



Растениеводство Crop production

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-61-75

EDN: AONXDE


УДК 633.11:631.8:631.421.1 (571.13)

Научная статья / Research article

Применение азотных удобрений под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве в Омском Прииртышье

Н.А. Воронкова , Н.А. Цыганова , Н.Ф. Балабанова ,
В.А. Волкова  , И.В. Пахотина 

Омский аграрный научный центр, г. Омск, Российская Федерация

 volkovava1989@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты исследования эффективности дробного внесения азотных удобрений при возделывании яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Мелодия в условиях Омского Прииртышья на лугово-черноземной среднемоощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почве. Цель исследований — установить эффективность дробного внесения азотных удобрений в зависимости от уровня обеспеченности лугово-черноземной почвы подвижным фосфором на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Омского Прииртышья. Для решения поставленной цели был заложен трехфакторный полевой опыт (2×4×2). Фактор А — фосфорный фон: 1) без применения удобрений; 2) внесение P₃₀, д.в./га; фактор В — основное внесение аммиачной селитры в возрастающих дозах: 0, N₃₀, N₄₅, N₆₀; фактор С — некорневая подкормка ПЛАВом (смесь аммиачной селитры и карбамида) в дозе N₃₀: 1) однократная в фазу колошения; 2) двукратная в фазы колошения и молочной спелости. Установлено, что наиболее эффективно основное внесение азотно-фосфорных удобрений в дозах N₃₀₋₄₅P₃₀, урожайность в этих вариантах возросла на 40...48 % в сравнении с неудобренным фоном за счет увеличения массы тысячи зерен (r = 0,40...0,42), продуктивной кустистости (r = 0,83). Агрономическая окупаемость 1 кг д.в./га внесенных удобрений в этих вариантах составила 21,5 и 19,9 кг зерна и 7,5 и 6,1 кг прибавкой в сборе белка. Применение поздних некорневых азотных подкормок независимо от их кратности

© Воронкова Н.А., Цыганова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А., Пахотина И.В., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

не повлияло на повышение урожайности и качества зерна пшеницы. Таким образом, дробное внесение азотных удобрений в годы с недостаточным увлажнением (ГТК 0,6–0,7) нецелесообразно.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, подвижный фосфор, *Triticum aestivum* L., дробное внесение, подкормка, урожайность, качество зерна

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Благодарности. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (тема № FNUN-2022–0015).

История статьи: поступила в редакцию 29 мая 2023 г., принята к публикации 26 декабря 2023 г.


Для цитирования: Воронкова Н.А., Цыганова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А., Пахотина И.В. Применение азотных удобрений под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве в Омском Прииртышье // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 61–75. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-61-75

Application of nitrogen fertilizers to spring wheat on meadow-chernozem soil in the Omsk Irtysh region

Natalya A. Voronkova , Nadezhda A. Tsyganova ,

Natalya F. Balabanova , Victoria A. Volkova  , Irina V. Pakhotina 

Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russian Federation

 volkovava1989@yandex.ru

Abstract. The effectiveness of fractional application of nitrogen fertilizers in cultivation of spring common wheat was studied in the conditions of the Omsk Irtysh region on meadow-chernozem medium-sized medium-humus heavy loamy soil. The research object was spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. 'Melodiya'. The purpose of the research was to establish the effectiveness of fractional application of nitrogen fertilizers depending on the level of labile phosphorus in meadow-chernozem soil on yield and grain quality of spring common wheat in the conditions of the Omsk Irtysh region. The field experiment had three factors (2×4×2): Factor A — phosphorus background: 1. No fertilizers; 2. Application of P₃₀ a.i./ha; factor B — main application of ammonium nitrate in increasing doses: 0, N₃₀, N₄₅, N₆₀; factor C — foliar feeding with ammonium nitrate and carbamide at a dose of N₃₀: 1. Once in heading stage; 2. Twice in heading stage and milky ripeness. It was found that the most effective was main application of nitrogen-phosphorus fertilizers in doses of N₃₀₋₄₅P₃₀; crop productivity in these variants increases by 40...48 % in comparison with the nonfertilized variants due to the gain in 1000-seed weight (r = 0.40...0.42), productive stooling (r = 0.83). The agronomic profitability of one kg of a.i./ha applied fertilizers in these variants was 21.5 and 19.9 kg of grain with 7.5 and 6.1 kg increase in protein content, respectively. Late foliar sprayings, regardless of their number, did not increase crop productivity and quality of wheat grain. Thus, fractional application of nitrogen fertilizers in years with insufficient moisture levels (hydrothermal index 0.6–0.7) is not effective.

Keywords: spring common wheat, labile phosphorus, *Triticum aestivum* L., fractional application, top dressing, yield, grain quality

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Funding. Acknowledgements. The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state order of Omsk Agricultural Research Center (No. FNUN-2022–0015).

Article history: Received: 29 May 2023. Accepted: 26 December 2023.

For citation: Voronkova NA, Tsyganova NA, Balabanova NF, Volkova VA, Pakhotina IV. Application of nitrogen fertilizers to spring wheat on meadow-chernozem soil in the Omsk Irtysh region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):61–75. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-61-75

Введение

Яровая пшеница — важнейшая зерновая культура, обеспечивающая около 23 % мирового производства зерна. В настоящее время в структуре возделываемых в РФ культур она занимает более 72 % посевной площади зерновых и зернобобовых культур. Сибирская пшеница, благодаря почвенно-климатическим особенностям региона, а также в силу сортовой специфики, отличается высокими технологическими свойствами. В то же время средняя урожайность пшеницы в регионе находится на уровне 1,50...1,80 т/га и менее, что связано с засушливостью климата в последние годы, нарушением зональных агротехнологий, ограниченным применением удобрений и другими факторами [1]. Одним из ведущих приемов, обеспечивающих высокую продуктивность агроценозов и получение высококачественной продукции, является применение удобрений [2–4].

