

Научная статья/Research Article

УДК 631.8:631.4:631.1:631.9(571.6)

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-1-46-56

Наталья Юрьевна Иванова¹✉, Илья Александрович Кубасов²

^{1,2}Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск, Россия

¹ivanovanat76.76@mail.ru

²kia@vniisoi.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ НА ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМОВИДНЫХ ПОЧВАХ

Цель исследований – оценка влияния различных доз и форм удобрений на агрохимические показатели почвы и урожайность яровой пшеницы в условиях длительного севооборота. Исследования осуществлялись в условиях Амурской области на полях длительного стационарного эксперимента на лугово-черноземовидных почвах. Период исследования – 2022–2024 гг. Полевой опыт был заложен в 1962–1964 гг. в 5-польном севообороте с 40 %-м насыщением соей и пшеницей и 20 %-м – однолетними травами. Повторность в опыте трехкратная во времени и в пространстве. Исследования охватили 6 вариантов: 1 – контроль; 2 – доза д.в. P_{30} (в среднем за год на 1 га севооборотной площади); 3 – N_{24} ; 5 – $N_{24}P_{30}K_{24}$; 6 – $N_{42}P_{48}$; 9 – $N_{24}P_{30} + 4,8$ т/га навоза (КРС). Объекты исследования – почва и яровая пшеница. При средней ежегодной нагрузке азотных и фосфорных удобрений ($N_{42}P_{48}$ кг д.в./га севооборотной площади) установлен рост рН_{KCl} в слое почвы 0–20 см на 0,2 ед. pH. Использование фосфорных удобрений увеличило содержание подвижного фосфора в почве в 2–4 раза и обменного калия на 8,5–14 % по сравнению с контролем. Многолетнее применение минеральных удобрений снизило содержание гумуса в почве на 0,02–0,43 %, внесение минерально-органических удобрений способствовало его увеличению на 0,36 %. Максимальная урожайность яровой пшеницы была достигнута при средней ежегодной нагрузке $N_{42}P_{48}$ кг д.в./га севооборота, что обеспечило прибавку урожайности на 2,0–8,9 ц/га выше контроля. Это позволило достичь наивысшей окупаемости данной дозы удобрений полученной прибавкой зерна – 7,1 кг/кг д.в., а также повысить рентабельность выращивания яровой пшеницы до 24,0 % (на 9,4 % выше контроля).

Ключевые слова: севооборот, удобрения, агрохимические свойства почвы, яровая пшеница, урожайность, окупаемость удобрений, рентабельность

Для цитирования: Иванова Н.Ю., Кубасов И.А. Оценка эффективности производства яровой пшеницы при длительном применении удобрений на лугово-черноземовидных почвах // Вестник КрасГАУ. 2026. № 1. С. 46–56. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-1-46-56.

Финансирование: государственное задание FNGE-2024-0013 «Создать экономически эффективные инновационные технологии возделывания и переработки сои на основе рационального использования высокопродуктивных сортов, удобрений, биологических и химических средств защиты растений и современных приемов производства».

Natalia Yuryevna Ivanova¹✉, Ilya Aleksandrovich Kubasov²

^{1,2}All-Russian Research Institute of Soybeans, Blagoveshchensk, Russia

¹ivanovanat76.76@mail.ru

²kia@vniisoi.ru

ASSESSING SPRING WHEAT PRODUCTION EFFICIENCY WITH LONG-TERM FERTILIZER APPLICATION ON MEADOW-CHERNOZEM SOILS

The aim of the study is to evaluate the effect of different doses and forms of fertilizers on the agrochemical parameters of the soil and the yield of spring wheat under long-term crop rotation conditions. The studies were carried out in the Amur Region on the fields of a long-term stationary experiment on meadow-chernozem-like soils. The study period was 2022–2024. The field experiment was laid out in 1962–1964 in a 5-field crop rotation with 40 % saturation with soybeans and wheat and 20 % with annual grasses. The experiment was replicated three times in time and space. The studies covered 6 options: 1 – control; 2 – dose of active ingredient P_{30} (on average per year per 1 ha of crop rotation area); 3 – N_{24} ; 5 – $N_{24}P_{30}K_{24}$; 6 – $N_{42}P_{48}$; 9 – $N_{24}P_{30} + 4.8 \text{ t/ha}$ of manure (cattle). The objects of the study are soil and spring wheat. With an average annual load of nitrogen and phosphorus fertilizers ($N_{42}P_{48} \text{ kg active ingredient/ha}$ of crop rotation area), an increase in pH_{KCl} in the 0–20 cm soil layer by 0.2 pH units was observed. The use of phosphorus fertilizers increased the content of mobile phosphorus in the soil by 2–4 times and exchangeable potassium by 8.5–14 % compared to the control. Long-term use of mineral fertilizers decreased the humus content in the soil by 0.02–0.43 %, while the application of mineral-organic fertilizers contributed to its increase by 0.36 %. The maximum spring wheat yield was achieved with an average annual $N_{42}P_{48} \text{ kg active ingredient/ha}$ crop rotation, resulting in a yield increase of 2.0–8.9 c/ha above the control. This resulted in the highest return on investment for this fertilizer dose in terms of the resulting grain yield increase – 7.1 kg/kg active ingredient – and also increased the profitability of spring wheat cultivation to 24.0 % (9.4 % higher than the control).

