для роста и развития зерновых культур.

На рисунке 2 представлена визуализация полученных уравнений. Стоит отметить, что при выборе для построения графика по уравнению 2019 года как вариантов с дозами азотных удобрений без применения фосфорных, так и вариантов с дозами фосфорных без применения азотных урожайность возрастала линейно, что противоречило фактической динамике. Из чего был сделан вывод, что основное влияние на урожайность оказывали именно сочетания азотно-фосфорных удобрений. Полученное уравнение нивелировало действие дозы 30 кг/га д. в. и показало сохранение прибавки урожайности от дозы 60 кг/га д. в. относительно контроля и снижение урожайности при применении дозы 90 кг/га д. в. и выше. В 2021 г. доказуемый эффект оказали только азотные удобрения, эффективность которых снижалась после дозы 90 кг/га д. в., но в отличие от 2019 г. снижение не происходило до уровня контрольного варианта и ниже. В среднем за два года получили закономерность, аналогичную той, что наблюдали в 2021 г., но с более высоким уровнем урожайности.

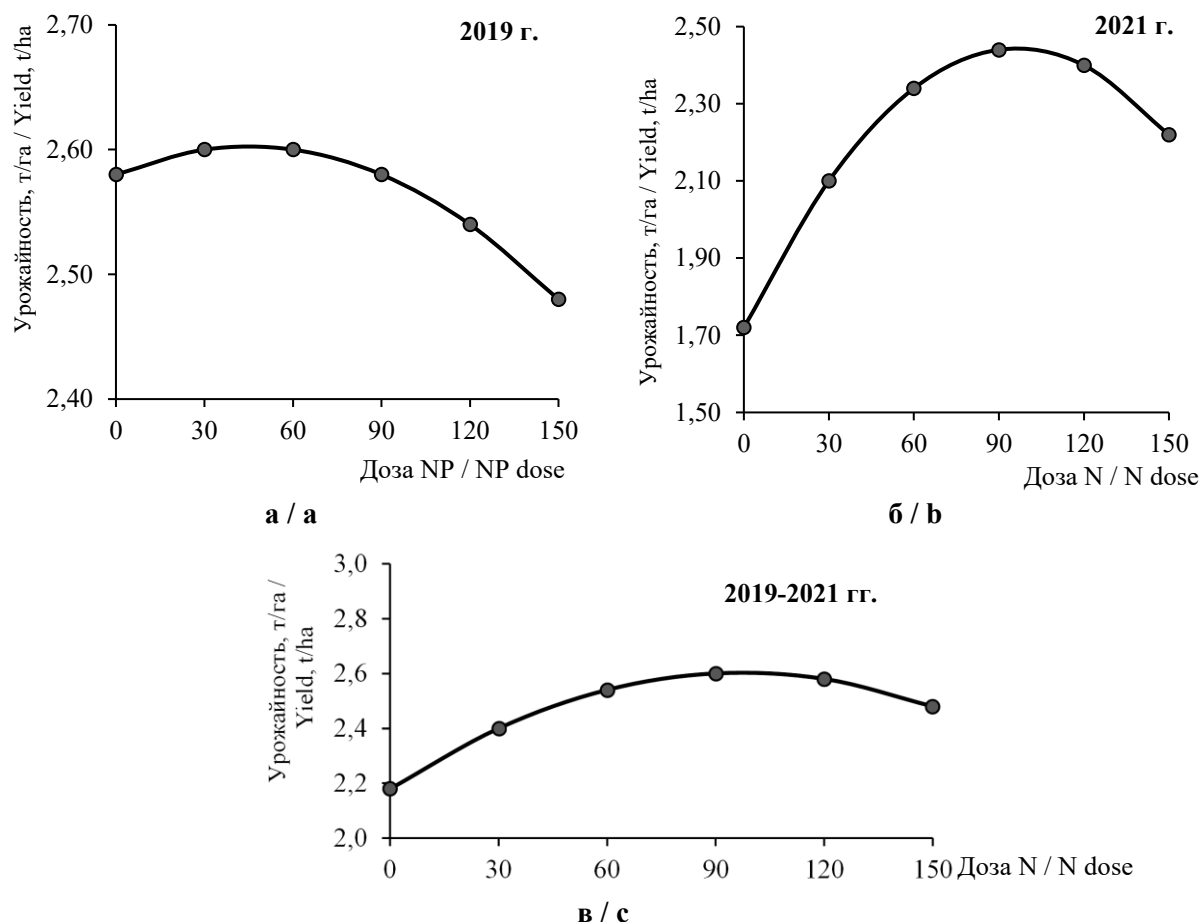


Рис. 2. Графики урожайности озимой ржи сорта Фаленская 4, рассчитанной по регрессионным уравнениям (формулы 1-3) /

