

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.561-570>

УДК 633.1:631.82

Влияние длительного применения минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи

© 2020. Ф. А. Попов✉, В. Д. Абашев, Е. Н. Носкова, Е. В. Светлакова, И. В. Лыскова

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

Исследования проводили в 2018-2019 гг. в условиях Кировской области на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, сформированной на элювии пермских глин. Диапазон доз удобрений в длительном стационарном опыте – от 30 до 150 кг д. в. С увеличением доз удобрений урожайность озимой ржи сорта Графиня возрастала от 3,44 т/га при дозе P₆₀K₆₀ до 5,94 т/га при дозе N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀. Существенные прибавки урожая получены во всех вариантах, кроме P₆₀, K₆₀ и K₁₂₀. Максимальные прибавки урожайности зерна к контролю без удобрений получены в вариантах с внесением 120 и 150 кг д.в./га NPK – 3,87-4,11 т/га (НСР₀₅ = 1,2 т/га). В 2019 году урожайность ржи колебалась от 2,65 т/га в контрольном варианте до 7,08 т/га при внесении максимальной дозы N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀, а в 2018 году соответственно от 1,01 т/га до 4,81 т/га, что в 1,5-2,6 раза меньше, так как в период формирования зерна в этом году сумма осадков составила 135 % от нормы. Наибольшая окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений получена при внесении аммиачной селитры N₆₀ – 42,5 кг зерна. Натура зерна была значительно выше в благоприятных условиях вегетации 2019 года и находилась в пределах от 696 до 728 г/л. С увеличением доз минеральных удобрений отмечена тенденция снижения натуры зерна. Масса 1000 зерен озимой ржи от применения удобрений не зависела и находилась в пределах 28-33 граммов. Содержание сырого протеина в зерне с увеличением доз удобрений возрастало, но в основном получено зерно третьего класса качества с содержанием протеина от 88,1 до 110 г/кг. Хлебопекарные качества зависели от условий влагообеспеченности в период созревания зерна: в 2018 г. получено зерно второго и третьего товарных классов, в 2019 г. – четвертого класса. При внесении полного удобрения в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ себестоимость 1 т зерна составила 3663 руб. при общей рентабельности 91,1%. Внесение только аммиачной селитры в дозе N₆₀ обеспечило рентабельность 156,2 %.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, окупаемость удобрений зерном, натура зерна, масса 1000 зерен, число падения, сырой протеин, сырая клетчатка

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0100).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: 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>

Поступила: 11.03.2020

Принята к публикации: 02.09.2020

Опубликована онлайн: 22.10.2020

Influence of long-term use of mineral fertilizers on the yield and quality of winter rye grain

© 2020. Fyodor A. Popov✉, Vasiliy D. Abashev, Eugenia N. Noskova, Elena V. Svetlakova, Irina V. Lyskova

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

The studies were carried out in 2018-2019 in the conditions of the Kirov region on sod-podzolic middle loam soil formed on the eluvia of Perm clays. The range of fertilizer doses in the long-term stationary experiment varied from 30 to 150 kg a.i. (active ingredient). With increase in fertilizer doses, the yield of winter rye of Grafinya variety grew from 3.44 t/ha at the dose of P₆₀K₆₀ to 5.94 t/ha at the dose of N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀. Significant addition of grain yield was obtained in all variants except P₆₀, K₆₀ and K₁₂₀. Maximum addition of grain yield to the control without fertilizers were obtained in variants with application of 120 and 150 kg a.i. /ha NPK – 3.87-4.11 t/ha (LSD₀₅ = 1.2 t/ha). In 2019 the yield of rye varied from 2.65 t/ha in the control variant to 7.08 t/ha by application of a maximum dose of N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀. In 2018 it varied from 1.01 t/ha to 4.81 t/ha, respectively, which was 1.5-2.6 times less, as during the period of grain formation that year the amount of precipitation was 135% from the norm. The highest payback of 1 kg a.i. of mineral fertilizers was obtained by application of ammonium nitrate N₆₀ – 42.5 kg of grain. Test weight of grain was significantly higher under favorable growing conditions of 2019 and varied

from 696 to 728 g/l. With the increase in doses of mineral fertilizers, there was a tendency to decrease the test weight of grain. The 1000-grain mass of winter rye did not depend on the use of fertilizers and was in the range of 28-33 grams. The content of raw protein in the grain grew with increasing doses of fertilizers, but mainly the grain of the third class of quality with the protein content of 88.1 to 110 g/kg was obtained. Bakery qualities depended on the conditions of moisture supply during grain maturation: in 2018 grain of the second and third commodity classes was obtained, in 2019 – that of the fourth class. If full fertilizer was applied in the dose $N_{30}P_{30}K_{30}$, prime cost of 1 ton of grain was 3.663 rubles with a total profitability of 91.1 %. Application of ammonium nitrate alone in the dose of N_{60} provided profitability of 156.2 %.

Keywords: sod-podzolic soil, payback of fertilizers by grain, test weight of grain, mass of 1000 grains, falling number, crude protein, crude fiber

Acknowledgment: 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 Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0100).