Keywords: crop rotation, fertilizers, soil agrochemical properties, spring wheat, yield, fertilizer return on investment, profitability

For citation: Ivanova NY, Kubasov IA. Assessing spring wheat production efficiency with long-term fertilizer application on meadow-chernozem soils. *Bulletin of KSAU*. 2026;(1):46-56. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-1-46-56.

Funding: state assignment FNGE-2024-0013 To Create cost-effective innovative technologies for soybean cultivation and processing based on the rational use of high-yielding varieties, fertilizers, biological and chemical plant protection products, and modern production methods.

Введение. Актуальность исследования влияния удобрений на урожайность яровой пшеницы обусловлена необходимостью повышения производительности сельского хозяйства в регионах с ограниченными ресурсами питательных веществ в почве. В Амурской области выращивание зерновых культур является важным направлением сельскохозяйственного производства, однако потенциал повышения урожайности в южных районах Амурской области ограничен низким содержанием органических веществ (в среднем 3,8 %) и основных питательных элементов в почве, таких как фосфор и калий около (72 и 171 мг/кг соответственно) [1]. Активизации роста и развития растений, приросту урожайности и оптимизации его качественных характеристик способствует применение удобрений, компенсируя недостаток необходимых растениям минеральных питательных элементов в почве. Однако систематическое внесение минеральных и органических удобрений обуславливает обязательность мониторинга их эффектов относительно изменений

агрохимических характеристик почвы и динамики урожайности сельскохозяйственных растений. Оптимальное количество основных питательных веществ для выращиваемых растений должно определяться не только исходя из целей увеличения урожайности и улучшения качества сельскохозяйственной продукции. Важно также стремиться к достижению наилучших экономических показателей производства через получение максимального дохода с каждого гектара посевной площади. [2]. Поэтому исследование эффективности удобрений в многолетнем стационарном опыте на лугово-черноземовидных почвах имеет важное научное и прикладное значение для разработки рекомендаций по повышению доходности аграрного сектора региона.

Цель исследования – оценка влияния различных доз и форм удобрений на агрохимические показатели почвы и урожайность яровой пшеницы в условиях длительного севооборота.

Задачи: изучить агрохимические показатели в почве под влиянием разных доз удобрений;

проводить сравнительный анализ показателей урожайности в зависимости от формы и дозы вносимых удобрений; рассчитать окупаемость и экономическую эффективность выращивания яровой пшеницы в различных схемах внесения удобрений.

Объекты и методы. Объект исследования: почва и яровая пшеница в условиях многолетнего севооборота. Предмет исследования: эффективность различных доз и форм удобрений в изменении агрохимических показателей почвы и формировании урожайности яровой пшеницы. Период исследования – 2022–2024 гг.

Полевые опыты проводили на луговой черноземовидной почве, которая составляет основной фонд пашни Амурской области. Горизонт (A + AB) среднегумусированный (3,0–5,0 %), располагается на глубине до 20–30 сантиметров. По величине обменной кислотности почва характеризуется как среднекислая ($\text{pH}_{\text{СКCl}}$ 4,6–5,0), с повышенной суммой поглощенных оснований (21,4–23,9 мг-экв/100 г почвы), в которой преобладают ионы Ca^{2+} . Отличительной особенностью лугово-черноземовидных почв Амурской области является низкая обеспеченность минеральным азотом и

подвижными соединениями фосфора (соответственно 25–42 и 28–32 мг/кг) при высокой обеспеченности обменным калием (170–240 мг/кг почвы) [3].

Полевое исследование было организовано в период с 1962 по 1964 г. на основе пятипольного севооборота, включавшего по 40 % площадей, занятых культурами сои и пшеницы, а также 20 % участков, отведенных под смесь сои и овса (одноукосные травы) (табл. 1). Анализ научно-исследовательских данных, полученных за период 2022–2024 гг., соответствовал завершению двенадцатой ротации севооборота. Исследовательская работа охватывала шесть различных схем внесения удобрений: контрольный вариант, без удобрений (№ 1), варианты № 2, № 3, № 5, № 6 и № 9. Многократность повторяемости эксперимента была установлена как тройная времененная и пространственная репликация. Размер общей площади каждой делянки составил 180 квадратных метров, из них учетная площадь равнялась 75 м². В опыте изучалась яровая пшеница сорта Арюна. Предшественник – соя.

Таблица 1

Схема длительного стационарного опыта
The scheme of long-term stationary experience

Вариант	Культура / номер поля севооборота / доза удобрений, кг д. в.					Доза за ротацию, кг д. в./га
	Соя+овес 1	Соя 2	Пшеница 3	Соя 4	Пшеница 5	
1 (контроль)	0	0	0	0	0	0
2	P ₃₀	P ₆₀	P ₆₀	0	0	P ₁₅₀
3	N ₆₀	N ₃₀	N ₃₀	0	0	N ₁₂₀
4	N ₆₀ P ₃₀	N ₃₀ P ₆₀	N ₃₀	P ₆₀	0	N ₁₂₀ P ₁₅₀
5	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₃₀	N ₃₀ K ₃₀	P ₆₀	0	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₂₀
6	N ₆₀ P ₆₀	N ₆₀ P ₉₀	N ₆₀ P ₉₀	0	N ₃₀	N ₂₁₀ P ₂₄₀
7	N ₉₀ P ₆₀	N ₃₀ P ₆₀	N ₆₀ P ₆₀	P ₃₀	N ₃₀ P ₃₀	N ₂₁₀ P ₂₄₀
8	N ₉₀ P ₉₀	P ₆₀	N ₆₀ P ₃₀	P ₃₀	N ₆₀ P ₃₀	N ₂₁₀ P ₂₄₀
9	N ₆₀ P ₃₀ + навоз 12 т/га	N ₃₀ P ₆₀	N ₃₀	P ₆₀ + навоз 12 т/га	0	N ₁₂₀ P ₁₅₀ + навоз 24 т/га

Норма высева пшеницы – 6 млн семян на 1 га. Агротехнические работы включали зяблевую вспашку в комплексе с весенней механической обработкой в виде культивации и выравнивания поверхности путем боронования. В соответствии с методологией и схемой стационарного эксперимента было осуществлено внесение минеральных удобрений в форме аммиачной селитры, двойного суперфосфата, хлорида ка-

лия, а также органических удобрений в виде частично ферментированного навоза крупного рогатого скота.

