

**СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕГО БЕЛКА В ЗЕРНЕ И ВАЛОВОЙ СБОР БЕЛКА
С УРОЖАЕМ ЗЕРНА ПРИ РАЗНЫХ СХЕМАХ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД РОЖЬ
ОЗИМУЮ (*SECALE CEREALE* L.)**

Н. А. Петровцева, Е. Н. Пасынкова

Реферат. Эффективное использование почвенного азота озимой рожью предположительно требует наличия источника легкодоступного калия, особенно в фазе весеннего кущения. Цель исследований – изучить содержание белка в зерне озимой ржи и валовой сбор белка с урожаем зерна при разных схемах внесения аммонийной и калийной селитры для совершенствования системы применения удобрений под культуру. Работу выполняли в 2019–2021 года в Ленинградской области на растениях озимой ржи сорта Эврика. Почва – дерново-подзолистая суглинистая. Содержание гумуса – 2,0...2,3%, pH солевой вытяжки – 5,2...5,5, содержание подвижного минерального азота – 12...15 мг/кг, подвижного калия и фосфора (по Кирсанову) – соответственно 80...100 мг/кг и 180...200 мг/кг. Вносимая за вегетацию норма удобрений составляла 0 (контроль), 30, 60 или 90 кг/га по действующему веществу азоту. При каждой норме удобрений изучали влияние наличия или отсутствия калия (фактор А), а также способов и сроков внесения удобрения (фактор В – дробное осенью и весной с калием, дробное без калия, единовременное весной с калием, единовременное без калия). Содержание общего белка в зерне варьировало от 9,29 до 12,30% абсолютно сухого вещества и практически не зависело от количества, вида и времени внесения удобрений, а определялось метеоусловиями года. Валовой сбор белка изменялся от 136,6 до 462,5 кг/га и прямо определялся урожайностью культуры (коэффициент корреляции составлял 0,97...0,99), при этом в каждом году наибольший валовой сбор белка (150...195% к контролю) отмечали в вариантах с калийной селитрой.

Ключевые слова: аммонийная селитра, калийная селитра, азот, нитрат, протеин, урожайность, минеральные удобрения, рожь озимая (*Secale cereale* L.).

Введение. Озимая рожь – одна из важнейших зерновых культур, особенно ценная своей способностью произрастать практически при любых почвенно-климатических условиях. На дерново-подзолистых почвах Северо-Западного региона РФ озимая рожь обеспечивает наибольший сбор протеина среди всех зерновых культур [1], при этом биологическая ценность зерна ржи для питания людей и домашних животных сегодня подтверждается многими исследованиями [2, 3, 4]. При том, что рожь известна способностью к весьма эффективному использованию почвенного азота [5], она также характеризуется очень высоким биологическим выносом калия [6]. Показано, что на эффективное потребление растениями азота существенное влияние оказывает дефицитное калийное состояние почвы [7]. Поэтому достаточное количество калия в легкодоступной форме может выступать лимитирующим фактором для озимой ржи. Но калийные удобрения традиционно применяют только под основную обработку осенью, хотя новейшие исследования показывают, что в таком случае калий в больших количествах связывается почвой, переходя в труднодоступную для растений форму, причем процесс усиливается с увеличением дозы вносимых удобрений [8, 9, 10]. При этом установлено, что озимая рожь наиболее интенсивно поглощает и азот, и калий в фазе весеннего кущения [11], что наводит на предположение о целесообразности именно весеннего внесения удобрений.

Цель исследования – изучить содержание белка в зерне озимой ржи и валовой сбор белка с урожаем зерна при разных схемах внесения аммонийной и калийной селитры для

оптимизации применения удобрений под озимую рожь.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2019–2021 года на опытном поле Ленинградского НИИСХ «Белогорка» (Ленинградская область). Объект – растения озимой ржи сорта Эврика, включенного в госреестр РФ в 2021 году и допущенного к использованию по Северо-Западному региону Российской Федерации. Почва опытного поля – дерново-подзолистая суглинистая с глубиной пахотного слоя 20...25 см. Содержание гумуса – 2,0...2,3%, pH солевой вытяжки – 5,2...5,5, содержание подвижного минерального азота – 1,2...1,5 мг/100 г, подвижного калия (по Кирсанову) – 8...10 мг/100 г, подвижного фосфора – 18...20 мг/100 г почвы.