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 citations: 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>

Received: 11.03.2020

Accepted for publication: 02.09.2020 Published online: 22.10.2020

Внесение минеральных удобрений – это одно из основных средств, способствующих получению высокой урожайности зерновых культур при условии выполнения остальных агротехнических приемов [1, 2, 3]. Дерново-подзолистые почвы характеризуются высокой кислотностью, низким содержанием органического вещества и элементов питания, что обуславливает их низкое естественное плодородие [4, 5]. Озимая рожь, являясь одной из важных продовольственных культур, успешно произрастает на малоплодородных кислых почвах, доля которых только на европейской северо-восточной части страны составляет более 70 % пашни [6, 7]. Озимая рожь является преимущественно культурой европейского континента, поскольку на его долю приходится 85 % производимого зерна [8].

Согласно Стратегии научно-технологического развития РФ¹, одним из больших вызовов является потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе, поэтому разработка высокоэффективных, экологически безопасных систем интегрированного применения агрохимических средств в агротехнологиях различной интенсификации, несомненно, является актуальной.

Научная новизна проводимых исследований заключается в том, что впервые установлены закономерности влияния различных доз, соотношений и видов минеральных удобрений

на величину и качество урожая озимой ржи сорта Графиня в условиях Кировской области.

Цель исследований – изучить влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи сорта Графиня.

Материал и методы. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи изучали в двух закладках длительного стационарного опыта, заложенного в 1972 г. на дерново-подзолистой почве, сформированной на элювии пермских глин. Исследования проводятся в зернопаротравяном севообороте с внесением только минеральных удобрений и только под зерновые культуры (озимая рожь, ячмень, яровая пшеница, овес). Предшественником озимой ржи является неунавоженный чистый пар.

Отбор почвенных проб в 1972 году показал, что в пахотном слое уровень рН составлял 4,80 единиц, содержание гумуса – 1,5 %, подвижного фосфора – 46 мг/кг почвы, обменного калия – 160 мг/кг почвы. В начале восьмой ротации севооборота, перед посевом озимой ржи, уровень рН находился в пределах 4,52-4,60 единиц по изучаемым вариантам. Содержание подвижного фосфора колебалось от 33,7 мг/кг почвы в контрольном варианте без удобрений до 176,2 мг/кг почвы в варианте с внесением $N_{150}P_{150}K_{150}$. Содержание обменного калия в контроле составило 153,3 мг/кг почвы, в варианте с максимальной дозой удобрений – 194,5 мг/кг, наибольшим было при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 211,6 мг/кг почвы.

¹Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Администрация Президента России; 2020. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения: 09.04.2020).

Схема опыта содержит 54 варианта в двукратной повторности, в настоящей статье использованы результаты 22 вариантов опыта (табл. 1). Площадь делянки 140 м², учетная 58,8 м². В качестве удобрений использовали аммиачную селитру (34 % д. в.), двойной гранулированный суперфосфат (39 % д. в.) и хлористый калий (56 % д. в.). Минеральные удобрения вносили вручную поделаяночно под культивацию непосредственно перед посевом озимой ржи. Весеннюю подкормку растений не проводили. Уборка урожая проходила в фазу полной спелости озимой ржи прямым комбайнированием Samro 500. Анализ различных показателей качества зерна озимой ржи выполнен по общепринятой в агрохимических исследованиях методике². Показатель «число падения» определяли на приборе Falling Number 1400, максимальную вязкость суспензии и температуру клейстеризации на амилографе Brabender по соответствующей методике³. Экономическую эффективность минеральных удобрений рассчитывали по типовым технологическим картам согласно методическим указаниям⁴. Дисперсионный, регрессионный и корреляционный анализы полученных данных проводили с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2007.

Метеоусловия в период весенне-летней вегетации озимой ржи различались по годам исследований. В 2018 году в июне выпало 122 % от нормы осадков при сумме эффективных температур 482 °С. Тогда как в 2019 году в этот месяц выпало 134 % нормы осадков, но сумма активных температур была выше на 134 °С и составила 616 °С. В июле, в период активного налива зерна озимой ржи, сумма активных температур была практически одинаковой по годам (около 960 °С), но при этом в 2018 году сумма осадков составила 135 % от нормы против 68 % в 2019 году, что не могло не сказаться на формировании количества и качества зерна озимой ржи.

Результаты и их обсуждение. На величину урожая озимой ржи в 2018 году в большей степени влияли азотные удобрения ($Y = 1,45 - 0,014x^2 + 0,56x$, $R^2 = 0,99$) и фосфорные ($Y = 1,76 - 0,04x^2 + 0,59x$, $R^2 = 0,96$), в меньшей – калийные ($Y = 2,70 - 0,004x^2 + 0,16x$,

$R^2 = 0,74$). Без применения удобрений урожайность зерна озимой ржи составила 1,01 т/га, при совместном внесении аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия в максимальной дозе – 4,81 т/га. При этом наибольшая урожайность зерна получена при совместном внесении трех видов удобрений в дозе 120 кг д. в./га – 4,99 т/га. Прибавки урожайности зерна от применения минеральных удобрений варьировали от 2,01 т/га при внесении аммиачной селитры в дозе 120 кг д. в./га до 3,98 т/га при внесении всех видов удобрений в дозе 120 кг д. в./га ($HCP_{05} = 2,00$). Наибольшую окупаемость 1 кг д. в. вносимых удобрений зерном обеспечило применение аммиачной селитры в дозе $N_{60} - 17,5$ кг и $N_{120} - 16,9$ кг. Малоэффективно внесение калийных удобрений в дозах K_{60} и K_{120} , окупаемость зерном 1 кг д. в. удобрений составила 3,7 и 6,3 кг.