Fig. 2 Yield graphs of Falenskaya 4 winter rye, calculated by regression equations (formulas 1-3)

Одним из безусловных плюсов факториальных схем опытов является возможность расчёта с помощью регрессионных уравнений урожайности, полученной в вариантах, не представленных непосредственно в поле [17]. В связи с тем, что по усреднённым за два года исследований данным доказанную эффективность показали азотные удобрения, в таблице 2 представлена урожайность озимой ржи, прибавки и окупаемость зерном при внесении

возрастающих доз азотных удобрений. Увеличение прибавок урожайности озимой ржи от 0,22 до 0,42 т/га отмечено при повышении доз азота от 30 до 90 кг/га, дальнейшее увеличение приводило к снижению прибавки. Наибольшая окупаемость азотных удобрений зерном получена в варианте N₃₀, каждое дальнейшее увеличение дозы на 30 кг/га приводило к снижению окупаемости на 1,3 кг зерна.

Таблица 2 – Урожайность озимой ржи сорта Фаленская 4, прибавка и окупаемость азотных удобрений зерном (расчётные данные) /

Table 2 – Yield of Falenskaya 4 winter rye, increase and payback of nitrogen fertilizers by grain (calculated data)

Вариант / Variant	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Прибавка, т/га / Increase, t/ha	Окупаемость 1 кг д. в. зерном, кг / Payback of 1 kg of a. i. by grain, kg
N ₀	2,18	-	-
N ₃₀	2,40	0,22	7,3
N ₆₀	2,54	0,36	6,0
N ₉₀	2,60	0,42	4,7
N ₁₂₀	2,58	0,40	3,3
N ₁₅₀	2,48	0,30	2,0

Важнейшим показателем в практике реального применения минеральных удобрений является экономическая эффективность их использования, что особенно важно в условиях существующего диспаритета цен на минеральные удобрения и с.-х. продукцию. В условиях 2019 года наибольшая рентабельность получена в варианте без применения удобрений (74 %). При использовании удобрений проис-

ходило существенное снижение рентабельности в 1,6 раза и более. Среди изучаемых в опыте доз удобрений наибольшая рентабельность получена в вариантах K_{90} , N_{90} и $N_{30}P_{30}K_{30}$, наименьшая – в варианте $N_{150}P_{150}K_{150}$. Стоит отметить, что в целом возделывание озимой ржи становилось нерентабельным при использовании полного минерального удобрения в дозе от 60 кг/га д. в. и выше (табл. 3).

Таблица 3 – Рентабельность применения различных доз и соотношений минеральных удобрений при возделывании озимой ржи сорта Фаленская 4 (фактические данные), % /

Table 3 – Profitability of the use of various doses and ratios of mineral fertilizers in the cultivation of Falenskaya 4 winter rye (experimental data), %

Вариант / Variant	Рентабельность / Profitability			Вариант / Variant	Рентабельность / Profitability		
	2019 г.	2021 г.	среднее / average		2019 г.	2021 г.	среднее / average
$N_0P_0K_0$ (контроль / control)	74	43	60	$N_{120}P_{30}K_{30}$	19	-2	9
K_{90}	45	15	31	$N_{120}P_{30}K_{120}$	-4	-20	-12
P_{90}	36	-3	18	$N_{120}P_{120}K_{30}$	-13	1	-6
$P_{90}K_{90}$	13	-16	-1	$N_{120}P_{120}K_{120}$	-23	-16	-20
N_{90}	46	50	48	$N_{60}P_{60}K_{60}$	6	5	6
$N_{90}K_{90}$	23	21	22	$N_{60}P_{60}K_{150}$	-1	-13	-7
$N_{90}P_{90}$	0	-6	-3	$N_{60}P_{150}K_{60}$	-2	-20	-11
$N_{90}P_{90}K_{90}$	-14	-14	-14	$N_{60}P_{150}K_{150}$	-12	-28	-20
$N_{30}P_{30}K_{30}$	48	15	32	$N_{150}P_{60}K_{60}$	-7	-22	-14
$N_{30}P_{30}K_{120}$	25	-2	12	$N_{150}P_{60}K_{150}$	-12	-26	-19
$N_{30}P_{120}K_{30}$	15	-10	3	$N_{150}P_{150}K_{60}$	-22	-29	-25
$N_{30}P_{120}K_{120}$	9	-20	-5	$N_{150}P_{150}K_{150}$	-36	-34	-35

В условиях 2021 г. рентабельность применения удобрений была ниже в большинстве вариантов относительно данных 2019 года, что может быть связано с общим снижением уровня урожайности. В 2021 г. рентабельность при возделывании озимой ржи без использования удобрений составила 43 %, при внесении азотных удобрений в дозе N_{90} она повышалась на 7 %. Применение всех остальных исследуемых доз удобрений снижало рентабельность в 2 раза и более. Наименьшую рентабельность получили при применении полного минерального удобрения в дозе 150 кг д. в./га. Повышение суммарной дозы NPK более 90 кг д. в./га делало возделывание озимой ржи нерентабельным (кроме варианта $N_{90}K_{90}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$).

