

Научная статья

УДК 633.11:631.582

EDN ESQVRM

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-24-36>

Реакция яровой пшеницы на минеральное азотно-фосфорное и органическое удобрение в длительном стационарном севообороте

Илья Александрович Кубасов¹, Виктор Владимирович Епифанцев²^{1,2}Всероссийский научно-исследовательский институт сои

Амурская область, Благовещенск, Россия

¹89145656ilya@gmail.com

Аннотация. Проведенные исследования посвящены изучению влияния удобрений на различных фосфорных уровнях, образовавшихся в результате длительного использования в полевом севообороте минеральных и органоминеральной системы удобрений, на формирование зерновой урожайности яровой пшеницы и ее качественных характеристик. Опыт проводили в 2022–2024 гг. в пятипольном длительном стационаре Всероссийского научно-исследовательского института сои на луговой черноземовидной почве в Амурской области. Исследованиями установлено, что внесение азотно-фосфорного ($N_{42}P_{48}$) и органоминеральной системы ($N_{24}P_{30}$ + навоз 4,8 т/га) удобрений в почву увеличивало содержание минерального азота и подвижного фосфора в почве за вегетационный период культуры. В фазе «кущение – выход в трубку» наблюдалось значительное увеличение прироста воздушно-сухого вещества при внесении минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) на почву с повышенным уровнем фосфора (55–95 мг/кг). С фазы колошения органоминеральная система удобрений ($N_{24}P_{30}$ + 4,8 т/га навоза) в почве с повышенным содержанием подвижных фосфатов (55–95 мг/кг) обеспечивала прирост воздушно-сухого вещества на 0,32–0,67 т/га выше контрольного варианта. Наивысшая урожайность яровой пшеницы была достигнута на почве с повышенным уровнем подвижного фосфора (55–95 мг/кг) при использовании минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) и комплексного минерального и органического удобрения ($N_{24}P_{30}$ + 4,8 т/га навоза). Прибавка к контролю составила соответственно 0,64 и 0,40 т/га. Статистически значимое увеличение над контролем показателей сырой клейковины, индекса деформации и содержания протеина в зерне пшеницы наблюдалось в вариантах с внесением азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) и органоминерального удобрения ($N_{24}P_{30}$ + 4,8 т/га навоза) на почву с повышенным уровнем подвижного фосфора (55–95 мг/кг). Корреляционный анализ показал, что в фазе колошения основными элементами питания, влияющими на накопление белка, являются азот и фосфор (коэффициенты корреляции составили соответственно 0,63–0,94 и 0,39–0,70).

Ключевые слова: яровая пшеница, длительный опыт, удобрения, урожайность, зерно, качество, азот, фосфор, сухая масса

Для цитирования: Кубасов И. А., Епифанцев В. В. Реакция яровой пшеницы на минеральное азотно-фосфорное и органическое удобрение в длительном стационарном севообороте // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 24–36. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-24-36>.

Original article

Response of spring wheat to mineral nitrogen-phosphorus and organic fertilizer in a long-term stationary crop rotation**Ilya A. Kubasov¹, Viktor V. Epifantsev²**^{1,2} All-Russian Scientific Research Institute of Soybean
Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation¹ 89145656ilya@gmail.com

Abstract. The conducted studies are devoted to the study of the effect of fertilizers at various phosphorus levels, formed as a result of prolonged use of mineral and organomineral fertilizer systems in field crop rotation, on the formation of grain yields of spring wheat and its qualitative characteristics. The experiment was conducted in 2022–2024 (All-Russian Scientific Research Institute of Soybean) on meadow chernozem soil in the Amur region. It was found that the introduction of nitrogen-phosphorus fertilizer ($N_{42}P_{48}$) and organomineral fertilizers ($N_{24}P_{30} + 4.8$ t/ha manure) fertilizers into the soil increased the content of mineral nitrogen and mobile phosphorus during the growing season of the crop. In the "tillering – tube" phase, there was a significant increase in the growth of air-dry matter when applying mineral nitrogen-phosphorus fertilizer ($N_{42}P_{48}$) to soil with an increased phosphorus level (55–95 mg/kg). From the earing phase, organomineral fertilizers ($N_{24}P_{30} + 4.8$ t/ha of manure) in soil with a high content of mobile phosphates provided an increase in air-dry matter by 0.32–0.67 t/ha. The highest yield of spring wheat was achieved on soil with an increased level of mobile phosphorus (55–95 mg/kg) using mineral nitrogen-phosphorus fertilizer ($N_{42}P_{48}$) and complex mineral and organic fertilizer ($N_{24}P_{30} + 4.8$ t/ha of manure). A statistically significant increase over the control in crude gluten, strain index, and protein content in wheat grains was observed in variants with nitrogen-phosphorus fertilizer ($N_{42}P_{48}$) and organomineral fertilizer ($N_{24}P_{30} + 4.8$ t/ha of manure) applied to soil with an increased level of mobile phosphorus (55–95 mg/kg). Correlation analysis showed that in the earing phase, the main nutrients affecting protein accumulation are nitrogen and phosphorus (correlation coefficients were 0.63–0.94 and 0.39–0.70, respectively).