В 2019 году на величину урожая озимой ржи в большей степени влияли азотные удобрения ($Y = 3,20 - 0,14x^2 + 1,40x$, $R^2 = 0,95$), в меньшей – фосфорные ($Y = 4,98 - 0,04x^2 + 0,49x$, $R^2 = 0,70$). Влияния калийных удобрений не выявлено. В более благоприятных условиях вегетации 2019 года урожайность зерна озимой ржи даже без применения удобрений была в 2,6 раза выше, чем в предыдущий год – 2,65 т/га.

Внесение NPK в максимальной дозе 150 кг д. в./га обеспечило наибольшую урожайность озимой ржи – 7,08 т/га. Внесение только калийных удобрений в дозе K_{60} не обеспечило получение статистически значимой прибавки урожайности 0,67 т/га ($HCP_{05} = 2,57$). Прирост урожайности свыше 4,0 т/га получен при внесении аммиачной селитры N_{60} , аммиачной селитры с двойным суперфосфатом $N_{120}P_{60}$ и всех видов удобрений в дозах $N_{150}P_{90}K_{30}$ и $N_{150}P_{150}K_{150}$.

Как и в предыдущий год исследований, низкая окупаемость зерном 1 кг д. в. удобрений получена при внесении одних калийных удобрений (9,9-11,2 кг) и полного удобрения в дозах 120 и 150 кг д. в./га (9,8-10,5 кг). Внесение аммиачной селитры N_{60} обеспечило наибольшую окупаемость 1 кг д. в. – 67,3 кг зерна озимой ржи.

²Практикум по агрохимии: уч. пособ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: МГУ, 2001. 689 с.

³Оценка качества зерна: справочник. М.: Агропромиздат, 1987. 208 с.

⁴Методические указания по расчету экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов НИР для условий Северо-Востока европейской части РФ. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2008. 65 с.

Таблица 1 – Прибавка урожайности озимой ржи сорта Графиня и окупаемость минеральных удобрений зерном /

Table 1 – Increase of yield of winter rye cv. Grafinya and payback of mineral fertilizers by grain

Доза удобрений / Doses of fertilizers	2018 г.			2019 г.			Среднее за 2 года		
	У*	П	О	У	П	О	У	П	О
N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / N ₀ P ₀ K ₀ (control)	1,01	-	-	2,65	-	-	1,83	-	-
N ₆₀	2,06	1,05	17,5	6,69	4,04	67,3	4,38	2,55	42,5
P ₆₀	1,90	0,89	14,8	3,76	1,11	18,5	2,83	1,00	16,7
K ₆₀	1,23	0,22	3,7	3,32	0,67	11,2	2,28	0,45	7,5
N ₆₀ P ₆₀	2,53	1,52	12,7	6,59	3,94	32,8	4,56	2,73	22,8
N ₆₀ K ₆₀	2,16	1,15	9,6	6,14	3,49	29,1	4,15	2,32	19,3
P ₆₀ K ₆₀	2,05	1,04	8,7	4,84	2,19	18,2	3,44	1,61	13,4
N ₁₂₀	3,02	2,01	16,8	5,59	2,94	24,5	4,30	2,47	20,6
P ₁₂₀	2,45	1,44	12,0	5,10	2,45	20,4	3,78	1,95	16,2
K ₁₂₀	1,77	0,76	6,3	3,84	1,19	9,9	2,80	0,97	8,1
N ₁₂₀ P ₆₀	3,55	2,54	14,1	6,98	4,33	24,0	5,26	3,43	19,0
N ₁₂₀ P ₁₂₀	4,59	3,58	14,9	6,44	3,79	15,8	5,52	3,69	15,4
N ₁₂₀ K ₁₂₀	3,54	2,53	10,5	5,94	3,29	13,7	4,74	2,91	12,1
P ₁₂₀ K ₁₂₀	2,79	1,78	7,4	5,63	2,98	12,4	4,21	2,38	9,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,98	0,97	10,8	5,28	2,63	29,2	3,63	1,80	20,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,25	2,24	12,4	5,69	3,04	16,9	4,47	2,64	14,7
N ₉₀ P ₃₀ K ₃₀	2,37	1,36	9,1	6,25	3,60	24,0	4,31	2,48	16,5
N ₉₀ P ₉₀ K ₃₀	3,44	2,43	11,6	5,96	3,31	15,8	4,70	2,87	13,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	3,65	2,64	9,8	6,14	3,49	12,9	4,90	3,07	11,4
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	4,99	3,98	11,0	6,42	3,77	10,5	5,70	3,87	10,8
N ₁₅₀ P ₉₀ K ₃₀	4,20	3,19	11,8	6,77	4,12	15,3	5,48	3,65	13,5
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	4,81	3,80	8,4	7,08	4,43	9,8	5,94	4,11	9,1
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	2,00	-	-	2,57	-	-	1,24	-

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

* U - yield, t/ha, P - yield increase, t/ha, O - payback of 1 kg of active ingredient by grain, kg

В среднем за 2 года исследований с возрастанием доз минеральных удобрений урожайность зерна озимой ржи увеличивалась с 1,83 до 5,94 т/га. Наименьшую прибавку зерна от применения удобрений обеспечило внесение хлористого калия в дозах K₆₀ и K₁₂₀ (0,45 и 0,97 т/га), наибольшую – внесение аммиачной селитры с двойным суперфосфатом и хлористым калием в дозе N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀ (4,11 т/га при HCP₀₅ = 1,24). С точки зрения окупаемости действующего вещества минеральных удобрений наиболее эффективно внесение аммиачной селитры в дозе N₆₀, на 1 кг д. в. приходится 42,5 кг зерна озимой ржи.