Посев культуры и внесение удобрений в форме NH_4NO_3 и KNO_3 проводили, как описано ранее [12]. В качестве источника калия в эксперименте использовали калийную селитру, отличную от аммонийной селитры лишь катионом, чтобы избежать дополнительного влияния других макроэлементов, кроме азота и калия. Удобрения применяли в сухом виде дробно (осенью и весной) или единовременно (весной), нормы внесения – N_0 (контроль), N_{30} , N_{60} и N_{90} . При каждой норме удобрений изучали влияние наличия или отсутствия калия (фактор А – без калия, с калием), а также способов и сроков внесения удобрения (фактор В – дробное осенью и весной с калием, дробное без калия, единовременное весной с калием, единовременное без калия). При дробном внесении осенняя доза составляла 1/3 (в виде аммонийной или калийной селитры), весенняя – 2/3 (в виде аммонийной селитры) от общей

нормы азота. При одновременном внесении весной в вариантах с калием использовали смесь калийной и аммонийной селитры в соотношении 1:2 по действующему веществу азоту, в вариантах без калия – одну аммонийную селитру.

Закладку опытов и статистическую обработку результатов осуществляли согласно общепринятым методикам.

Осенне-зимний период 2018–2019 года характеризовался теплой затяжной осенью, обычной в последнее время для Ленинградской области. Снеговой покров установился только в конце ноября при незначительном промерзании почвы. В середине февраля почва под снегом полностью оттаяла, что приводило к гибели части растений от выпревания. Погодные условия весны и начала лета были обычными, июль выдался холодным и чрезмерно дождливым, что привело к полеганию части растений.

Осенне-зимний период 2019–2020 года

отличался ранним наступлением холодов – после 15 сентября среднесуточная температура не превышала 9,5°C. Однако зима была необычайно теплой, с большим количеством осадков, без устойчивого снегового покрова, что сопровождалось вымыванием питательных веществ из почвы и гибелью части растений от вымокания. Погодные условия в весенне-летний период в целом соответствовали обычным для Ленинградской области.

В осенне-зимний период 2020–2021 года отмечена теплая затяжная осень – снеговой покров установился в середине декабря. Летний период отличался жаркой и очень сухой погодой, ГТК за период от цветения до уборки урожая составил 0,3.

Результаты и обсуждение. Различия между вариантами по содержанию общего белка в зерне в пределах одной нормы удобрений в первый год исследований были статистически недостоверными (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание общего белка в зерне ржи озимой, % на абсолютно сухое вещество

Способ внесения удобрения (фактор В)	Вид удобрения (фактор А)								
	N ₃₀			N ₆₀			N ₉₀		
	без К	с К	λ _в	без К	с К	λ _в	без К	с К	λ _в
2019 год (в контроле – 11,37)									
дробное	11,36	11,37	11,37	11,03	11,22	11,13	10,71	11,07	10,89
единовременное	11,39	11,42	11,41	11,32	11,31	11,32	11,24	11,13	11,19
λ _А	11,38	11,40	HCP ₀₅ = 0,33	11,18	11,27	HCP ₀₅ = 0,31	10,98	11,10	HCP ₀₅ = 0,35
2020 год (в контроле – 9,67)									
дробное	9,87	9,60	9,74	9,53	9,33	9,43	9,48	10,41	9,95
единовременное	9,66	9,36	9,51	9,56	9,29	9,43	10,18	10,02	10,10
λ _А	9,77	9,48	HCP ₀₅ = 0,43	9,55	9,31	HCP ₀₅ = 0,30	9,83	10,22	HCP ₀₅ = 0,39
2021 год (в контроле – 11,95)									
дробное	12,06	12,05	12,06	12,02	12,08	12,05	11,90	11,87	11,89
единовременное	11,91	11,87	11,89	11,90	12,30	12,10	11,71	11,98	11,85
λ _А	11,99	11,96	HCP ₀₅ = 0,31	11,96	12,19	HCP ₀₅ = 0,31	11,81	11,93	HCP ₀₅ = 0,20
Среднее за три года (в контроле – 11,00)									
дробное	11,10	11,01	11,06	10,86	10,88	10,87	10,70	11,12	10,91
единовременное	11,00	10,94	10,97	10,93	10,97	10,95	11,04	11,04	11,04
λ _А	11,05	10,98	HCP ₀₅ = 0,40	10,90	10,93	HCP ₀₅ = 0,30	10,87	11,08	HCP ₀₅ = 0,45