Многочисленными полевыми исследованиями с удобрениями [4–6] установлено, что урожайность и качество зерна сельскохозяйственных культур, в т. ч. и пшеницы, обеспечивается только при таком режиме минерального питания, при котором достигается сбалансированное соотношение азота, фосфора и калия. Агрохимическое обследование Омской области в последнее десятилетие отмечает низкую и очень низкую обеспеченность пахотных почв доступным азотом [7], в особенности по непаровым предшественникам, что при неравномерной обеспеченности пашни фосфором и калием требует, в первую очередь, регулирования азотного питания. Так, в фазу кущения потребление азота яровой пшеницей составляет 20 %, к периоду выхода в трубку поглощается до 45, к колошению — до 98 % от общего количества [8]. Дефицит азота невозможно компенсировать применением его в последующие фазы. Одним из источников реализации потребности в азоте является внесение азотсодержащих удобрений. На применение азотных удобрений растения пшеницы реагирует по-разному и в этой связи важно выявить их эффективность, особенно в критические фазы, когда отзывчивость культуры на удобрение достаточно высока [9].

Изучению реакции различных культур и сортов сельскохозяйственных культур на сроки, нормы применения азотных удобрений посвящены исследования сибирских ученых [9–12]. Актуальными становятся вопросы по форме применения этих удобрений и дифференциации по фазам развития растений. На черноземных почвах Центрально-Черноземной зоны установлена высокая эффективность жидкого карбамидно-аммиачного удобрения в дозе N_{30} в фазу кущения яровой мягкой пшеницы в сочетании с основным применением азотных удобрений [13]. Максимальная урожайность яровой пшеницы получена учеными Омского аграрного университета при совместном припосевном внесении и азотной подкормке в течение вегетации в суммарной дозе 60 кг/га [12]. В исследованиях ученых Са-

марского государственного аграрного университета установлена более высокая эффективность жидких минеральных удобрений в сравнении с твердыми при их дробном внесении перед посевом и по вегетации, что увеличивало урожайность твердой пшеницы на 30 % [14]. В лабораторных условиях В.Е. Вертебным и соавторами доказано положительное действие жидкого азотного удобрения (ПЛАВ) на развитие растений на ранних стадиях роста [15].

Известно, что недостаток азота, как правило, ограничивает использование фосфора и, соответственно, снижает эффективность фосфорных удобрений [16]. Оптимальное соотношение между азотом и фосфором улучшает усвоение и реутилизацию фосфора растениями. Кроме того, под влиянием аммиака и нитратов возрастает подвижность и доступность фосфатов почвы и из удобрений [17]. Зачастую низкое содержание фосфора и нарушение баланса основных элементов в питании растительного организма приводит не только к существенному недобору урожая, но и к ухудшению его качества [17].

Цель исследования — установить эффективность дробного внесения азотных удобрений в зависимости от уровня обеспеченности лугово-черноземной почвы подвижным фосфором на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Омского Прииртышья.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2020–2021 гг. в длительном стационарном опыте лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский АНЦ» в зернопаровом севообороте с выводным полем люцерны (пар чистый — озимая пшеница — яровая пшеница — яровая пшеница — овес). Предшественник яровой мягкой пшеницы — озимая пшеница. Почва опытного полигона — лугово-черноземная среднемошная тяжелосуглинистая со средним содержанием гумуса (6,7 % по Тюрину), нейтральной реакцией почвенного раствора (рН 6,75...6,82). Содержание нитратного азота в почве перед посевом яровой мягкой пшеницы независимо от фона было низким — 6,6...7,7 мг/кг почвы, к уборке культуры на фоне P_0 — 3,5, на фоне P_{30} — 6,9. Обеспеченность подвижным фосфором (по Чирикову) на фоне без удобрений была повышенной — 111, на удобренном фоне высокой — 189, к уборке культуры — 117 и 163 мг/кг соответственно. Содержание обменного калия в почве (по Чирикову) не зависимо от фона было очень высоким (211...290 мг/кг).

Объект исследования — яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Мелодия, созданного в ФГБНУ Омский аграрный научный центр (Омская 19 (Ae. *Cylindrica*) × Лютесценс 6747) и характеризующегося средней урожайностью 25,1 ц/га с массой 1000 зерен до 38,0 г. Сорт среднеспелый устойчив к осыпанию и полеганию, засухе и поражению пыльной головней. По мукомольно-хлебопекарным качествам сорт отвечает требованиям, предъявляемым к ценной пшенице [18].

Опыт трехфакторный (2×4×2). Фактор А — фосфорный фон: 1) без применения удобрений (P_0); 2) внесение P_{30} кг д.в./га (P_{30}); фактор В — основное внесение аммиачной селитры: 1) 0 (контроль); 2) N_{30} ; 3) N_{45} ; 4) N_{60} ; фактор С — некорневая

подкормка (НП) раствором азотного удобрения (ПЛАВ) в дозе N_{30} : 1) НП в фазу колошения (НП₁); 2) НП в фазу колошения и в фазу молочной спелости (НП₂). Расход рабочего раствора 200 л/га. ПЛАВ — раствор 22 кг аммиачной селитры и 45 кг карбамида в физическом весе, разведенные в 200 л воды. Азот в ПЛАВе представлен в трех формах: аммиачной, нитратной и амидной.

Погодные условия в годы исследований характеризовались значительным недобором осадков и повышенными в сравнении с многолетними данными средне-суточными температурами. В 2020 г. в среднем за период вегетации пшеницы ГТК составил 0,60; в 2021 г. — 0,70, что свидетельствует о сложившихся засушливых условиях. Посев проводили с использованием сеялки СЗС-3,6 с нормой высева 5 млн всхожих семян на 1 га с последующим прикатыванием катками ЗККШ-6. Аммофос вносили локально до посева. По мере появления сорняков проводилась фоновая гербицидная обработка. Урожайность учитывали путем поделяночного обмолота с пересчетом на стандартную влажность 14 %.