Натура зерна озимой ржи и масса 1000 зерен являются одними из важных показателей технологических качеств зерна, предназначенного для продовольственных целей. Данные

показатели формируются под влиянием множества факторов, но в первую очередь они зависят от почвенно-климатических условий, затем от агротехнических приемов, доз и сроков внесения минеральных удобрений [9, 10, 11, 12]. Согласно ГОСТ Р 53049-2008 зерно озимой ржи с натурой не менее 700 г/л относится к первому классу, не менее 680 г/л – ко второму классу, не менее 640 г/л – к третьему классу. В 2018 году практически во всех вариантах применения удобрений натура зерна озимой ржи превышала 680 г/л. Исключение составили варианты с внесением фосфорно-калийных удобрений в дозе P₆₀K₆₀ (679 г/л) и хлористого калия K₁₂₀ (677 г/л). Существенного влияния различных уровней минерального удобрения на изменение величины натурной массы зерна не выявлено (F_φ < F_τ).

В 2019 году данный показатель был значительно выше, чем в менее благоприятный по метеоусловиям предыдущий год. Натура зерна превысила 700 г/л во всех вариантах применения удобрений, за исключением максимальной дозы $N_{150}P_{150}K_{150}$ (698 г/л). При этом существенных различий в данном показателе также выявлено не было. Таким образом, несмотря на имеющиеся литературные данные [9, 10] о влиянии доз и видов минеральных удобрений на натуру зерна озимой ржи, результаты наших исследований это не подтвердили.

От массы 1000 зерен зависит выполненность и крупность, чем этот показатель выше при условии хорошего натурального веса, тем больше выход муки⁵. Применение минеральных удобрений не оказало существенного влияния на массу 1000 зерен во все годы исследований. В 2018 г. масса 1000 зерен не превышала 31 грамма во всех изучаемых вариантах, за исключением внесения двойного суперфосфата в дозе 60 кг д. в./га (31,3 г). Менее 29 граммов масса 1000 зерен получена в контрольном варианте и при внесении азотно-калийных или фосфорно-калийных удобрений в дозах по 120 кг д. в./га. В 2019 г. этот показатель во всех изучаемых вариантах был выше 31 грамма, кроме варианта с максимальной дозой внесения удобрений (30,9 г). Более 33 граммов масса 1000 зерен была при внесении 120 кг/га двойного суперфосфата, азотно-калийных удобрений в дозе 60 кг д. в./га, фосфорно-калийных – в дозах 60 и 120 кг д. в./га и совместном внесении $N_{90}P_{90}K_{30}$.

Корреляционный анализ натуры зерна озимой ржи и массы 1000 зерен показал, что средняя положительная связь между этими показателями: в менее благоприятном 2018 году $r = 0,51$, в 2019 году – $r = 0,66$.

По физико-химическим показателям зерно кормовой ржи подразделяют на 3 класса качества в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54079-2010. Зерно 1 класса должно содержать более 120 г/кг сырого протеина и менее 30 г/кг клетчатки, 2 класса – соответственно 110-120 и 30-50 г/кг, 3 класса – менее 110 г/кг сырого протеина и более 50 г/кг клетчатки.

По содержанию клетчатки в оба года исследований получено зерно первого класса.

В 2018 г. с увеличением доз минеральных удобрений содержание сырого протеина возрастало с 94,1 г/кг в контрольном варианте до 95,2-127,1 г/кг ($HCP_{05} = 12,2$, табл. 2). Только дозы удобрений $N_{60}P_{60}$ и $P_{60}K_{60}$ обеспечили 1 класс качества по содержанию сырого протеина в зерне озимой ржи – 122,2 и 127,1 г/кг соответственно, что возможно связано с более щуплым зерном в данных вариантах. В остальных вариантах получено зерно третьего класса.

В 2019 г. с увеличением доз удобрений содержание сырого протеина возрастало с 82,1 г/кг в контрольном варианте до 85-115 г/кг ($HCP_{05} = 17,4$). Применение удобрений в дозах $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{150}P_{150}K_{150}$ обеспечили второй класс качества по содержанию сырого протеина в зерне озимой ржи. В остальных вариантах получено зерно третьего класса.

На органолептические свойства мякиша ржаного хлеба оказывают влияние (чаще всего негативное) ферменты, главным из которых является альфа-амилаза. Под действием высокой активности фермента альфа-амилазы крахмал в зерне расщепляется до сахаров. Основными методами определения свойств крахмала и активности фермента альфа-амилазы являются амилографический метод и определение показателя «число падения» по методу Хагберга-Пертена [13].