Перед посевом семена пшеницы обработали проправителем Систива, КС (действующее вещество – 333 г/л Флуксапи-роксад) с нормой расхода 0,8 л/т. В период кущения–выхода в трубку на посевах пшеницы проведена одна фунгицидная обработка препаратом Осирис, КЭ

(действующее вещество – 27,5 г/л Метконазол + 37,5 г/л Эпоксионазол) с нормой расхода 1,5 л/га. В фазу кущения проводилась обработка системными гербицидами: Балерина Супер, СЭ (д. в.: 410 г/л 2,4-Д (2-этилгексиловый эфир) + 15 г/л флорасулам), норма расхода – 0,5 л/га; Магнум Супер, ВДГ (д. в.: 300 г/кг Метсульфурон-метил + 450 г/кг Трибенурон-метил), норма расхода – 12 г/га и Аксиал, КЭ (д. в.: 50 г/л Пиноксаден + 12,5 г/л Антидот клоквингесет-мексил) с нормой расхода – 1,0 л/га.

Во время вегетационного периода регулярно осуществлялся фенологический мониторинг процессов развития и морфогенеза пшеницы согласно утвержденным методическим рекомендациям ГСИ. Сбор зерна и расчет урожайности пшеницы осуществлялся с использованием зерноуборочной техники модели John Deere 3070, посредством технологии сплошного прямого обмолота посева, размещенного на учетной площади опытного участка.

Отбор проб почвенного материала осуществляли при помощи тростевого бура в количестве 17–20 точек, равномерно распределенных по площади опытных участков. Анализ отобранных образцов: значение pH солевой вытяжки (KCl) – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), определение подвижных соединений фосфора и калия – по методу А.Т. Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 54650-2011), количество гумуса – в соответствии с регламентом стандарта (ГОСТ 26213-202), содержание минерального азота – фотометрическим методом (ГОСТ 26951-86, 26489-85). Статистическую обработку урожайных данных проводили по методике Б.А. Доспехова.

Оценка окупаемости удобрений за счет прибавки урожайности яровой пшеницы в расчете на 1 га поля севооборота по исследуемым вариантам опыта осуществлялась по формуле

$$O_y = \frac{\Delta U_p}{M_{y0}},$$

где O_y – окупаемость удобрений, кг/кг д.в. на 1 га; ΔU_p – прибавка урожая, кг/га; M_{y0} – совокупное количество питательных веществ, вносимых с удобрением, кг д. в./га.

Экономическая оценка осуществлена на основе расчета показателей экономической эффективности влияния удобрений на прирост сбора зерна яровой пшеницы по показателю уровня рентабельности и окупаемости затрат.

Погодные условия 2022 г. характеризовались равномерным температурным режимом, близким к среднемноголетним показателям, и избытком осадков в отдельные периоды вегетации растений: в мае и июне это способствовало накоплению влаги в почве и благоприятно отразилось на кущении пшеницы, в августе – затягиванию сроков уборки урожая. В 2023 г. в мае, июле и августе отмечен повышенный температурный режим – на 1 °C выше среднемноголетних значений. При этом в весенний период количество выпавших осадков соответствовало среднемноголетним значениям, в июле выпало только 2/3 нормы, а в августе – в 1,5 раза выше среднемноголетних показателей. Метеорологические особенности вегетационного сезона 2024 г. демонстрировали значительные отличия от предшествующих периодов. Если температурный режим в начальной фазе вегетации сохранялся в границах среднегодовых нормативных значений, а июнь характеризовался значительным превышением нормы атмосферных осадков (до 80 %), то июль и август сопровождались дефицитом осадков (около половины среднемноголетнего уровня) на фоне повышенной температуры окружающей среды. В целом погодные условия исследуемого периода характеризуются оптимальным температурным режимом, близким к среднемноголетним значениям, а неравномерность выпадения осадков не оказалась отрицательного влияния на формирование урожая яровой пшеницы вследствие сохранения запасов влаги в почве.