При этом содержание белка в зерне в среднем по вариантам при N₃₀ оставалось на уровне контроля (11,39%), а при N₆₀ и N₉₀ было несколько ниже (11,22% и 11,04% соответственно). Вероятно, это стало следствием погодных условий – в июле, на который полностью приходится фенофаза «налив зерна», количество выпавших осадков заметно превысило месячную норму, а температура воздуха оказалась значительно ниже нормы при ГТК = 1,7. Дополнительное внесение азота

в средней и высокой дозе при хорошей увлажненности почвы способствовало усилению ростовых процессов, тогда как температура была недостаточно благоприятной для процессов накопления белка.

При N₃₀ и N₆₀ различия в содержании общего белка в зерне в разных вариантах в 2020 году также были недостоверными – возможно, при низкой и средней дозах удобрений при активном росте в благоприятных условиях года количества питательных элементов было

недостаточно для эффективного накопления белка растениями вне зависимости от времени внесения и вида удобрений. При этом в варианте с N_{30} содержание общего азота в среднем по фонам оставалось на уровне контроля (9,62%), с N_{60} было несколько ниже контроля (9,43%) – по-видимому, средняя обеспеченность азотом способствовала усилению роста растений, но оказалась недостаточной для адекватного увеличения накопления белка.

В варианте с N_{90} среднее по фонам содержание белка в зерне превышало контроль (10,02%), при достоверной разнице между дробным внесением одной аммонийной селитры и дробным внесением смеси аммонийной и калийной селитры. В первом случае содержание белка в зерне было наименьшим при рассматриваемой дозе азота, во втором – наибольшим. Вероятное объяснение следует искать также в особенностях погодных условий. Зима была очень теплой, без устойчивого снегового покрова, с большим количеством осадков в виде дождя. Это приводило к вымыванию нитратного азота – известно, что нитраты характеризуются слабой способностью к поглощению почвами [13] – и накопление белка растениями в варианте с дробным внесением аммонийной селитры оказалось сниженным. В то же время, в варианте с добавлением калийной селитры повышенные дозы калия могли способствовать более эффективному потреблению растениями азота, и при общей более

низкой урожайности содержание белка в зерне оказалось максимальным. Положительное влияние высоких доз калия на процессы потребления растениями азота было показано для озимой пшеницы, а также для культурного агроценоза в многолетнем стационарном опыте [7]. В вариантах с единовременным весенним внесением удобрений при отсутствии дефицита питательных веществ накопление белка в зерне было одинаковым вне зависимости от вида используемых удобрений.

Валовой сбор белка прямо определялся урожаем зерна ($r = 0,99$) и в 2019 году был максимальным при N_{90} , а именно – в вариантах с совместным использованием аммонийной и калийной селитры, как при дробном, так и при единовременном внесении удобрений (табл. 2).

Стоит отметить, что в целом содержание белка в зерне в 2020 году оказалось ниже, чем в предыдущем году, однако валовой сбор белка с урожаем зерна был значительно выше вследствие более высокой урожайности растений благодаря сложившимся благоприятным погодным условиям, максимальный – при N_{90} при единовременном весеннем внесении удобрений, как и в предыдущем году, в варианте с совместным использованием аммонийной и калийной селитры. Коэффициент корреляции валового сбора белка с урожайностью по зерну положителен и составляет 0,97.