«Число падения» является основным показателем качества зерна ржи для хлебопечения, в Российской этот показатель введен в Межгосударственный стандарт⁶ для определения товарного класса качества зерна ржи. Согласно данному стандарту, зерно ржи в зависимости от величины «числа падения» подразделяется на 4 класса: более 200 с – 1 класс, 141...200 с – 2 класс, 81...140 с – 3 класс, менее 80 с – 4 класс.

Зерно озимой ржи с «числом падения» ниже 80 считается не пригодным для хлебопечения. Показатель «число падения» и вязкость суспензии характеризуют устойчивость ржи к прорастанию зерна на корню, в связи с этим они зависят в основном от внешних условий, которые складываются в процессе формирования и созревания зерна [14, 15, 16].

⁵Казаков Е. Д. Зерноведение с основами растениеводства: Изд. 3-е. М.: Колос, 1983. С. 114.

⁶ГОСТ 16990-2017. Рожь. Технические условия. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200157476>

Таблица 2 – Влияние минеральных удобрений на содержание сырого протеина и клетчатки в зерне озимой ржи сорта Графиня, г/кг зерна /
Table 2 – Effect of mineral fertilizers on content of raw protein and fiber in the grain of winter rye cv. Grafinya, g/kg grain

Доза удобрений / Doses of fertilizers	Сырой протеин / Raw protein		Клетчатка / Fiber	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / N ₀ P ₀ K ₀ (control)	94,1	82,1	16,0	19,9
N ₆₀	101,3	87,4	16,2	16,0
P ₆₀	97,6	96,8	18,6	19,7
K ₆₀	107,6	79,8	14,3	18,7
N ₆₀ P ₆₀	122,2	98,2	15,0	14,5
N ₆₀ K ₆₀	96,6	85,0	19,5	15,3
P ₆₀ K ₆₀	127,1	79,5	14,5	17,8
N ₁₂₀	104,7	90,9	12,6	20,7
P ₁₂₀	99,0	87,3	15,6	18,0
K ₁₂₀	96,2	88,1	15,5	17,7
N ₁₂₀ P ₆₀	95,2	88,6	11,4	19,0
N ₁₂₀ P ₁₂₀	105,9	92,8	20,8	17,9
N ₁₂₀ K ₁₂₀	106,2	98,8	17,0	15,0
P ₁₂₀ K ₁₂₀	99,5	89,5	14,5	16,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	100,5	112,2	17,5	20,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	108,2	90,1	15,1	25,7
N ₉₀ P ₃₀ K ₃₀	104,0	89,9	14,2	21,4
N ₉₀ P ₉₀ K ₃₀	102,8	86,5	15,7	20,3
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	98,2	106,7	16,2	26,7
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	104,6	112,5	16,2	26,2
N ₁₅₀ P ₉₀ K ₃₀	109,0	90,2	18,2	23,0
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	104,5	115,1	17,5	29,8
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	12,2	17,4	Fф<Fт	6,2

Хорошая по качеству зерна рожь должна иметь: «число падения» не ниже 2 товарного класса (141...200 с), высоту амилограммы – 350...650 единиц. Согласно критериям ЕС, ржаное зерно обладает хлебо-пекарными качествами, если число падения более 120 с, максимальная вязкость, оцениваемая по высоте амилограммы больше 200 е. а. и максимальная температура пика клейстеризации больше 63 °С [17].

Полученные результаты ещё раз доказывают, что на качество озимой ржи сильное влияние оказала повышенная влагообеспеченность в период созревания зерна (134 % от нормы осадков в июне 2019 г.). В среднем по опыту в 2018 г. показатель «число падения» составил 124 с, в 2019 г. – во всех вариантах «число падения» было наименьшим и составило 62 с, высота амилограммы при этом равнялась 95 единиц амилографа (ед. а.), поэтому далее приведен анализ данных только за 2018 год.

В 2018 г. в вариантах без азотных удобрений и при одностороннем внесении N₆₀ «число падения» было выше 141 с., т. е. такое зерно можно отнести ко второму товарному классу (табл. 3). Высокое «число падения» имел образец в варианте без удобрений – 167 с. В остальных вариантах качество зерна соответствовало только 3 товарному классу.

Вязкость водно-мучной суспензии (высота амилограммы) у образцов колебалась от 120 до 280 ед. а. Высота амилограммы 100-250 ед. а. характеризует муку, из которой получится хлеб с влажным и липким мякишем, от 250 до 350 ед. а. – мука пригодна только при кислом ведении теста. «Число падения» и вязкость суспензии по амилографу имеют высокую сопряженность, т. к. являются характеристиками процесса клейстеризации ржаной муки, коэффициент корреляции между показателями составил 0,98.