В среднем за два года исследований рентабельность возделывания озимой ржи без

применения удобрений составила 60 %. Среди исследуемых в опыте доз удобрений рентабельность производства более 30 % была при внесении K_{90} , $N_{30}P_{30}K_{30}$ и N_{90} , внесение других доз удобрений было нецелесообразным.

Экономическая эффективность азотных удобрений, для расчёта которой использовались рассчитанные по уравнению регрессии (формула 3) данные, представлена в таблице 4. Наибольшая рентабельность отмечена в варианте без применения удобрений, с увеличением доз данный показатель снижался, однако, даже при использовании 150 кг/га азота, рентабельность оставалась положительной. Среди доз азотных удобрений по экономической эффективности выделились два варианта: N_{30} и N_{60} – разница между значениями рентабельности по ним наименьшая среди изучаемых (до 7 %).

Таблица 4 – Экономическая эффективность применения азотных удобрений при возделывании озимой ржи сорта Фаленская 4 (расчётные данные) /
Table 4 – Economic efficiency of the use of nitrogen fertilizers in the cultivation of Falenskaya 4 winter rye (calculated data)

Вариант / Variant	Затраты, руб. / Expenses, rub.		Стоимость продукции, руб. / Cost of production, rub	Прибыль, руб. / Profit, rub	Рентабельность, % / Profitability, %
	на 1 т / per 1 t	на 1 га / per 1 ha			
N ₀	5743	12520	20710	8190	65
N ₃₀	6268	15043	22800	7757	52
N ₆₀	6572	16693	24130	7437	45
N ₉₀	6990	18173	24700	6527	36
N ₁₂₀	7551	19483	24510	5027	26
N ₁₅₀	8315	20622	23560	2938	14

Заключение. В условиях Среднего Предуралья (Пермский край) на эффективность изучаемых доз и соотношений элементов питания при возделывании озимой ржи сорта Фаленская 4 оказали влияние гидротермические особенности периодов вегетации – обильные осадки в июле-августе 2019 года и засуха в мае-июне 2021 года. Наибольшая урожайность озимой ржи сорта Фаленская 4 в 2019 г. получена в варианте N₃₀P₁₂₀K₁₂₀ (3,07 т/га), в вариантах N₃₀P₃₀K₃₀ и N₉₀ отмечена наибольшая окупаемость минеральных удобрений зерном – 5,69 и 6,09 кг соответственно. В 2021 г. наибольшая урожайность и окупаемость удобрений зерном получена в варианте N₉₀ – 3,01 т/га и 13,96 кг зерна. В среднем за два года наибольшее влияние

на урожайность оказывали азотные удобрения до дозы 90 кг д.в./га, высокая окупаемость удобрений зерном отмечена при использовании дозы N₃₀ (7,3 кг).

Наиболее рентабельным по годам исследований является возделывание озимой ржи без применения удобрений – в среднем за 2 года рентабельность составила 60 %. При расчёте экономического эффекта от применения доз азотных удобрений установлено, что все изучаемые дозы обеспечивали положительную рентабельность – от 52 % (N₃₀) до 14 % (N₁₅₀). Несмотря на наибольшую урожайность при применении дозы N₉₀, с точки зрения получения прибыли, наиболее выгодно возделывать озимую рожь при внесении азота в дозах 30 и 60 кг/га.