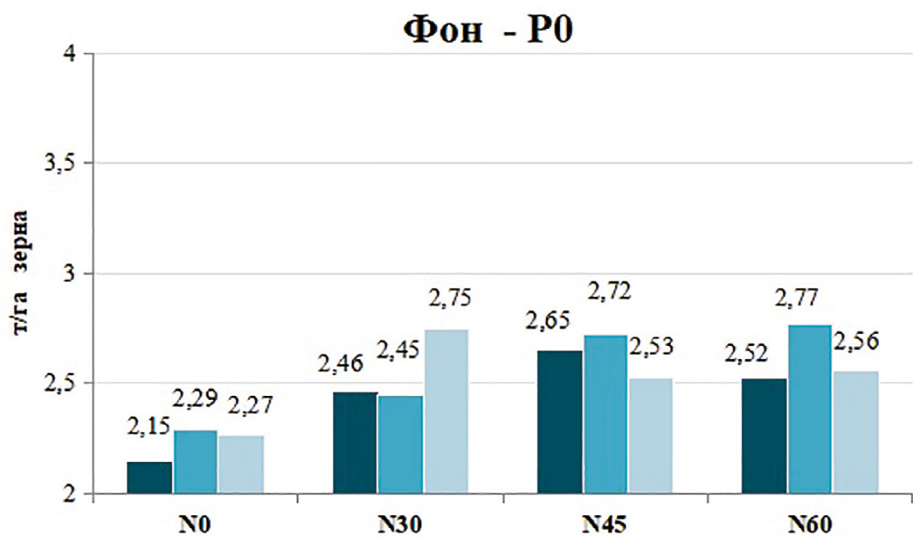
Определение содержания основных элементов минерального питания в почве, а также основных показателей качества зерна, структурный анализ урожая проводили по общепринятым методикам.

Статистическая обработка данных проведена методами математической статистики с помощью программного обеспечения Excel и Statist.

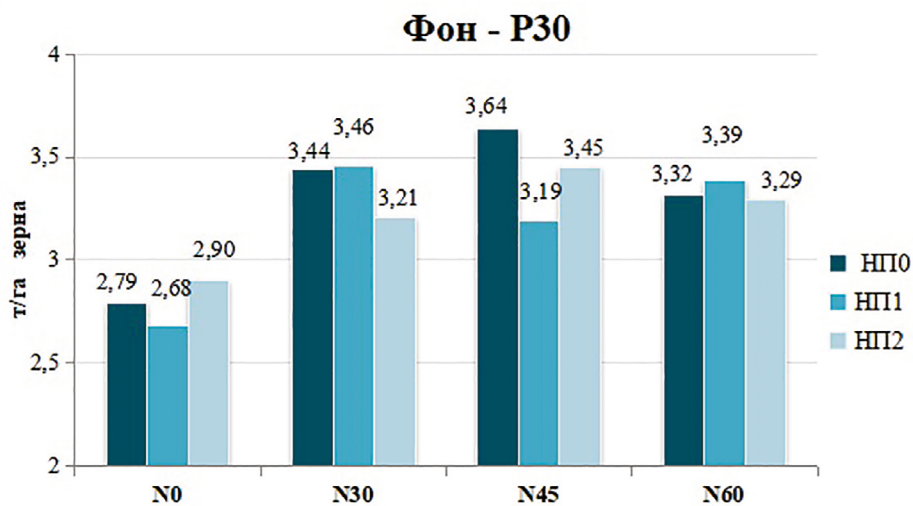
Результаты исследования и обсуждение

Оценка эффективности дробного внесения удобрений совпала с неблагоприятными погодными условиями (почвенная и воздушная засуха) в вегетационный период яровой пшеницы. В наших исследованиях урожайность пшеницы изменялась в широком диапазоне от 1,99 до 4,13 т/га зерна в зависимости от изучаемых факторов. В варианте без удобрений (контроль) урожайность пшеницы в среднем за годы эксперимента составила 2,15 т/га зерна (рис. 1).

Анализ урожайных данных показал, что преимущество дробного применения азотных удобрений в годы исследований не установлено — в варианте внесения N_{30} в виде подкормки урожайность составила 2,29 т/га, в то время как основное внесение N_{30} позволило получить 2,46 т/га зерна, дробное внесение N_{60} по вегетации также не обеспечило существенного увеличения урожайности (2,27 т/га). При этом применение той же дозы N_{60} в основное внесение, обеспечило уже 2,52 т/га зерна. Учитывая рекомендации по разработке системы удобрений на черноземных почвах [5], использование фосфорного удобрения в дозе P_{30} обеспечило прибавку 0,64 т/га зерна в сравнении с неудобренным фоном. На фоне основного внесения азотных удобрений $N_{30-60}P_{30}$ в среднем получена прибавка 0,92 т/га зерна. Максимальные прибавки в опыте получены на фоне P_{30} при основном внесении азотных удобрений в вариантах N_{30} и N_{45} — 1,29...1,49 т/га зерна соответственно. На данном фоне преимущества дробного применения азотных удобрений также не установлено. Так, в варианте $N_{30}P_{30} + НП_1$ получено 3,46 т/га, а при проведении двукратной подкормки НП₂ урожайность культуры не увеличивалась (3,21 т/га).