Таблица 3 – Хлебопекарные свойства зерна озимой ржи сорта Графиня (2018 г.) / Table 3 – Bakery properties of grain of winter rye cv. Grafinya (2018)

<i>Доза удобрений / Doses of fertilizers</i>	<i>Число падения, с / Falling number, sec</i>	<i>Высота амилограммы, е.а. / Amylogramma height, units</i>	<i>Температура клейстеризации, °С / Gelation temperature, °C</i>
N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / N ₀ P ₀ K ₀ (control)	167	280	71
N ₆₀	165	275	72
P ₆₀	168	275	71
K ₆₀	114	210	69
N ₆₀ P ₆₀	139	230	70
N ₆₀ K ₆₀	119	220	69
P ₆₀ K ₆₀	81	150	65
N ₁₂₀	133	240	70
P ₁₂₀	161	260	71
K ₁₂₀	88	160	68
N ₁₂₀ P ₆₀	169	265	71
N ₁₂₀ P ₁₂₀	104	190	69
N ₁₂₀ K ₁₂₀	124	210	69
P ₁₂₀ K ₁₂₀	177	275	71
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	109	205	69
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	98	170	68
N ₉₀ P ₃₀ K ₃₀	131	230	69
N ₉₀ P ₉₀ K ₃₀	65	120	65
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	144	260	70
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	85	170	67
N ₁₅₀ P ₉₀ K ₃₀	91	170	68
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	95	170	67

Экономическую эффективность возделывания озимой ржи рассчитывали по технологическим картам в ценах 2019 года: аммиачная селитра 12800 руб/т, двойной суперфосфат 22000 руб/т, хлористый калий 20000 руб/т при цене реализации 1 т фуражного зерна 7000 руб.

Стоимость продукции непосредственно зависит от урожайности культуры. Так, при минимальной урожайности в контрольном варианте (1,83 т/га) или при внесении K₆₀ (2,28 т/га) стоимость продукции составила всего 12810 и 15960 руб/га. Наибольшей она получена при максимальной дозе внесения удобрений N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀ – 41580 руб/га (табл. 4).

С возрастанием вносимых доз минеральных удобрений увеличиваются производственные затраты на 1 гектар. В контроле, без удобрений, этот показатель равен 9325 руб., в варианте с максимальной дозой – 28837 руб. При этом отмечена тенденция увеличения производственных затрат в вариантах с приме-

нением фосфорных удобрений относительно вариантов, где они не вносятся, что связано в первую очередь с высокой стоимостью двойного суперфосфата.

Наименьшая прибыль получена в контрольном варианте, 3485 руб./га, наибольшая – при внесении N₁₂₀P₆₀, 19252 руб./га. Из-за низкой урожайности в контроле получена самая высокая себестоимость 1 т зерна – 5096 руб. В целом этот показатель варьировал от 3300 до 4900 руб. и оказался самым низким при внесении N₆₀ – 2732 руб./т.

Доза удобрений N₆₀ обеспечила самую высокую общую рентабельность производства – 156,2 %. Рентабельность выше 100 % обеспечили дозы N₆₀P₆₀, N₆₀K₆₀, N₁₂₀, N₁₂₀P₆₀, поэтому можно судить о низкой эффективности фосфорно-калийных удобрений без применения азотных. В контрольном варианте рентабельность составила 37,4 %.

Таблица 4 – Экономическая эффективность возделывания озимой ржи сорта Графиня / Table 4 – Economic efficiency of cultivation of winter rye cv. Grafinya

Доза удобрений / Doses of fertilizers	Стоимость продукции, руб/га / Cost of production, rub/ha	Затраты, руб/га / Expenses, rub/ha	Прибыль, руб/га / Profit, rub/ha	Себестои- мость, руб/т / Prime cost, rub/t	Рентабель- ность, % / Profitability, %
N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / N ₀ P ₀ K ₀ (control)	12810	9325	3485	5096	37,4
N ₆₀	30660	11967	18693	2732	156,2
P ₆₀	19810	12474	7336	4408	58,8
K ₆₀	15960	11507	4453	5046	38,7
N ₆₀ P ₆₀	31920	15058	16862	3302	112,0
N ₆₀ K ₆₀	29050	14101	14949	3398	106,0
P ₆₀ K ₆₀	24080	14668	9412	4264	64,2
N ₁₂₀	30100	14421	15679	3354	108,7
P ₁₂₀	26460	15621	10839	4132	69,4
K ₁₂₀	19600	13694	5906	4891	43,1
N ₁₂₀ P ₆₀	36820	17568	19252	3340	109,6
N ₁₂₀ P ₁₂₀	38640	20664	17976	3744	87,0
N ₁₂₀ K ₁₂₀	33180	18752	14428	3956	76,9
P ₁₂₀ K ₁₂₀	29470	19951	9519	4739	47,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	25410	13297	12113	3663	91,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	31290	17201	14089	3848	81,9
N ₉₀ P ₃₀ K ₃₀	30170	15806	14364	3667	90,9
N ₉₀ P ₉₀ K ₃₀	32900	18912	13988	4024	74,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	34300	21075	13225	4301	62,8
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	39900	24976	14924	4382	59,8
N ₁₅₀ P ₉₀ K ₃₀	38360	21423	16937	3910	79,1
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	41580	28837	12743	4855	44,2

Исходя из того, что большинство сельхозтоваропроизводителей применяют сложные комплексные удобрения, содержащие все основные элементы питания, наиболее эффективной дозой под озимую рожь является N₃₀P₃₀K₃₀. При себестоимости 1 т зерна 3663 руб. общая рентабельность производства составит 91,1 %. В условиях экономии ресурсов оптимальным при производстве зерна озимой ржи будет внесение аммиачной селитры в дозе N₆₀.

Выводы. В 2018 году на величину урожая озимой ржи сорта Графиня в большей степени влияли азотные удобрения и фосфорные. В 2019 году на величину урожая озимой ржи большое влияние оказали азотные удобрения, влияние фосфорных удобрений снизилось. В условиях 2019 года урожайность составила от 2,65 т/га в контроле до 7,08 т/га при внесении максимальной дозы N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀, в 2018 году соответственно от 1,01 до 4,81 т/га, что в 1,5-2,6 раза меньше.