Таблица 2 - Валовой сбор белка с урожаем зерна ржи озимой, кг/га

Способ внесения удобрения (фактор В)	Вид удобрения (фактор А)								
	N_{30}			N_{60}			N_{90}		
	без К	с К	λ_B	без К	с К	λ_B	без К	с К	λ_B
2019 год (в контроле – 224,4)									
дробное	246,5	241,6	244,1	265,9	255,5	260,7	257,2	336,1	296,7
единовременное	230,9	249,8	240,4	265,8	288,8	277,3	260,9	317,0	289,0
λ_A	238,7	245,7	$HCP_{05}=4,3$	265,9	272,2	$HCP_{05}=5,1$	259,1	326,6	$HCP_{05}=5,8$
2020 год (в контроле – 237,4)									
дробное	309,3	259,7	284,5	354,8	339,9	347,4	404,6	364,4	384,5
единовременное	303,6	280,0	291,8	373,0	340,9	357,0	399,9	462,5	431,2
λ_A	306,5	269,9	$HCP_{05}=5,0$	363,9	340,4	$HCP_{05}=4,8$	402,3	413,5	$HCP_{05}=4,5$
2021 год (в контроле – 136,6)									
дробное	182,0	221,6	201,8	228,6	256,7	242,7	201,9	225,7	213,8
единовременное	180,8	152,6	166,7	183,8	179,0	181,4	184,0	187,2	185,6
λ_A	181,4	187,1	$HCP_{05}=5,1$	206,2	217,9	$HCP_{05}=4,5$	193,0	206,5	$HCP_{05}=4,9$
Среднее за три года (в контроле – 199,5)									
дробное	245,9	241,0	243,5	283,1	284,0	283,6	287,9	308,7	298,3
единовременное	238,4	227,5	233,0	274,2	269,6	271,9	281,6	322,2	301,9
λ_A	242,2	234,3	$HCP_{05}=7,9$	278,7	276,8	$HCP_{05}=11,7$	284,8	315,5	$HCP_{05}=8,7$

В условиях жаркого и сухого лета 2021 года (ГТК периода от начала цветения до уборки урожая – 0,3) содержание белка в зерне оказалось наибольшим за три рассматриваемых года, при этом валовой сбор белка был наименьшим из-за низкой урожайности растений. Различий в содержании белка в зерне между вариантами не наблюдалось, также отличия от контроля были весьма незначительны (в среднем по вариантам содержание белка составляло 11,97, 12,08 и 11,87% при N₃₀, N₆₀ и N₉₀ соответственно) – вероятно потому, что основным лимитирующим развитием растений фактором являлась влагообеспеченность, и при ограниченной биомассе отсутствие конкуренции за питательные вещества позволяло растениям накапливать максимально возможное количество белка в зерне при любой дозе удобрений. Наибольшая урожайность и, соответственно, наибольший валовой сбор белка отмечали не при N₉₀, как в предыдущие годы, а при N₆₀, причем – в вариантах с дробным внесением удобрений, что можно объяснить общеизвестным угнетающим действием высоких доз удобрений, особенно вносимых в один прием, при недостаточном увлажнении почвы. При этом вариант совместного использования аммонийной и калийной селитры снова оказался более продуктивным, чем внесение одной аммонийной селитры. Коэффициент корреляции валового сбора белка с урожайностью по зерну положителен и составляет 0,99.

Выводы. Содержание белка в зерне озимой ржи при каждой рассмотренной дозе азота мало зависело от вида и способа внесения

изучаемых удобрений, небольшие достоверные различия между вариантами отмечали лишь в 2020 году при N₉₀. Кроме того, в пределах одного года не было заметных различий по содержанию белка в зерне между удобренными вариантами и контролем вне зависимости от количества внесенных удобрений. В целом величина этого показателя определялась метеоусловиями года.

Валовой сбор белка с зерном зависел от урожайности культуры. При этом выявлено положительное влияние подкормок калийной селитрой – наибольшая в опыте прибавка к контролю урожая зерна и валового сбора белка в каждом году была отмечена в вариантах с ее использованием. По способу внесения удобрений (дробно или одновременно) однозначный вывод сделать нельзя, поскольку отмеченная в первые два года исследований тенденция в пользу одновременного внесения не подтвердилась в третьем году.

Исходя из полученных результатов, следует признать целесообразным пересмотр традиционных схем удобрения озимой ржи, в которых принято отказываться от использования калийных удобрений при содержании подвижного калия в почве более 80 мг/кг в силу признанной малой эффективности его использования под основную обработку почвы осенью. Применение калийного удобрения вместе с азотной подкормкой вегетирующих растений как осенью, так и ранней весной может стать важным инновационным приемом совершенствования системы применения удобрений под озимую рожь.