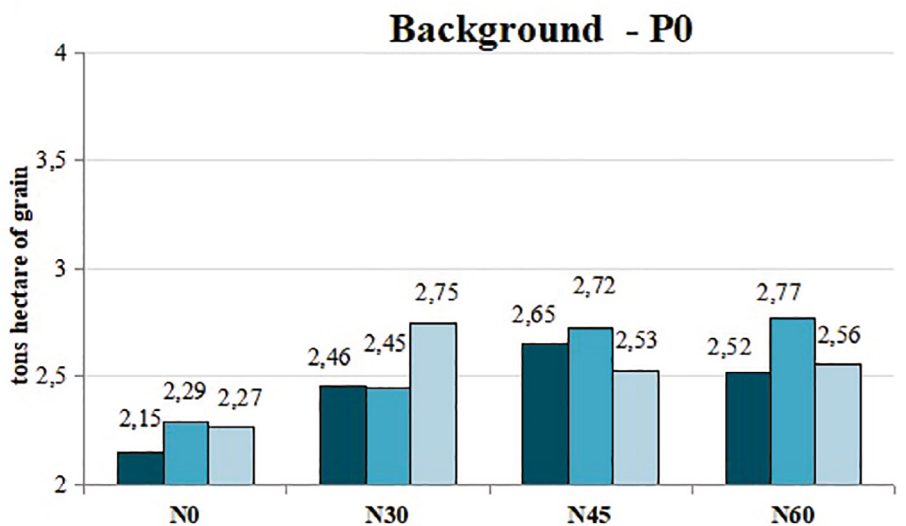
а



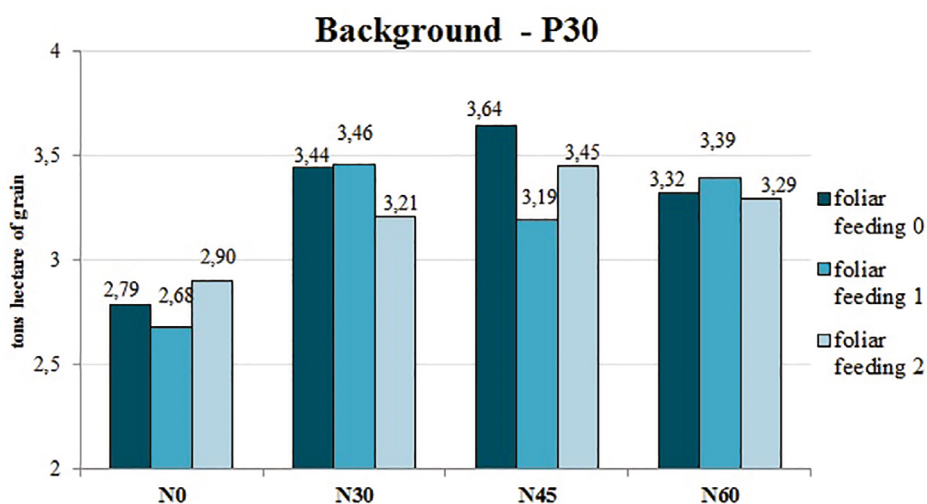
б

Рис. 1. Влияние внесения удобрений на урожайность яровой пшеницы в зависимости от фосфорного фона: а – фон P₀; б – фон P₃₀ (НСР₀₅ А – 0,23; В – 0,33; С – Fφ < Fτ; ABC – 0,80)

Источник: сделано авторами



a



б

Fig. 1. The effect of fertilization on yield of spring wheat depending on the phosphorus background:
 a – Background P₀; б – Background P₃₀
 (LSD₀₅ A – 0.23; B – 0.33; C – Ff < Ft; ABC – 0.80)

Source: created by the authors

При внесении азотных удобрений в дозах $N_{30-45-60}$ на фоне P_0 в среднем по фактору прибавка составила 0,39 т/га зерна, а на фоне P_{30} — 0,68 т/га, то есть эффективность удобрений возросла на 74 %. Максимальная прибавка от основного внесения азотных удобрений получена в варианте N_{45} — 0,50 и 0,85 т/га зерна соответственно на фонах P_0 и P_{30} . Следует отметить, что при увеличении дозы свыше 45 кг д.в. /га наблюдалась тенденция снижения отзывчивости культуры на удобрения на обоих фонах (рис. 2).

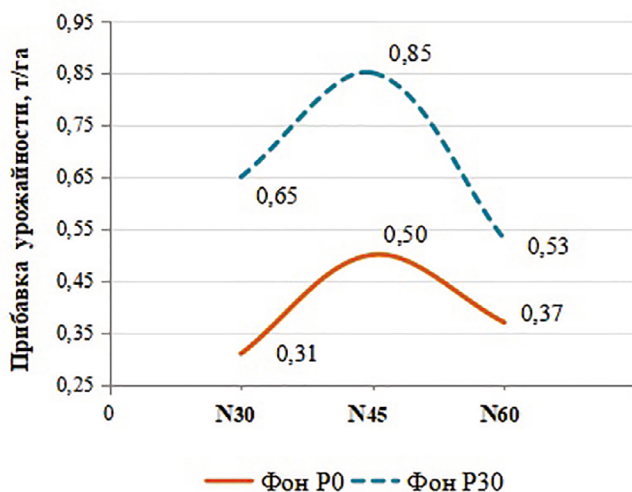


Рис. 2. Влияние основного внесения азотных удобрений на урожайность яровой пшеницы
Источник: сделано авторами

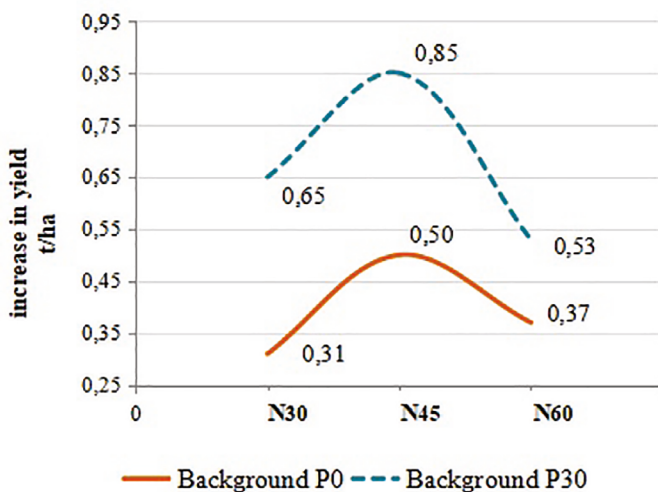


Fig. 2. Effect of the main application of nitrogen fertilizers on yield of spring wheat
Source: created by the authors

Статистическая обработка массива данных показала, что влияние фактора некорневых подкормок на урожайность пшеницы было несущественным ($F_{\phi} < F_{\tau}$). Наибольшая прибавка от некорневых подкормок получена только на неудобренном фоне в вариантах однократной подкормки $N_{60}+НП_1$ — 0,25 т/га и двукратной подкормки $N_{30}+НП_2$ — 0,29 т/га. Это не более 12 % в сравнении с вариантами без подкормки.