Технологические показатели зерна озимой ржи сорта Графиня не зависели от доз и соотношений минеральных удобрений. По содержанию сырой клетчатки во всех вариантах получено зерно первого класса, по содержанию сырого протеина – в основном второго. Повышенная влагообеспеченность в период созревания зерна привела к тому, что в 2018 году показатель «число падения» составил 124 с в среднем по вариантам, в 2019 г. – во всех вариантах «число падения» было наименьшим (62 с).

Доза удобрений N₆₀ обеспечила самую высокую общую рентабельность производства зерна озимой ржи сорта Графиня – 156,2 %. Применение фосфорно-калийных удобрений без азотных малоэффективно. Комплексное внесение минеральных удобрений в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ обеспечивает себестоимость 3663 руб/т, рентабельность 91,1 %.

Список литературы

1. Пасынков А. В., Светлакова Е. В., Котельникова Н. В., Абашев В. Д., Пасынкова Е. Н., Садакова Г. Г., Баландина С. А., Дунашева Г. И., Рублева Н. В., Татарина М. С. Влияние длительности применения минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, продуктивность севооборота и качество зерна. *Агрохимия*. 2016;(10):38-47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27169477>
2. Кирышин В. И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(3):19-25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25910512>
3. 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://www.elibrary.ru/item.asp?id=21699656>
4. Калинин А. И. Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и продуктивность растений. Киров, 2004. 220 с.
5. Молодкин В. Н., Бусыгин А. С. Плодородие пахотных почв Кировской области. *Земледелие*. 2016;(8):16-18.
6. Сысоев В. А. Комплексные научные исследования по озимой ржи – важнейшей национальной и стратегической зерновой культуре РФ. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(6):8-11. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17771270>
7. Уткина Е. И., Кедрова Л. И. Зимостойкость озимой ржи: проблемы и решения. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;(1(62)):11-18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32597829>
8. Schlegel Rolf H. J. Rye: Genetics, Breeding and Cultivation. London: CRC Press Taylor and Francis Group, 2013. 382 p. URL: <https://b-ok.cc/book/2366126/9f0b38>
9. Пасынков А. В., Андреев В. Л., Завалин А. А., Пасынкова Е. Н. Изменение показателей качества зерна озимой ржи при его фракционировании. *Достижения науки и техники АПК*. 2013;(9):36-40. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20310396>
10. Завалин А. А., Пасынков А. В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. М.: ВНИИА, 2007. 208 с.
11. Коданев И. М. Агротехнические приемы повышения качества зерна. Горький, 1981. 47 с.
12. Pasyunkova E. N., Zavalin A. A., Pasyunkov A. V., Kotelnikova N. V. change in quality parameters of hulled oats grain at fractionation. *Russian agricultural sciences*. 2018;44(5):409-413. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41516254>
13. Бушук В., Кэмпбелл У. П., Древе Э. Рожь. Производство, химия и технология. М., 1980. 247 с.
14. Исмагилов Р. Р., Ахиярова Л. М., Аюпов Д. С., Исмагилов К. Р. Хлебопекарные качества зерна озимой ржи и приемы их повышения. *Аграрный вестник Урала*. 2010;3(69):54-55. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15123304>
15. Потапова Г. Н., Галимов К. А., Зобнина Н. Л., Иванова М. С. Новые сорта и особенности технологии выращивания озимых зерновых культур на семена в ФГБНУ «Уральский НИИСХ». *Пермский аграрный вестник*. 2017;(2(18)):48-56. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29372547>
16. Ismagilov R. R., Gaysina L. F., Ahiyarova L. M., Ayupov D. S., Nurlygayanov R. B., Ahiyarov B. G., Abdulvaleev R. R., Maljutina K. V., Ismagilov K. R., Abdulloev V. K. Crop yields and baking qualities of fl winter rye hybrids grain in the forest-steppe of the Republic of Bashkortostan. *Journal of engineering and applied sciences*. 2018;13(S8):6487-6493. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35652067>
17. Muenzing K., Huesken A., Unbehend G., Begemann J., Arent L., Wolf K., Lindhauer M. G. Die Qualität der deutschen Roggenernte 2014. *Mühle Mischfutter*. 2014;151:745-754. (In Deutschland).