Литература

1. Володина Т. И., Чухина О. В., Демидова А. И. Потребление азота, сбор протейна культурами севооборота под влиянием минеральной и органических систем удобрений // Молочнохозяйственный вестник. 2019. № 4 (36). С. 31–45.
2. Cooper D. N., Martin R. J., Keim N. L. Does whole grain consumption alter gut microbiota and satiety? // Healthcare. 2015. No 3. P. 364–392. doi: 10.3390/healthcare3020364.
3. Impact of grazing dairy steers on winter rye (*Secale cereale*) versus winter wheat (*Triticum aestivum*) and effects on meat quality, fatty acid and amino acid profiles, and consumer acceptability of organic beef / H. N. Phillips, B. J. Heins, K. Delate., et. Al. // PLoS ONE. 2017. No. 12 (11). P. 1–18. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5669429> (дата обращения: 03.12.2024). doi: 10.1371/journal. Pone.0187686.
4. Рожь – природный источник альбуминов и глобулинов, стимулирующих иммунитет / В. А. Скрыбин, И. А. Сабонев, А. П. Чиркин и др. // Хлебопродукты. 2022. № 2. С. 49–54. doi: 10.32462/0235-2508-2022-31-2-49-54.
5. Kuo S., Huang B., Bembenek R. Effect of winter cover crops on soil nitrogen availability, corn yield, and nitrate leaching // The scientific world. 2001. No. 1 (S2). P. 22–29.
6. Шайкова Т. В., Дятлова М. В., Волкова Е. С. Потребление и вынос основных элементов минерального питания озимой рожью при внесении комплексных удобрений // Плодородие. 2022. № 6 (129). С. 3–7. doi: 10.25680/S19948603.2022.129.01.
7. Якименко В. Н., Малыга А. А. Зависимость агроэкологического состояния почвы от баланса калия в агроценозе // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. № 1 (25). С. 26–41.
8. Калийное состояние дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта в условиях Предуралья / Н. Е. Завьялова, М. Т. Васбиева, Д. Г. Шишков и др. // Плодородие. 2021. № 4 (121). С. 43–47. doi: 10.25680/S19948603.2021.121.13.
9. Артемьева З. С., Фрид А. С., Титова В. И. Миграционная доступность калия растениям на суглинистых почвах // Агрохимия. 2019. № 7. С. 16–26. doi: 10.1134/S0002188119070032.
10. Якименко В. Н. Фиксация калия и магния почвой агроценоза // Агрохимия. 2023. № 3. С. 3–11. doi: 10.31857/S0002188123030134.
11. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Шишков Д. Г. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, содержание основных элементов питания и тяжелых металлов в озимой ржи // Агрохимия. 2021. № 4. С. 49–56. doi: 10.31857/S0002188121040153.
12. Петровцева Н.А., Пасынкова Е.Н. Влияние аммонийной и калийной селитры на зимостойкость и урожайность ржи озимой (*Secale cereale* L.) // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. № 12

(53). С. 5–13. doi: 10.26898/0370-8799-2023-12-1.

13. Макаров В.И. Влияние азотных удобрений на кислотность дерново-подзолистой супесчаной почвы и химический состав лизиметрических вод // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (138). С. 89–95.

Сведения об авторах:

Петровцева Наталья Александровна – старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых культур и рапса, e-mail: petrovtsseva-natalya@rambler.ru

Пасынкова Елена Николаевна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых культур и рапса pasynkova, e-mail: elena@gmail.com

Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», Ленинградская обл., Гатчинский р-н, д. Белогорка, Россия

TOTAL PROTEIN CONTENT IN GRAIN AND GROSS PROTEIN YIELD WITH GRAIN CROP UNDER DIFFERENT FERTILIZER APPLICATION SCHEMES FOR WINTER RYE (*SECALE CEREALE* L.)

N. A. Petrovtseva, E. N. Pasynkova

Abstract. Efficient use of soil nitrogen by winter rye presumably requires a source of readily available potassium, especially in the spring tillering phase. The aim of research was to study the protein content in winter rye grain and the gross protein yield with grain crop under different ammonium and potassium nitrate application schemes to improve the fertilizer application system for the crop. The work was carried out in 2019–2021 in Leningrad region on winter rye plants of Evrika variety. The soil is sod-podzolic loamy. Humus content was 2.0...2.3%, pH of salt extract was 5.2...5.5, content of available mineral nitrogen was 12...15 mg/kg, available potassium and phosphorus (according to Kirsanov) were 80...100 mg/kg and 180...200 mg/kg respectively. The fertilizer rate applied during the growing season was 0 (control), 30, 60 or 90 kg/ha for the active substance nitrogen. At each fertilizer rate, the effect of the presence or absence of potassium (factor A), as well as the methods and timing of fertilizer application (factor B - fractional in autumn and spring with potassium, fractional without potassium, one-time in spring with potassium, one-time without potassium) were studied. The total protein content in grain varied from 9.29 to 12.30% of absolutely dry matter and was practically independent of the amount, type and timing of fertilizer application, but was determined by the weather conditions of the year. The gross protein yield varied from 136.6 to 462.5 kg/ha and was directly determined by the crop yield (the correlation coefficient was 0.97...0.99), with the highest gross protein yield (150...195% of the control) noted in the variants with potassium nitrate in each year.