Таким образом, мы установили, что при возделывании яровой пшеницы по непаровому предшественнику наиболее результативно применение азотно-фосфорных удобрений в дозах $N_{30-45}P_{30}$. Эффективность поздних азотных подкормок в годы с недостаточным увлажнением в течение вегетационного периода (ГТК 0,6...0,7) несущественна.

Статистическая обработка данных по выявлению доли вклада влияния изучаемых факторов на формирование урожайности пшеницы приведена на рис. 3.

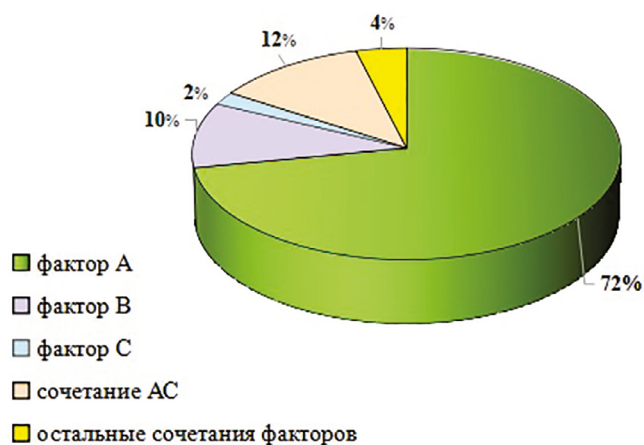


Рис. 3. Доля влияния изучаемых в опыте факторов на урожайность яровой пшеницы

Источник: сделано авторами

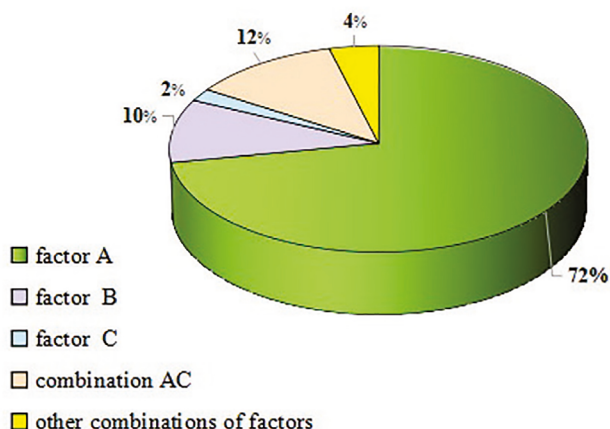


Fig. 3. The share of influence of the studied factors on yield of spring wheat

Source: created by the authors

Фактор внесения фосфорных удобрений в опыте определил итоговую продуктивность культуры, влияние основного внесения азотных удобрений, а также сочетание факторов внесения фосфорных удобрений и применения подкормок было равнозначным: 10...12 %. Вклад фактора подкормок, а также различные сочетания других факторов были незначительны: 2...4 %.

Структурный анализ урожая — очень важная часть исследовательской работы [19], позволяющий выявить наиболее модификационные элементы структуры урожая в зависимости от изучаемых факторов: масса тысячи семян, продуктивная кустистость, длина колоса. Установлено, что в вариантах максимальной урожайности N_{30} и N_{45} на фоне P_{30} связь массы тысячи семян с продуктивностью культуры была средняя ($r = 0,40; 0,42$). В то же время, в вариантах N_{30} и $НП_2$ на фоне P_0 отмечена сильная степень взаимосвязи этого показателя с урожайностью ($r = 0,86; 0,95$). При установлении зависимости урожайности от продуктивной кустистости в вариантах N_{45} и $НП_1$ на фоне P_0 получены коэффициенты корреляции 0,62 и 0,70. На фоне P_{30} в варианте N_{30} связь между ними была сильная ($r = 0,83$). Применение азотных подкормок несущественно изменяло длину колоса в варианте $НП_1$ на фоне P_0 ($r = 0,49$).

Результатами многочисленных исследований подтверждено, что существенным фактором увеличения качества зерна пшеницы является применение на поздних стадиях онтогенеза азотных удобрений [20, 21]. Важнейший показатель оценки качества зерна, его технологической и пищевой ценности — содержание белка в зерне. В нашем опыте за годы исследований оно изменялось от 15,8 до 17,4 %. При этом было установлено, что долевое участие изучаемых факторов в синтезе белка распределялось таким образом: фактор А — 2 %, В — 64 %, С — 18 % и АВС — 16 %. Корреляционный анализ зависимости содержания белка от внесенных доз удобрений описывается уравнением прямой зависимости $y = 0,009x + 16,09$ ($r = 0,64$). Этот расчет подтверждает значимость азотных удобрений в изменении белковости зерна. Нами выявлено, что действие азотных удобрений в возрастающих дозах на содержание белка проявлялось только на фоне P_0 (табл. 1).

Таблица 1

Показатели качества зерна яровой пшеницы

Фактор	Вариант	Содержание белка, %	Натура зерна, г/л	Стекловидность, %	Содержание клейковины, %
Фактор В	N_0	15,9*/16,2**	732/737	53/53	32/31
	N_{30}	16,8/16,4	731/739	53/53	32/31
	N_{45}	17,0/16,7	729/732	54/55	34/34
	N_{60}	16,7/16,7	736/736	54/55	33/34
Фактор С	$НП_0$	16,4/16,4	735/734	53/54	32/33
	$НП_1$	16,5/16,6	731/734	54/54	32/33
	$НП_2$	16,9/16,7	730/741	54/54	35/33
Среднее по факт. А	P_0	16,6	732	54	33
	P_{30}	16,6	736	54	33
$НСР_{05} A$ В С	$F\phi < F\tau$ 0,5 $F\phi < F\tau$	$F\phi < F\tau$	$F\phi < F\tau$	$F\phi < F\tau$	$F\phi < F\tau$

Примечание. * — по фону P_0 ; ** — по фону P_{30} .