Результаты и их обсуждение. Интенсификация сельскохозяйственного производства для повышения продуктивности выращиваемых культур в числе прочих методов предполагает использование минеральных удобрений. Это особенно актуально на почвах, содержащих низкое количество питательных веществ. Исследованиями многих ученых было показано влияние внесения удобрений на агрохимические показатели почвы. Так, Е.П. Болдышева с соавторами проследили положительную корреляцию между содержанием азота в почве и дозой припосевного внесения азотных удобрений (N_{30} и $N_{30}P_{20}$), а также увеличение содержания подвижного фосфора по сравнению с контролем при внесении $N_{30}P_{20}$ на черноземе обыкновенном среднесуглинистом в условиях Северного Казахстана [4]. На выщелоченном черноземе Орловской области исследованиями В.И. Маза-

лова с соавтором установлено, что при внесении суперфосфата в пахотном слое почвы содержание подвижного фосфора возрастало на 6,6–12,8 мг/кг [5]. В результате регулярного внесения удобрений наблюдается увеличение как абсолютного содержания легкодоступного фосфора, так и степени его динамической активности, причем именно последний показатель возрастает в большей мере [2]. В условиях Южного Урала В.Ю. Скороходов на основе анализа результатов долголетних исследований на черноземе южном выявил повышение содержания калия в почве за счет сидератов и минеральных удобрений [6]. По данным научных исследова-

ний В.И. Усенко совместно с коллегами, длительная монокультура зерновых в Алтайском регионе, осуществлявшаяся без калийных подкормок, приводит к значительному снижению запасов доступного калия в пахотном слое почвы выщелоченного чернозема [7].

На основе проведенных исследований установлено, что за предшествующие 12 ротаций севооборота внесение минеральных удобрений в дозе $N_{42}P_{48}$ кг д.в./га ежегодно вызывало увеличение уровня обменной кислотности почвы на 0,2 ед. pH в слое 0–20 см. Это определило переход почвы 6-го варианта опыта из группы слабокислых к среднекислым почвам (табл. 2).

Таблица 2

Влияние длительного внесения удобрений на агрохимические показатели луговой черноземовидной почвы в слое почвы 0–20 см (среднемноголетние значения)
The effect of prolonged fertilization on the agrochemical parameters of meadow chernozem soil in the soil layer 0–20 cm (average annual values)

Вариант	Внесено удобрений, кг д. в.		рН _{KCl}	$N_{\text{мин.}}$, мг/кг почвы	P_2O_5 , мг/кг почвы	K_2O , мг/кг почвы	Гумус, %
	за 12 ротаций (60 лет)	в среднем за год на 1 га с/о площади					
1	Без удобрений	0	5,1	13,3	22	141	4,49
2	P_{1800}	P_{30}	5,2	11,8	43	153	4,63
3	N_{1440}	N_{24}	5,1	13,9	23	158	4,47
5	$N_{1440}P_{1800}K_{1440}$	$N_{24}P_{30}K_{24}$	5,1	13,5	48	162	4,06
6	$N_{2520}P_{2880}$	$N_{42}P_{48}$	4,9	15,5	92	153	4,36
9	$N_{1440}P_{1800}$ + навоз 288 т	$N_{24}P_{30} + 4,8$ т/га навоза	5,1	13,0	71	176	4,85
	HCP_{05}		0,1	3,72	26	44	0,39
	Факт ($F_{\text{теор.}} = 2,59$)		3,70	1,74	9,33	1,03	2,87

Количество подвижного фосфора в верхнем слое почвы глубиной 0–20 см оставалось неизменным по отношению к контролю в вариантах без применения фосфорных удобрений (N_{24}). Однако при внесении фосфора в дозе 30 кг действующего вещества на гектар содержание данного элемента в почве возрастало вдвое, а повышение средней годовой дозы до 48 кг действующего вещества приводило к четырехкратному увеличению. Вместе с тем содержание обменного калия было выше контрольных значений в пределах от 8,5 до 14 %.

Многолетнее внесение азотных, азотно-фосфорных и азотно-фосфорно-калийных удобрений обусловило снижение содержания гумуса в почве на 0,02–0,43 % в зависимости от варианта. При минерально-органической системе удобрений в севообороте количество подвижного фосфора в почве возросло на 32 %, обменно-

го калия – на 35 мг/кг почвы, гумуса – на 0,36 % (см. табл. 2).

Многолетние стационарные исследования в ряде регионов показали, что несмотря на применяемые методы интенсификации сельского хозяйства, влияние погодных условий на ежегодные колебания урожайности сельскохозяйственных культур сохраняется. Это объясняется снижением устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды при повышении их потенциальной продуктивности. Важнейшими факторами повышения стабильности урожая служат внесение удобрений и грамотное чередование культур в севообороте с использованием лучших предшественников [8]. Согласно результатам исследования В.Ю. Скороходова, основанного на анализе данных многолетних наблюдений, проведенных на южном черноземе степной зоны Южного Урала, наиболее эффек-

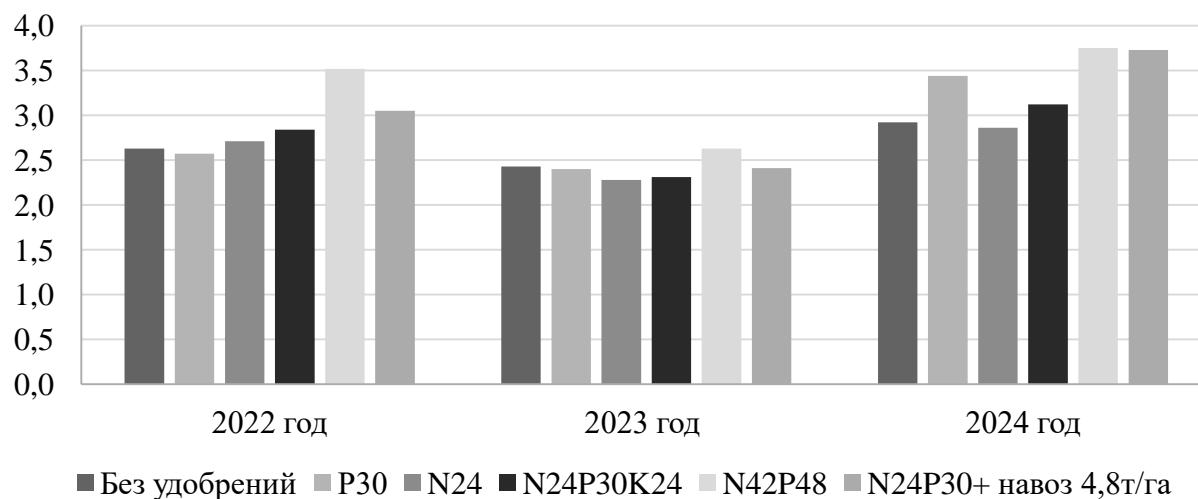
тивными предшественниками озимой пшеницы в течение 31-летнего периода выступали черные, почвозащитные и сидеральные паровые поля [6]. По мнению Л.В. Юшкевича с соавторами, соя, относящаяся к бобовым культурам, представляет собой отличный предшественник для последующих посевов. Благодаря насыщению почвы остатками корней и стерни, а также снижению уровня сорняков при применении рекомендованных гербицидов, после выращивания сои удается получать высокую урожайность яровой пшеницы – свыше 2 т с гектара. Биологические особенности сои способствуют улучшению качества почвенного плодородия путем обогащения ее азотом и улучшения водно-физических характеристик [9].