Список литературы

1. Абашев В. Д., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Изменение продуктивности культур зернопаротравяного севооборота и агрохимических показателей почвы в многолетнем полевом опыте при применении минеральных удобрений. Агропромышленные технологии Центральной России. 2018;(3(9)):76-84. DOI: <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2018-9-76-84> EDN: XZKZKH
2. Белоус И. Н., Харкевич Л. П., Шаповалов В. Ф., Малякко Г. П. Влияние систем удобрения озимой ржи на урожайность и технологические качества зерна. Зерновое хозяйство России. 2018;(3(57)):3-8. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-57-3-3-8> EDN: RUDRRF
3. Пинаева М. И., Михайлова Л. А., Акманаева Ю. А. Влияние предшественника и доз минеральных удобрений на урожайность озимой ржи при возделывании на дерново-подзолистой почве. Пермский аграрный вестник. 2017;(3(19)):101-106. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009685> EDN: ZGSGGN
4. Шпанев А. М., Фесенко М. А. Влияние предпосевного внесения полного минерального удобрения на фитосанитарное состояние посевов озимой ржи на Северо-Западе России. Вестник защиты растений. 2019;(3(101)):34-40. DOI: [https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3\(101\)-34-40](https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3(101)-34-40) EDN: CMQITS
5. Володина Т. И., Чухина О. В., Демидова А. И. Потребление азота, сбор протеина культурами севооборота под влиянием минеральной и органических систем удобрений. Молочнохозяйственный вестник. 2019;(4(36)):31-45. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41539197> EDN: MRZCZG
6. Мерзлая Г. Е., Зябкина Г. А., Фомкина Т. П., Козлова А. В., Макшакова О. В., Волошин С. П., Хромова О. М., Панкратенкова И. В. Эффективность длительного применения органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимия. 2012;(2):37-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17680660> EDN: OWXOFV
7. Попов Ф. А., Абашев В. Д., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В., Лыскова И. В. Влияние длительного применения минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(5):561-570. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.561-570> EDN: UVZPJV
8. Абашев В. Д., Светлакова Е. В., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Денисова А. В. Влияние возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014;(4(41)):26-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699656> EDN: SGWEVN

9. Wyzińska M., Grabiński J. Economic efficiency of different winter rye production technologies. Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists. 2021;XXIII(4):201-208. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5918>
10. 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: LCIEETE
11. Полетаев И. С., Хадькин А. В., Четвериков Ф. П., Губов В. И. Влияние минеральных азотных удобрений на продуктивность озимых культур в условиях Саратовского Левобережья. Аграрные конференции. 2021;(6(30)):6-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48112470> EDN: IQFTGA
12. Studnicki M., Macholdt J., Macdonald A., Stępień W. Effects of Fertilizers and Manures on Temporal Yield Variability of Winter Rye. Agronomy. 2021;11(3):519. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030519>
13. Фесенко М. А., Шпанев А. М., Смух В. В. О значимости агрометеорологических и техногенных факторов при возделывании культур полевого севооборота на северо-западе России. Научные труды по агрономии. 2020;(1(3)):28-32. DOI: <https://doi.org/10.37574/2658-7963-2020-1-28-32> EDN: KWLSVW
14. Полетаев И. С., Солодовников А. П., Четвериков Ф. П., Хадькин А. В., Губов В. И. Эффективность минеральных удобрений при возделывании озимых культур, нута и подсолнечника в условиях Саратовского Левобережья. Аграрный научный журнал. 2022;(7):37-40. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp37-40> EDN: UYBVMR
15. Чухина О. В., Демидова А. И., Ганичева В. В. Оплата удобрений прибавкой урожая зерна озимой ржи в Вологодской области. Znanstvena Misel. 2020;(48-1(48)):8-11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44305841> EDN: LQUATZ
16. Абашев В. Д., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Эффективность минеральных удобрений при возделывании различных сортов озимой ржи. Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2020;6(2(22)):131-137. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-2-131-136> EDN: DLLNUT
17. Цыгуткин А. С., Васбиева М. Т., Шишков Д. Г. Особенности постановки полевого опыта с минеральными удобрениями на основе неполной факториальной схемы 1/9(6x6x6). Земледелие. 2022;(6):22-25. DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-6-22-26> EDN: JTCKYA