Spring wheat grain quality indicators

Factor	Variant	Protein content, %	Grain size, g/l	Glassiness, %	Gluten content, %
Factor B	N ₀	15.9*/16.2**	732/737	53/53	32/31
	N ₃₀	16.8/16.4	731/739	53/53	32/31
	N ₄₅	17.0/16.7	729/732	54/55	34/34
	N ₆₀	16.7/16.7	736/736	54/55	33/34
Factor C	Foliar feeding 0	16.4/16.4	735/734	53/54	32/33
	Foliar feeding 1	16.5/16.6	731/734	54/54	32/33
	Foliar feeding 2	16.9/16.7	730/741	54/54	35/33
Average by factor A	P ₀	16.6	732	54	33
	P ₃₀	16.6	736	54	33
LSD ₀₅ A B C	Ff < Ft 0,5 Ff < Ft	Ff < Ft	Ff < Ft	Ff < Ft	Ff < Ft

Note: * – by background P₀; ** – by background P₃₀.

В среднем по фактору В содержание белка возросло на 0,8...1,1 % абсолютной величины. Максимальный прирост белка в зерне пшеницы наблюдался в варианте N₄₅ на фоне P₀. Концентрация белка в зерне в вариантах дробного внесения азотных удобрений на фоне P₃₀ изменялась в пределах наименьшей существенной разницы.

Важнейшим показателем качества зерна пшеницы является содержание клейковины, которое предопределяет хлебопекарное достоинство зерна и полученной из него муки. Только при количестве клейковины в зерне не менее 25 % можно получить хлебопекарную муку стандартного качества. В нашем опыте получено зерно с показателями натуре 729...741 г/л, стекловидности 53...55 %, содержания клейковины 31...35 % независимо от вариантов опыта.

В качестве итогового анализа мы сделали расчет агрономической окупаемости 1 кг д.в. внесенных удобрений полученными прибавками урожайности и сбора белка (табл. 2).

Таблица 2

Агрономическая окупаемость, кг/кг

Вариант	НП ₀	НП ₁	НП ₂
Фон P ₀			
N ₀	0/0	4,7/0,8	2,0/0,4
N ₃₀	10,3/2,4	5,0/1,1	6,7/1,5
N ₄₅	11,1/2,4	7,6/1,6	3,6/1,0
N ₆₀	6,2/1,3	6,9/1,4	3,4/1,0
Фон P ₃₀			
N ₀	21,3/3,7	8,8/1,6	8,3/1,4
N ₃₀	21,5/7,5	14,6/2,6	8,8/1,6
N ₄₅	19,9/6,1	9,9/1,9	9,6/1,9
N ₆₀	13,0/3,4	10,3/1,9	7,6/1,5

Примечание. Окупаемость 1 кг д.в. прибавкой: * – урожая; ** – белка.

Agronomic payback, kg/kg

Variant	Foliar feeding 0	Foliar feeding 1	Foliar feeding 2
Background P ₀			
N ₀	0/0	4.7/0.8	2.0/0.4
N ₃₀	10.3/2.4	5.0/1.1	6.7/1.5
N ₄₅	11.1/2.4	7.6/1.6	3.6/1.0
N ₆₀	6.2/1.3	6.9/1.4	3.4/1.0
Background P ₃₀			
N ₀	21.3/3.7	8.8/1.6	8.3/1.4
N ₃₀	21.5/7.5	14.6/2.6	8.8/1.6
N ₄₅	19.9/6.1	9.9/1.9	9.6/1.9
N ₆₀	13.0/3.4	10.3/1.9	7.6/1.5

Note: payback of 1 kg of the active substance by adding: *— crop; **— protein.

Установлено, что на неудобренном фоне наибольшая окупаемость удобрений была в вариантах основного внесения азотного удобрения в дозах N₃₀ и N₄₅. Максимальная окупаемость получена при основном внесении азотных удобрений на фоне P₃₀: в вариантах N₃₀ и N₄₅ окупаемость составила 21,5 и 19,9 кг зерна с гектара; 7,5 и 6,1 кг белка с гектара соответственно.

Заключение

Таким образом, было установлено, что эффективность минеральных удобрений в условиях рискованного земледелия в большей степени зависит от погодных условий, складывающихся в течение вегетационного периода. Эффективность дробного внесения азотных удобрений в годы эксперимента при ГТК 0,6...0,7 не установлена, она не зависела от кратности обработок и не обеспечила существенных прибавок в урожайности и улучшения качества зерна. Максимальная прибавка урожайности получена в вариантах основного внесения N₃₀₋₄₅P₃₀ — 0,98...1,18 т/га зерна (40...48 %) за счет увеличения массы тысячи зерен ($r = 0,40...0,42$), продуктивной кустистости ($r = 0,83$). Агрономическая окупаемость одного кг д.в./га внесенных удобрений в этих вариантах составила 21,5 и 19,9 кг зерна с гектара; 7,5 и 6,1 кг белка с гектара.