В системе севооборота минеральные удобрения, внесенные под соответствующую культуру, действуют непосредственно в текущий вегетационный период, а также оказывают дальнейшее влияние на последующую культуру. Многими авторами было изучено влияние данных процессов. Исследование, проведенное Н.М. Тишковым, позволило выявить следующую структуру факторов, влияющих на урожайность пшеницы: вклад предшественника составляет 32,9 %; содержание нитратного азота в почвенном профиле весной – 18,6 %; доступность подвижного фосфора влияет на 30,3 %; а обменный калий оказывает воздействие в размере 7,1 % [10]. В исследованиях В.И. Мазалова с соавторами установлено увеличение урожайности яровой пшеницы в первой ротации севооборота на 1,0 и 1,2 т/га, во второй ротации – на 1,79 и

1,37 т/га при ежегодном внесении и в запас на ротацию севооборота фосфорных удобрений [5]. Достоверному увеличению содержания подвижного фосфора и калия на типичных черноземах, по мнению С.И. Тютюнова, способствует совместное внесение навоза и минеральных удобрений [11].

Исследования 2022–2024 гг. на лугово-черноземовидной почве Амурской области в условиях многолетнего севооборота показали, что внесение только азотных удобрений в средней ежегодной дозе 24 кг д.в. на 1 га площади севооборота не оказалось влияния на продуктивность яровой пшеницы: урожайность зерна не превышала значения контрольного варианта (рис.).

Урожайность яровой пшеницы в 2022 и 2023 гг. при внесении фосфорных удобрений в среднегодовой дозе 30 кг д.в./га была на уровне контроля, в условиях 2024 г. отмечен прирост урожайности зерна на 5 ц/га. Азотно-фосфорные удобрения показали наиболее положительный результат: доза азота в размере 42 кг д.в./га и фосфора 48 кг д.в./га показали наибольшую прибавку зерна пшеницы в течение трех лет исследований в диапазоне 0,20–0,89 т/га (в среднем за 3 года – 0,64 т/га). Меньший эффект был отмечен в варианте с минерально-органическими удобрениями. При выращивании яровой пшеницы внесение азотно-фосфорно-калийных удобрений не оказалось никакого влияния на прибавку урожайности вследствие достаточной обеспеченности почвы Амурской области соединениями подвижного калия.



*Рис. Урожайность яровой пшеницы в разрезе вариантов опыта ($HCP_{05} = 3,7$), т/га
Yield of spring wheat in terms of experimental options, t/ha ($HCR_{05} = 3.7$)*

Эффективность системы удобрений при выращивании яровой пшеницы определяется не только прибавкой урожайности зерна, но и окупаемостью вносимых удобрений. Так, О.В. Волынкина на основе изучения влияния на яровую пшеницу разных доз органических и минеральных удобрений на обыкновенном солонцеватом черноземе в двух длительных севооборотах указывает, что из доз фосфора на зерновых культурах эффективными можно считать три – Р₁₅₋₃₀₋₄₅ на фоне N₃₀ с окупаемостью 15–16 кг/кг [12]. Учитывая высокую стоимость минеральных и органических удобрений, целесообразно проводить расчеты, позволяющие сопоставлять

количество внесенных питательных веществ с полученной прибавкой урожая.

В процессе исследований среднее значение прироста урожайности зерна яровой пшеницы за три года наблюдений зафиксировано исключительно в тех вариантах, где использовались фосфорные удобрения. Относительно контрольного варианта (без внесения удобрений), разница в объемах полученной продукции составила от 1,0 до 6,4 ц/га в зависимости от конкретного варианта. Напротив, использование только азотных удобрений не способствовало достижению положительной реакции в увеличении урожайности яровой пшеницы (табл. 3).