References

1. Pasyunkov A. V., Svetlakova E. V., Kotelnikova N. V., Abashev V. D., Pasyunkova E. N., Sadakova G. G., Balandina S. A., Dunyasheva G. I., Rubleva N. V., Tatarina M. S. *Vliyaniye dlitel'nosti primeneniya mineral'nykh udobreniy na plodorodie dervno-podzolistoy pochvy, produktivnost' sevooborota i kachestvo zerna*. [The influence of long-term application of fertilizers on fertility of soddy-podzolic soil, productivity of crop rotation and grain quality]. *Agrokhimiya*. 2016;(10):38-47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27169477>
2. Kiryushin V. I. *Mineral'nye udobreniya kak klyuchevoy faktor razvitiya sel'skogo khozyaystva i optimizatsii prirodopol'zovaniya*. [Mineral fertilizers as the key factor of agriculture development and optimization of nature management]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;30(3):19-25. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25910512>
3. Abashev V. D., Svetlakova E. V., Popov F. A., Noskova E. N., Denisova A. V. *Vliyaniye vozrastayushchikh doz i sootnosheniy mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo zerna ozimoy rzhi*. [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://www.elibrary.ru/item.asp?id=21699656>
4. Kalinin A. I. *Agrokhimicheskie svoystva dervno-podzolistykh pochv i produktivnost' rasteniy*. [Agrochemical properties of sod-podzolic soils and plant productivity]. Киров, 2004. 220 p.
5. Molodkin V. N., Busygin A. S. *Plodorodie pakhotnykh pochv Kirovskoy oblasti*. [Fertility of arable soils of Kirov region]. *Zemledelie*. 2016;(8):16-18. (In Russ.).
6. Sysuev V. A. *Kompleksnyye nauchnye issledovaniya po ozimoy rzhi – vazhneyshey natsional'noy i strategicheskoy zernovoy kul'ture RF*. [Complex scientific researches on winter rye - major national and strategic grain crop of Russian Federation]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2012;(6):8-11. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17771270>
7. Utkina E. I., Kedrova L. I. *Zimostoykost' ozimoy rzhi: problemy i resheniya*. [Winter hardiness in winter rye: problems and solutions]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2018; (1(62)):11-18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32597829>
8. Schlegel Rolf H. J. Rye: Genetics, Breeding and Cultivation. London: CRC Press Taylor and Francis Group, 2013. 382 p. URL: <https://b-ok.cc/book/2366126/9f0b38>

9. Pasyнков А. В., Andreev В. Л., Zavalin А. А., Pasynkova Е. N. *Izmenenie pokazateley kachestva zerna ozimoy rzhi pri ego fraktsionirovaniy.* [Changes in the parameters of winter rye quality after grain fractionation]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Agricultural Science Euro-North-East.* 2013;(9):36-40. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20310396>

10. Zavalin А. А., Pasyнков А. В. *Azotnoe pitaniye i prognoz kachestva zernovykh kul'tur.* [Nitrogen nutrition and grain crop quality forecast]. Moscow: *VNIIA*, 2007. 208 p.

11. Kodanov I. M. *Agrotekhnicheskie priemy povysheniya kachestva zerna.* [Agricultural techniques of grain quality improvement]. Gor'kiy, 1981. 47 p.

12. Pasynkova Е. N., Zavalin А. А., Pasyнков А. В., Kotelnikova N. V. Change in quality parameters of hulled oats grain at fractionation. *Russian agricultural sciences.* 2018;44(5):409-413. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41516254>

13. Bushuk V., Kempbell U. P., Dreves E. *Rozh'. Proizvodstvo, khimiya i tekhnologiya.* [Rye: production, chemistry, and technology]. Moscow, 1980. 247 p.

14. Ismagilov R. R., Akhiyarova L. M., Ayupov D. S., Ismagilov K. R. *Khlebopekarnyye kachestva zerna ozimoy rzhi i priemy ikh povysheniya.* [Baking qualities of grain winter rye and methods for increasing them]. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals.* 2010;(3(69)):54-55. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15123304>

15. Potapova G. N., Galimov K. A., Zobnina N. L., Ivanova M. S. *Novyye sorta i osobennosti tekhnologii vyrashchivaniya ozimyykh zernovykh kul'tur na semena v FGBNU «Ural'skiy NIISKh».* [New varieties and peculiarities of growing techniques of the winter cereals for seeds at the federal budget state scientific institution "The Ural Scientific Research Institute"]. *Perm'skiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal.* 2017;(2(18)):48-56. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29372547>

16. Ismagilov R. R., Gaysina L. F., Akhiyarova L. M., Ayupov D. S., Nurlygayanov R. B., Akhiyarov B. G., Abdulvaleev R. R., Maluyutina K. V., Ismagilov K. R., Abdulloev V. K. Crop yields and baking qualities of fl winter rye hybrids grain in the forest-steppe of the Republic of Bashkortostan. *Journal of engineering and applied sciences.* 2018;13(S8):6487-6493. (In United Arab Emirates). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35652067>

17. Muenzing K., Huesken A., Unbehend G., Begemann J., Arent L., Wolf K., Lindhauer M. G. Die Qualität der deutschen Roggenerte 2014. *Mühle Mischfutter.* 2014;151:745-754. (In Deutschland).

Сведения об авторах

✉ **Попов Фёдор Александрович**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Абашев Василий Дмитриевич, доктор с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4345-7022>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Носкова Евгения Николаевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Светлакова Елена Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Лыскова Ирина Владимировна, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник лаборатории агрохимии и качества зерна, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

Information about the authors

✉ **Fyodor A. Popov**, PhD in Agricultural science, senior researcher, Head of the Laboratory of Agrochemistry and Fodder 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/0000-0002-9801-3453>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Vasily D. Abashev, DSc in Agricultural science, senior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Fodder 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/0000-0002-4345-7022>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Eugenia N. Noskova, PhD in Agricultural science, researcher, the Laboratory of Soil Management, 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/0000-0002-4685-7865>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Elena V. Svetlakova, junior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Fodder 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/0000-0002-4904-697X>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru

Irina V. Lyiskova, PhD in Agriculture, senior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Grain Quality, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, v. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

✉ – Для контактов / Corresponding author