Список литературы

1. Юшкевич Л.В., Пахотина И.В., Щитов А.Г. Эффективность использования агротехнологических приемов возделывания мягкой яровой пшеницы в повышении продуктивности и качества зерна в Омской области // Вестник КрасГАУ. 2021. № 7(172). С. 26–34. doi: 10.36718/1819-4036-2021-7-26-34
2. Измалова Д.С., Изотов А.М. Влияние азотных удобрений и органоминеральных препаратов на урожайность и качество зерна твердой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 113–123. doi: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-113-123

3. Балабанова Н.Ф., Воронкова Н.А., Дороненко В.Д., Волкова В.А., Цыганова Н.А. Содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной почве при длительном применении минеральных удобрений // *Земледелие*. 2020. № 2. С. 7–9. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10202
4. Хаирова Н.И., Ваулина Г.И., Гурина Р.Р. Экономическая оценка эффективности совместного применения азотных удобрений и химических средств защиты растений в посевах пивоваренного ячменя // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Агрономия и животноводство. 2015. № 4. С. 52–56.
5. Храпцов И.Ф., Бойко В.С., Юшкевич Л.В. и др. Система адаптивного земледелия Омской области. Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2020. 522 с.
6. Бойко В.С., Тимохин А.Ю., Якименко В.Н. Изменение фосфатного состояния почв лесостепи Западной Сибири при систематическом применении удобрений // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 1. С. 29–33. doi: 10.31857/S2500262721010075
7. Красницкий В.М., Бобренко И.А., Шмидт А.Г., Матвейчик О.А. Агротехническая диагностика потребности полевых культур в азотных удобрениях // *Плодородие*. 2020. № 6 (117). С. 40–44. doi: 10.25680/819948603.2020.117.12
8. Малкандуев Х.А., Шамурзаев Р.И., Малкандуева А.Х. Потребление основных элементов питания сортами озимой пшеницы // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2022. № 2 (106). С. 107–117. doi: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-107-117
9. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: Рос. акад. с.-х. наук, Сиб. отд-ние, Новосиб. гос. аграр. ун-т, 2013. 789 с.
10. Гамзиков Г.П. Прогноз обеспеченности почв азотом и потребности полевых культур в азотных удобрениях // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2015. № 3(9). С. 11–20.
11. Галева Л.П. Азотный режим черноземов выщелоченных Новосибирского Приобья при внесении минеральных удобрений в зерновом севообороте // *Вестник НГАУ*. 2020. № 3(56). С. 18–28. doi: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-18-28
12. Гоман Н.В., Бобренко И.А., Попова В.И., Болдышева Е.П., Кормин В.П. Влияние различных способов и форм применения азотных удобрений на урожайность зерновых культур // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2022. № 3(47). С. 15–23. doi: 10.48136/2222-0364_2022_3_15
13. Лазарев В.И., Лазарева Р.И., Иванова Е.В., Пироженко В.В. Эффективность использования карбамидно-аммиачного удобрения (КАС-32) на яровой пшенице в Курской области // *Плодородие*. 2019. № 4. С. 8–11. doi: 10.25680/819948603.2019.109.03
14. Милюткин В.А., Сысоев В.Н., Макушин А.Н., Длужевский Н.Г. Комплексное обеспечение инновационных технологий производства сельскохозяйственных культур с применением жидких азотных удобрений КАС // *Вестник ИрГСХА*. 2022. № 1(108). С. 19–31.
15. Вертебный В.Е., Гурова Т.А., Дубовицкая В.И., Конончук П.Ю. Изменение состояния яровой пшеницы при применении некорневых азотных подкормок и обработки стимуляторами роста // *Экология и Строительство*. 2019. № 4. С. 53–61. doi: 10.35688/2413-8452-2019-04-006
16. Кореньков Д.А., Синягин И.И., Петербургский А.В., Авдонин Н.С. Удобрения, их свойства и способы использования. М.: Колос, 1982. 415 с.
17. Воронкова Н.А. Влияние длительного применения удобрений в севообороте на фосфатный режим черноземов выщелоченных Западной Сибири // *Агрохимия*. 2010. № 12. С. 10–17.
18. Сорта сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Омский АНЦ». Омск: Изд-во ИП Макшеевой, 2022. 148 с.
19. Цыганова Н.А., Воронкова Н.А., Волкова В.А., Балабанова Н.Ф. Влияние органических кислот на формирование урожая яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири // *Инновационные технологии в земледелии и растениеводстве: сб. науч. статей, посвящ. 70-летию д-ра с.-х. наук Л.В. Юшкевича*. Омск, 2022. С. 87–93.
20. Булавин Л.А., Гвоздов А.П., Долгова Е.Л., Белановская М.А., Гедрович С.В., Ханкевич В.А., Кранцевич В.Д. Влияние сроков применения азотных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы // *Сельское хозяйство — проблемы и перспективы: сб. науч. трудов / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. Гродно: ГГАУ, 2017. Т. 38: Агрономия*. С. 32–38.
21. Лапушкин В.М. Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором // *Плодородие*. 2019. № 3. С. 19–21. doi: 10.25680/819948603.2019.108.06