Таблица 3

**Окупаемость различных доз и форм удобрений на посевах яровой пшеницы
в многолетнем опыте (среднее за 2022–2024 гг.)**
**Payback of various doses and forms of fertilizers on spring wheat crops over many years
of experience (average for 2022–2024)**

Показатель	Доза удобрений, кг д.в./га (в среднем за год на 1 га с/о площади)				
	P ₃₀	N ₂₄	N ₂₄ P ₃₀ K ₂₄	N ₄₂ P ₄₈	N ₂₄ P ₃₀ + навоз 4,8 т/га
Суммарное количество внесенных питательных веществ, кг д. в/га	30	24	78	90	122*
Прибавка зерна, ц/га	1,4	-0,4	1,0	6,4	4,0
Окупаемость, кг/га	4,7	-1,7	1,3	7,1	3,3

Примечание: * – расчет массы NPK, вносимых с 1 тонной навоза КРС, проводился на основе обобщенных данных по содержанию питательных веществ в органических удобрениях (методика ГСИ).

Расчеты окупаемости показали, что при внесении фосфора в средней ежегодной дозе 30 кг д. в/га окупаемость составила 4,7 кг зерна/кг д. в. Наибольший выход прибавки зерна пшеницы в расчете на 1 кг внесенных питательных веществ был получен в варианте N₄₂P₄₈ – 7,1 кг зерна/кг д. в. удобрений. В сравнении с данным вариантом увеличение дозы внесения в почву питательных веществ на 35 % (122 кг/га), при сокращении прибавки зерна на 46 %, привело к снижению окупаемости в 2,1 раза (см. табл. 3).

В настоящее время при ограниченном объеме средств на осуществление затрат по возделыванию культур, сложившемся уровне цен на производственные ресурсы и готовую продукцию необходимо производить расчет экономической эффективности использования удобрений на посевах сельскохозяйственных культур. Оптимизация применения минеральных удобрений позволяет обеспечить увеличение экономического эффекта [13, 14].

Расчет стоимостных показателей экономической эффективности использования разных доз и форм удобрений при возделывании яровой пшеницы показал, что при росте объемов вносимых удобрений увеличивается размер производственных затрат. Так, минимальный прирост затрат отмечен в варианте с внесением средней ежегодной дозы азотных удобрений N₂₄ – на 4,07 % выше контроля. Внесение органических удобрений совместно с минеральными обусловило наибольший прирост затрат – на 9 666 руб/га, или в относительном выражении – на 32,04 % по отношению к контролю (табл. 4).

На себестоимость 1 ц зерна оказывает влияние как размер производственных затрат в расчете на 1 га, так и урожайность яровой пшеницы. Исходя из расчета указанных показателей, вариант с ежегодным внесением на 1 га севооборота удобрений в дозе N₄₂P₄₈ показал наименьшую себестоимость зерна (1 048,4 руб/ц). Главным фактором в данном случае стало су-

Агрономия

щественное повышение уровня урожайности (24,06 %), которое значительно превзошло темпы роста производственных затрат (14,69 %). В варианте с внесением органических и минеральных удобрений преобладание роста произ-

водственных затрат над приростом урожайности, (соответственно 32,04 и 15,04 %), оказало решающее влияние на формирование максимальной себестоимости зерна яровой пшеницы (1 301,7 руб/ц).

Таблица 4

**Экономическая эффективность внесения удобрений на посевах яровой пшеницы
в многолетнем опыте (среднее за 2022–2024гг.)**
**Economic efficiency of fertilization on spring wheat crops in long-term experience
(average for 2022–2024)**

Показатель	Доза удобрений, кг д.в/га (в среднем за год на 1 га с/о площади)					
	Без удобрений	P ₃₀	N ₂₄	N ₂₄ P ₃₀ K ₂₄	N ₄₂ P ₄₈	N ₂₄ P ₃₀ + навоз 4,8 т/га
Урожайность, ц/га	26,6	28	26,2	27,6	33	30,6
В т.ч. прибавка, ц/га	0	1,4	-0,4	1	6,4	4
Производственные затраты, руб/га	30166,0	31968,0	31393,0	33546,0	34596,0	39832,0
В т. ч. прирост затрат, руб/га	0,0	1802,0	1227,0	3380,0	4430,0	9666,0
Себестоимость, руб/ц	1134,1	1141,7	1198,2	1215,4	1048,4	1301,7
Цена реализации, руб/ц	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0	1300,0
Выручка от реализации, руб/га	34580,0	36400,0	34060,0	35880,0	42900,0	39780,0
В т. ч. стоимость прибавки, руб/га	0,0	1820,0	-520,0	1300,0	8320,0	5200,0
Прибыль (убыток), руб/га	4414,0	4432,0	2667,0	2334,0	8304,0	-52,0
В т. ч. дополнительная прибыль (убыток), руб/га	0,0	18,0	-1747,0	-2080,0	3890,0	-4466,0
Уровень рентабельности (убыточности), %	14,6	13,9	8,5	7,0	24,0	-0,1
Уровень окупаемости (убыточности) дополнительных затрат, %	0,0	1,0	-142,4	-61,5	87,8	-46,2

Несмотря на прибавку урожайности зерна, высокая стоимость минеральных удобрений и дополнительные затраты на их внесение обусловили сокращение прибыли во всех вариантах с внесением минеральных и минерально-органических удобрений на 39,58–101,18 %. Исключение составили вариант со средней ежегодной нормой удобрений в дозе P₃₀, где дополнительная прибыль составила лишь 18 руб/га, и вариант N₄₂P₄₈, в котором получен наибольший экономический эффект в размере 3 890 руб/га дополнительной прибыли.

Экономическая эффективность от применения удобрений определяется уровнем рентабельности производства зерна. Согласно произведенным расчетам, наибольшая экономичес-

кая эффективность была достигнута в варианте с ежегодной нормой удобрений в дозе N₄₂P₄₈ – на 9,4 % выше контроля. В других вариантах с внесением минеральных удобрений (P₃₀, N₂₄, N₂₄P₃₀K₂₄) уровень рентабельности в абсолютном выражении на 0,7–7,6 % ниже контроля. При использовании минерально-органических удобрений на каждый рубль затрат был получен убыток в размере 0,1 руб.