Key words: ammonium nitrate, potassium nitrate, nitrogen, nitrate, protein, yield, mineral fertilizers, winter rye (*Secale cereale* L.).

References

1. Volodina TI, Chukhina OV, Demidova AI. [Nitrogen consumption and protein collection in rotational crops under the influence of mineral and organic fertilizer systems]. Molochnokhozyaystvennuy vestnik. 2019; 4 (36). 31-45 p.
2. Cooper DN, Martin RJ, Keim N.L. Does whole grain consumption alter gut microbiota and satiety?. Healthcare. 2015; 3. 364-392 p. doi: 10.3390/healthcare3020364.
3. Phillips HN, Heins BJ, Delate K, Turnbull R. Impact of grazing dairy steers on winter rye (*Secale cereale*) versus winter wheat (*Triticum aestivum*) and effects on meat quality, fatty acid and amino acid profiles, and consumer acceptability of organic beef. [Internet]. PLoS ONE. 2017; 12 (11). 1-18 p. [cited 2024, December 03]. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5669429>. doi: 10.1371/journal. Pone.0187686.
4. Skryabin VA, Saboiev IA, Chirkin AP. [Rye is a natural source of albumins and globulins that stimulate immunity]. Khlebobprodukty. 2022; 2. 49-54 p. doi: 10.32462/0235-2508-2022-31-2-49-54.
5. Kuo S, Huang B, Bembenek R. Effect of winter cover crops on soil nitrogen availability, corn yield, and nitrate leaching. The scientific world. 2001; 1 (S2). 22-29 p.
6. Shaykova TV, Dyatlova MV, Volkova ES. [Consumption and removal of the main mineral nutrition elements by winter rye when applying complex fertilizers]. Plodorodie. 2022; 6 (129). 3-7 p. doi: 10.25680/S19948603.2022.129.01.
7. Yakimenko VN, Malyuga AA. [Dependence of the agroecological state of the soil on the potassium balance in the agrocenosis]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2014; 1 (25). 26-41 p.
8. Zavyalova NE, Vasbieva MT, Shishkov DG. [Potassium state of sod-podzolic soil in a long-term stationary experiment in the Urals]. Plodorodie. 2021; 4 (121). 43-47 p. doi: 10.25680/S19948603.2021.121.13.
9. Artemeva ZS, Frid AS, Titova VI. [Migration availability of potassium to plants on loamy soils]. Agrokhimiya. 2019; 7. 16-26 p. doi: 10.1134/S0002188119070032.
10. Yakimenko VN. [Fixation of potassium and magnesium by the soil of agrocenosis]. Agrokhimiya. 2023; 3. 3-11 p. doi: 10.31857/S0002188123030134.
11. Zavyalova NE, Vasbieva MT, Shishkov DG. [Effect of mineral fertilizers on the fertility of sod-podzolic soil, content of essential nutrients and heavy metals in winter rye]. Agrokhimiya. 2021; 4. 49-56 p. doi: 10.31857/S0002188121040153.
12. Petrovtseva NA, Pasynkova EN. [Effect of ammonium and potassium nitrate on winter hardiness and yield of winter rye (*Secale cereale* L.)]. Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. 2023; 12 (53). 5-13 p. doi: 10.26898/0370-8799-2023-12-1.
13. Makarov VI. [Effect of nitrogen fertilizers on the acidity of sod-podzolic sandy loam soil and the chemical composition of lysimetric waters]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agramogo universiteta. 2016; 4 (138). 89-95 p.

Authors:

Petrovtseva Natalya Aleksandrovna – senior researcher of Department of Breeding and seed production of grain, legume crops and rapeseed, e-mail: petrovtsseva-natalya@rambler.ru

Pasynkova Elena Nikolaevna – Doctor of Biological Sciences, chief researcher of Department of Breeding and seed production of grain, legume crops and rapeseed, e-mail: elena@gmail.com

Leningrad Research Institute of Agriculture "Belogorka" - a branch of Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh, Leningrad region, Gatchina district, Belogorka village, Russia.