References

1. Yushkevich LV, Pakhotina IV, Shchitov AG. Agrotechnological methods of soft spring wheat cultivation use efficiency to increase productivity and grain quality in the Omsk region. *Bulletin of KSAU*. 2021;(7):26–34. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2021-7-26-34
2. Izmailova DS, Izotov AM. Influence of nitrogen fertilizers and organic mineral preparations on the yield and grain quality of winter durum wheat. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021;(1):113–123. (In Russ.). doi: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-113-123
3. Balabanova NF, Voronkova NA, Doronenko VD, Volkova VA, Tsyganova NA. Content of labile organic matter in meadow-chernozem soil at prolonged application of fertilizers. *Zemledelie*. 2020;(2):7–9. (In Russ.). doi: 10.24411/0044-3913-2020-10202
4. Hairova NI, Vaulina GI, Gurina RR. Economic evaluation of combined application of nitrogen fertilizers and crop protection chemicals in crop malting barley. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2015;(4):52–56. (In Russ.).
5. Khramtsov IF, Boyko VS, Yushkevich LV, Voronkova NA, Timokhin AY, Balabanova NF, et al. *Sistema adaptivnogo zemledeliya Omskoi oblasti* [The system of adaptive agriculture of the Omsk region]. Omsk; 2020. (In Russ.).
6. Boiko VS, Timokhin AY, Yakimenko VN. Change in the phosphate state of soils of the forest steppe of Western Siberia at the systematic application of fertilizers. *Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka*. 2021;(1):29–33. (In Russ.). doi: 10.31857/S2500262721010075
7. Krasnitsky VM, Bobrenko IA, Schmidt AG, Matveychik OA. Agrotechnical diagnostics of the need of field crops in nitrogen fertilizers. *Plodorodie*. 2020;(6):40–44. (In Russ.). doi: 10.25680/S19948603.2020.117.12
8. Malkanduev KA, Shamurzaev RI, Malkandueva AK. Consumption of basic nutrients by winter wheat varieties. *Izvestiya Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022;(2):107–117. (In Russ.). doi: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-107-117
9. Gamzikov GP. *Agrokhimiya azota v agrotsenozakh* [Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses]. Novosibirsk; 2013. (In Russ.).
10. Gamzikov GP. The forecast of the soils and nitrogen requirements of field crops in the nitrogen fertilizer. *Innovations and food safety*. 2015;(3):11–20. (In Russ.).
11. Galeeva LP. Nitrogen regime of leached chernozems of the Novosibirsk Ob region when applying mineral fertilizers in the grain crop rotation. *Bulletin of NSAU*. 2020;(3):18–28. (In Russ.). doi: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-18-28
12. Goman NV, Bobrenko IA, Popova VI, Boldysheva EP, Kormin VP. The influence of various methods and forms of application of nitrogen fertilizers on the yield of grain crops. *Vestnik of Omsk SAU*. 2022;(3):15–23. (In Russ.). doi: 10.48136/2222-0364_2022_3_15
13. Lazarev VI, Lazareva RI, Ivanova EV, Pirozhenko VV. The efficiency of urea-ammonia (CAS-32) fertilizer on spring wheat under the conditions of chernozem in Kursk region. *Plodorodie*. 2019;(4):8–11. (In Russ.). doi: 10.25680/S19948603.2019.109.03
14. Milyutkin VA, Sysyoev VN, Makushin AN, Dluzhevsky NG. Integrated provision of innovative technologies for the production of agricultural crops using liquid nitrogen fertilizers CAM. *Vestnik IrGSHA*. 2022;(1):19–31. (In Russ.). doi: 10.51215/1999-3765-2022-108-19-31
15. Vertebnyi VE, Gurova TA, Dubovitskaia VI, Kononchuk PY. Changes in spring wheat characteristics under effect of foliar nitrogen fertilization and growth stimulants. *Ecology and Construction*. 2019;(4):53–61. (In Russ.). doi: 10.35688/2413-8452-2019-04-006
16. Korenkov DA, Sinyagin II, Peterburgskiy AV, Avdonin NS. *Udobreniya, ikh svoystva i sposoby ispol'zovaniya* [Fertilizers, their properties and methods of use]. Moscow: Kolos publ.; 1982. (In Russ.).
17. Voronkova NA. Effect of the long-term application of mineral and organic fertilizers to crop rotation on the phosphate status of leached chernozems in Western Siberia. *Agrokhimiya*. 2010;(12):10–17. (In Russ.).
18. Chekusova MS. (ed.) *Sorta sel'skokhoziaistvennykh kul'tur seleksii FGBNU «Omskii ANTs»* [Varieties of agricultural crops of the selection of «FGBNU Omsk ANC»]. Omsk; 2022. (In Russ.).
19. Tsyganova NA, Voronkova NA, Volkova VA, Balabanova NF. The influence of organic acids on the formation of the spring soft wheat crop in the conditions of the forest-steppe of Western Siberia. In: *Innovative technologies in agriculture and crop production: conference proceedings*. Omsk; 2022. p.87–93. (In Russ.).
20. Bulavin LA, Gvozдов AP, Dolgova EL, Belanovskaya MA, Gedrovich SV, Khankevich VA, Krantsevich VD. Effect of nitrogen fertilizers on yield and quality of spring wheat grain. In: *Agriculture — problems and prospects: conference proceedings. Vol. 38: Agronomy*. Grodno; 2017. p.32–38. (In Russ.).

21. Lapushkin VM, Nesterenko VA. The formation of yield and grain quality of spring wheat depending on doses of nitrogen fertilizers and supply of soil phosphorus. *Plodородie*. 2019;(3):19–21. (In Russ.). doi: 10.25680/S19948603.2019.108.06

Об авторах:

Воронкова Наталья Артемовна — доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории агрохимии, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: voronkova.67@bk.ru

ORCID: 0000-0003-4797-9765 SPIN: 7745–7881

Цыганова Надежда Александровна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: duxa21@mail.ru

ORCID: 0009-0005-6365-7303 SPIN: 5142–3159

Балабанова Наталья Федоровна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: natascha.balabanowa@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1445-2203 SPIN: 1213–6542

Волкова Виктория Андреевна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: volkovava1989@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-3798-1116 SPIN: 7243–4843

Пахотина Ирина Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории качества зерна, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: ira.pakhotina.72@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9709-1951 SPIN: 4557–8357

About authors:

Voronkova Natalia Artemovna — Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Agrochemistry, Omsk Agricultural Research Center, 26 Korolev ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: voronkova.67@bk.ru

ORCID 0000–0003–4797–9765 SPIN: 7745–7881

Tsyganova Nadezhda Aleksandrovna — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Agrochemistry, Omsk Agricultural Research Center, 26 Korolev ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: duxa21@mail.ru

ORCID 0009–0005–6365–7303 SPIN: 5142–3159

Balabanova Natalia Fedorovna — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Agrochemistry, Omsk Agrarian Research Center, 26 Korolev ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: natascha.balabanowa@mail.ru

ORCID 0000–0003–1445–2203 SPIN: 1213–6542

Volkova Victoria Andreevna — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Agrochemistry, Omsk Agricultural Research Center, 26 Korolev ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: volkovava1989@yandex.ru

ORCID 0000–0003–3798–1116 SPIN: 7243–4843

Pakhotina Irina Vladimirovna — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Grain Quality, Omsk Agricultural Research Center, 26 Korolev ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: ira.pakhotina.72@mail.ru

ORCID 0000–0002–9709–1951 SPIN: 4557–8357