Окупаемость 1 рубля дополнительных затрат на удобрения в вариантах с ежегодной нормой внесения в дозах P₃₀ и N₄₂P₄₈ составила 1,0 и 87,8 руб. соответственно. В остальных вариантах уровень убыточности дополнительных затрат составил 46,2–142,4 % (см. табл. 4).

Заключение. В условиях Амурской области в длительном стационарном опыте после 12-й ротации 5-польного соево-зернового севооборота на лугово-черноземовидных почвах в слое почвы 0–20 см отмечено увеличение уровня обменной кислотности почвы при средней ежегодной норме внесения удобрений $N_{42}P_{48}$ кг д. в/га. При использовании фосфорных удобрений отмечено увеличение содержания подвижного фосфора в почвенном слое 0–20 см в 2–4 раза и обменного калия на 8,5–14 % по сравнению с контролем. Многолетнее внесение минеральных удобрений привело к снижению содержания гумуса в почве в абсолютном выражении на 0,02–0,43 % в зависимости от варианта, внесение минерально-органических удобрений – увеличению на 0,36 %.

Наибольшая урожайность яровой пшеницы отмечена при ежегодной норме внесения удобрений $N_{42}P_{48}$ кг д. в/га: на 2,0–8,9 ц/га выше варианта без удобрений (в среднем за 3 года – на 6,4 ц/га). Рост урожайности повлиял как на наиболее высокую окупаемость данной дозы удобрений полученной прибавкой зерна среди рассматриваемых вариантов опыта, составляющую 7,1 кг/кг д.в., так и на рентабельность выращи-

вания яровой пшеницы, равную 24,0 % (на 9,4 % выше контроля).

Таким образом, в системе длительного 5-польного соево-зернового севооборота с многолетним внесением минеральных и минерально-органических удобрений средняя ежегодная норма внесения питательных веществ в дозе $N_{42}P_{48}$ кг д.в/га севооборотной площади обусловила повышение доступных для растений питательных веществ в почве, а также наибольшую эффективность производства яровой пшеницы как в натуральных, так и в стоимостных показателях.

В целом для поддержания стабильного уровня содержания гумуса, улучшения плодородия почвы и достижения высоких урожаев сельскохозяйственных культур важно обновить устаревшие системы удобрения (разработанные около 30–50 лет назад и не соответствующие современным требованиям аграрного сектора). Это предполагает разработку научно обоснованной системы удобрений, включающей сочетание влияния предшествующих культур, современных агротехнических методов и экономически обоснованного применения химических препаратов.

Список источников

1. Дудукалов К.А. Состояние плодородия пахотных почв Южной зоны Амурской области // Земледелие. 2017. № 1. С. 30–32. EDN: YLNAND.
2. Сычев В.Г. Современное состояние почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 328 с. EDN: ETPUNH.
3. Ковшик И.Г., Науменко А.В. Проблемы повышения плодородия почв и применения удобрений в Амурской области // АгроСнабФорум. 2015. № 9 (137). С. 28–29. EDN: VDTWFJ.
4. Болдышева Е.П., Чудинов В.А., Попова В.И., и др. Применение минеральных удобрений под яровую пшеницу при ресурсосберегающей технологии возделывания на обыкновенном черноземе // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (38). С. 41–51. EDN: ZZUEKO.
5. Мазалов В.И., Небытов В.Г. Влияние длительного применения удобрений на плодородие выщелоченного чернозема и урожайность культур за две ротации севооборота // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4 (36). С. 156–162. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11219. EDN: WXOKQU.
6. Скороходов В.Ю. Последействие предшественников яровой твердой пшеницы на урожайность и содержание калия в почве при долголетних исследованиях на черноземе южном степной зоны Южного Урала // Вестник Российской университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16, № 4. С. 313–325. DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-313-325. EDN: JOEADG.
7. Усенко В.И., Гаркуша А.А., Литвинцева Т.А., и др. Изменение обеспеченности выщелоченного чернозема подвижным калием при длительном возделывании зерновых культур в зависимости от предшественника, обработки почвы и азотнофосфорных удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 10. С. 5–10. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_10_5. EDN: IIHEYBS.

Агрономия

8. Лазарев В.И., Ильин Б.С., Башкатов А.Я., и др. Влияние природных и антропогенных факторов на продуктивность различных видов полевых севооборотов и плодородие чернозема типичного // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 5 (383). С. 83–88. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-5-83-88. EDN: GPSWEW.
9. Юшкевич Л.В., Ершов В.Л., Ломановский А.В. Агротехнология яровой пшеницы после соевого предшественника в лесостепных агроландшафтах Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (29). С. 56–62. EDN: YUPDXL.
10. Тишков Н.М. Урожайность масличных культур и пшеницы озимой в зависимости от содержания в черноземе выщелоченном подвижных форм азота, фосфора и калия в стационарном полевом опыте ВНИИМК // Масличные культуры. 2024. № 1 (197). С. 45–62. DOI: 10.25230/2412-608X-2024-1-197-45-62. EDN: KRWDCE.
11. Тютюнов С.И. Комплексная оценка влияния многолетнего применения удобрений на основные показатели плодородия чернозема типичного // Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 45–48. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.07. EDN: GDTSGU.
12. Волынкина О.В. Предельные прибавки урожая сельскохозяйственных культур от доз удобрений и их окупаемость на обыкновенном солонцеватом черноземе. Сообщение 3. Макушинское опытное поле // Плодородие. 2022. № 2 (125). С. 33–39. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.09. EDN: VICZOA.
13. Попова В.И., Чудинов В.А., Болдышева Е.П., и др. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений в полевом зернопаровом восьмипольном севообороте на обыкновенном черноземе при традиционной и ресурсосберегающей системах земледелия // Вестник КрасГАУ. 2020. № 7 (160). С. 16–25. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-7-16-25. EDN: MRPYFK.
14. Лукин А.С., Папырин В.Б. Методология определения экономической эффективности применения минеральных удобрений // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (23). С. 77–83. EDN: WLSMGZ.