References

1. Abashev V. D., Popov F. A., Noskova E. N., Svetlakova E. V. Change in productivity of crops in grain-fallow-grass crop rotation and soil agrochemical properties at use of mineral fertilizer in perennial field experiment. *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentral'noy Rossii = Agro Central Russian Technologies*. 2018;(3(9)):76-84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2018-9-76-84>
2. Belous I. N., Kharkevich L. P., Shapovalov V. F., Malyavko G. P. The effect of fertilizing systems on productivity and technological properties of winter rye. *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2018;(3):3-8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-57-3-3-8>
3. Pinaeva M. I., Mikhaylova L. A., Akmanayeva Yu. A. Vliyaniye predshhestvennika i doz mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' ozimoy rzhii pri vozdel'yvaniy na dernovo-podzolistoy pochve. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2017.:(3(19)):101-106. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009685>
4. Shpanev A. M., Fesenko M. A. The influence of complete mineral fertilizer before sowing on phytosanitary condition of winter rye crops in the north-west of Russia. *Vestnik zashchity rasteniy = Plant Protection News*. 2019;(3(101)):34-40. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3\(101\)-34-40](https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3(101)-34-40)
5. Volodina T. I., Chukhina O. V., Demidova A. I. Nitrogen consumption and protein collection in rotational crops under the influence of mineral and organic fertilizer systems. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2019;(4(36)):31-45. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41539197>
6. Merzlaya G. E., Zybalkina G. A., Fomkina T. P., Kozlova A. V., Makshakova O. V., Voloshin S. P., Khromova O. M., Pankratenkova I. V. Efficiency of long-term application of organic and mineral fertilizers on sandy loamy soddy-podzolic soil. *Agrokhimiya*. 2012;(2):37-46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17680660>
7. Popov F. A., Abashev V. D., Noskova E. N., Svetlakova E. V., Lyskova I. V. Influence of long-term use of mineral fertilizers on the yield and quality of winter rye grain. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(5):561-570. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.561-570>
8. Abashev V. D., Svetlakova E. V., Popov F. A., Noskova E. N., De-nisova A. V. Influence of increasing rates and ratio of mineral fertilizers on winter rye yield and seed quality. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2014;(4(41)):26-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699656>
9. Wyzińska M., Grabiński J. Economic efficiency of different winter rye production technologies. Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists. 2021;XXIII(4):201-208. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5918>
10. 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>

11. Poletaev I. S., Khadykin A. V., Chetverikov F. P., Gubov V. I. The influence of mineral nitrogen fertilizers on the productivity of winter crops in the conditions of the Saratov left bank. *Agrarnyye konferentsii*. 2021;(6(30)):6-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48112470>
12. Studnicki M., Macholdt J., Macdonald A., Stepień W. Effects of Fertilizers and Manures on Temporal Yield Variability of Winter Rye. *Agronomy*. 2021;11(3):519. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030519>
13. Fesenko M. A., Shpanev A. M., Smuk V. V. About the importance of agro-meteorological and anthropogenic factors in the cultivation of cultures of field crop rotation in north-west Russia. *Nauchnye trudy po agronomii* = Research papers on agronomy. 2020;(1(3)):28-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37574/2658-7963-2020-1-28-32>
14. Poletaev I. S., Solodovnikov A. P., Chetverikov F. P., Khadykin A. V., Gubov V. I. Efficiency of mineral fertilizers in the cultivation of winter crops, chickpea and sunflowers in the conditions of the Saratov left bank. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2022;(7):37-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp37-40>
15. Chukhina O. V., Demidova A. I., Ganicheva V. V. Payment for fertilizer with grain additive of winter rye in Vologda region. *Znanstvena Misel*. 2020;(48-1(48)):8-11. (In Poland). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44305841>
16. Abashev V. D., Popov F. A., Noskova E. N., Svetlakova E. V. The effectiveness of mineral fertilizers in the cultivation of various varieties of winter rye. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskije nauki* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2020;6(2(22)):131-137. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-2-131-136>
17. Tsygutkin A. S., Vasbieva M. T., Shishkov D. G. Features of a field experiment with mineral fertilizers based on an incomplete factorial scheme 1/9(6x6x6). *Zemledelie*. 2022;(6):22-25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-6-22-26>

Сведения об авторах

✉ **Шишков Данил Глебович**, аспирант кафедры агрохимии, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, д. 23, г. Пермь, Пермский край, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru; младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6869-9722>, e-mail: danil.shishkov@gmail.com

Олехов Владимир Радомирович, кандидат с.-х. наук, заведующий кафедрой агрохимии, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, д. 23, г. Пермь, Пермский край, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4106-2518>

Васбиева Марина Тагирьяновна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории агротехнологий, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4048-6319>

Information about the authors

✉ **Danil G. Shishkov**, postgraduate student, the Department of Agrochemistry, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, 23, Petropavlovskaya str., Perm, Perm Region, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru; junior researcher, the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Agricultural Research Institute – division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, 12, Kultury St., Lobanovo, Perm district, Perm region, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6869-9722>, e-mail: danil.shishkov@gmail.com

Vladimir R. Olekhov, PhD in Agricultural Science, Head of the Department of Agrochemistry, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, 23, Petropavlovskaya str., Perm, Perm region, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4106-2518>

Marina T. Vasbieva, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Agrotechnologies, Perm Agricultural Research Institute – division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, 12, Kultury St., Lobanovo, Perm district, Perm region, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4048-6319>

✉ – Для контактов / Corresponding author