References

1. Dudukalov KA. Fertility state of arable soils of the south zone of Fmur region. *Zemledelie*. 2017;1:30-32. (In Russ.). EDN: YLNAND.
2. Sychev VG. Sovremennoe sostoyanie pochv i osnovnye aspekty ego regulirovaniya. Moscow: RAN; 2019. (In Russ.). EDN: ETPUNH.
3. Kovshik IG, Naumenko AV. Problemy povysheniya plodorodiya pochv i primeneniya udobrenij v Amurskoj oblasti. *AgroSnabForum*. 2015;9:28-29. (In Russ.). EDN: VDTWFJ.
4. Boldysheva EP, Chudinov VA, Popova VI, et al. Application of mineral fertilizers in resource-saving cultivation technologies of spring wheat on ordinary chernozem. *Bulletin of OmskSAU*. 2020;2:41-51. (In Russ.). EDN: ZZUEKO.
5. Mazalov VI, Nebytov VG. The influence of long application of fertilizers on fertility of leached chernozem and productivity of cultures for two rotation of the crop rotation. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2020;4:156-162. (In Russ.). DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11219. EDN: WXOKQU.
6. Skorokhodov VYu. Effect of forecrop on yield of spring durum wheat and soil potassium in chernozems of southern steppe zone in Southern Urals during long-term research. *Vestnik rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: agronomiya i zhivotnovodstvo*. 2021;16(4):313-325. (In Russ.). DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-313-325. EDN: JOEADG.
7. Usenko VI, Garkusha AA, Litvintseva TA. Changes in the supply of leached chernozem with mobile potassium during long-term cultivation of grain crops, depending on the forecrop, tillage, and nitrogen-phosphorus fertilizers. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022;36(10):5-10. (In Russ.). DOI: 10.53859/02352451_2022_36_10_5. EDN: IIEYBS.
8. Lazarev VI, Ilyin BS, Bashkatov AYa, et al. The influence of natural and anthropogenic factors on the productivity of various types of field crop rotations and the fertility of typical chernozem. *International agricultural journal*. 2021;5:83-88. (In Russ.). DOI: 10.24412/2587-6740-2021-5-83-88. EDN: GPSWEW.

9. Yushkevich LV, Ershov VL, Lomanovskij AV. Agrotehnologiya yarovoj pshenicy posle soevogo predshestvennika v lesostepnyh agrolandshaftah Zapadnoj Sibiri. *Bulletin of OmskSAU*. 2018;1:56-62. (In Russ.). EDN: YUPDXL.
10. Tishkov NM. Urozhajnost' maslichnyh kul'tur i pshenicy ozimoj v zavisimosti ot soderzhaniya v chernozyome vyshchelochennom podvizhnyh form azota, fosfora i kaliya v stacionarnom polevom opyte VNIIMK. *Maslichnye kul'tury*. 2024;1:45-62. (In Russ.). DOI: 10.25230/2412-608X-2024-1-197-45-62. EDN: KRWDCE.
11. Tyutyunov SI. Kompleksnaya ocenka vliyaniya mnogoletnego primeneniya udobrenij na osnovnye pokazateli plodorodiya chernozema tipichnogo. *Plodorodie*. 2021;3:45-48. (In Russ.). DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.07. EDN: GDTSGU.
12. Volynkina OV. Limit increases of yield of agricultural cultures from fertilizer doses and their payback in experiments of kurgan research institute (part 3). *Plodorodie*. 2022;2:33-39. (In Russ.). DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.09. EDN: VICZOA.
13. Popova VI, Chudinov VA, Boldysheva EP, et al. Ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya mineral'nyh udobrenij v polevom zernoparovom vos'mipol'nom sevooborote na obyknovennom chernozeme pri tradicionnoj i resursosberegayushchej sistemah zemledeliya. *Bulletin of KSAU*. 2020;7:16-25. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-7-16-25. EDN: MRPYFK.
14. Lukin AS, Papyrin VB. Methodology for determining the economic efficiency of application of mineral fertilizers. *Bulletin of OmskSAU*. 2016;3:77-83. (In Russ.). EDN: WLSMGZ.

Статья принята к публикации 25.10.2025 / The article accepted for publication 25.10.2025.

Информация об авторах:

Наталья Юрьевна Иванова, ведущий научный сотрудник лаборатории семеноведения и агротехнологий, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Илья Александрович Кубасов, научный сотрудник лаборатории семеноведения и агротехнологий

Information about the authors:

Natalia Yuryevna Ivanova, Leading Researcher, Seed Science and Agricultural Technology Laboratory, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Ilya Aleksandrovich Kubasov, Researcher, Seed Science and Agricultural Technology Laboratory