Keywords: spring wheat, long-term experience, fertilizers, yield, grain, quality, nitrogen, phosphorus, dry mass

For citation: Kubasov I. A., Epifantsev V. V. Response of spring wheat to mineral nitrogen-phosphorus and organic fertilizer in a long-term stationary crop rotation. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;4:24–36. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-24-36>.

Введение. В настоящее время получение высоких урожаев яровой пшеницы с заданными качественными характеристиками зерна в условиях Амурской области ограничивается, с одной стороны, влиянием неблагоприятных погодных факторов, с другой – ограниченным почвенным плодородием. Если устранение негативного гидротермического фактора неподконтрольно человеку, то регулирование плодородия почвы представляется весьма возможным.

Особое место в этом плане занимает внесение удобрений на почвах с низким содержанием основных элементов пита-

ния (азота, фосфора и калия) для роста и развития культурных растений.

Яровая пшеница относится к культуре с повышенной потребностью в азотном и фосфорном питании в критические фазы развития – кущение и выход в трубку, когда в зачаточном колосе начинают формироваться количество члеников колоскового стержня и колосков, что предопределяет потенциальную урожайность посевов культуры. Дефицит азота и фосфора в указанные фазы приводит к нарушению механизма закладки колоса и последующее обильное снабжение растений элементами питания не окажет положи-

тельного действия на величину полученного урожая [1, 2].

Диагностическим признаком хорошего развития посевов яровой пшеницы является формирование сухой надземной массы растений и поглощение корневой системой в достаточном количестве азота и фосфора. Последний элемент имеет важное значение в процессах обмена веществ, протекающих в растительной клетке. Благодаря его вхождению в макроэргические связи аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), которые являются поставщиком энергии, фосфор помогает поглощать другие элементы питания, а также осуществлять синтез новых органических соединений [3]. Многими исследователями отмечено, что на повышенном фосфорном уровне при внесении азотных удобрений коэффициент использования последних значительно повышается, в результате чего увеличивается выход зерновой продукции и возрастает ее белковость [4, 5].

Цель исследований – установить реакцию яровой пшеницы на минеральное азотно-фосфорное и органическое удобрение в севообороте при длительном использовании удобрений. В задачи исследований входило: изучить динамику минерального азота и подвижного фосфора почвы в период вегетации яровой пшеницы; определить содержание азота и накопление воздушно-сухой массы в растениях

по фазам; установить урожайность, зависимость качества зерна от степени обеспеченности почвы подвижным фосфором; получить корреляционную зависимость показателей зерна яровой пшеницы от содержания подвижных форм питательных веществ в почве.

Объекты, условия и методика исследований. Полевые исследования проводили в пятипольном полевом севообороте длительного стационарного опыта с удобрениями на базе Всероссийского научно-исследовательского института сои в период 2022–2024 гг. Почва – луговая черноземовидная.

Длительные стационарные опыты с удобрениями были заложены последовательно на трех полях севооборота еще в 1962–1964 гг. В. Т. Куркаевым.

Исследования проводили с яровой пшеницей, которая была третьей и пятой культурой в стационарном пятипольном севообороте. Чередование культур наглядно отражено в таблице 1. В опыте возделывали сорт мягкой яровой пшеницы Арюна. Общая площадь делянки – 180 м², учетной – 72 м². Культуры в севообороте чередуются во времени и пространстве; повторность вариантов в опыте трехкратная, размещение систематическое.

Использовалась общепринятая для Амурской области агротехника возделывания, которая включала: отвальную

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Scheme of experience

Степень обеспеченности почвы подвижным P ₂ O ₅ , мг/кг	Номер варианта (среднегодовая доза удобрений на 1 га)	Соя + овес (первая культура)	Соя (вторая культура)	Пшеница (третья культура)	Соя (четвертая культура)	Пшеница (пятая культура)
Низкая (27–35)	1. Без удобрений	без удобрений	без удобрений	без удобрений	без удобрений	без удобрений
Средняя (37–50)	2. P ₃₀	P ₃₀	P ₆₀	P ₆₀	не вносились	не вносились
Низкая (27–35)	3. N ₂₄	N ₆₀	N ₃₀	N ₃₀	не вносились	не вносились
Средняя (37–50)	4. N ₂₄ P ₃₀ K ₂₄	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₃₀	N ₃₀ K ₃₀	P ₆₀	не вносились
Повышенная (55–95)	5. N ₄₂ P ₄₈	N ₉₀ P ₉₀	P ₆₀	N ₆₀ P ₃₀	P ₃₀	N ₆₀ P ₃₀
Повышенная (55–95)	6. N ₂₄ P ₃₀ + навоз (4,8 т/га)	N ₆₀ P ₃₀ + навоз (12 т/га)	N ₃₀ P ₆₀	N ₃₀	P ₆₀ + навоз (12 т/га)	не вносились

вспашку с осени, ранневесеннее боронование, внесение удобрений, посев яровой пшеницы. В фазу кущения для борьбы с сорной растительностью посевы обрабатывались следующими гербицидами: Балерина – 0,5 л/га, Аксиал – 1,0 л/га, Магnum – 10 г/га. Минеральные удобрения (аммиачная селитра, аммофос, калий хлористый) и полуперепревший навоз крупного рогатого скота вносили вручную под предпосевную культивацию согласно схеме опыта (табл. 1).

По истечении семи ротаций севооборота (35 лет) при систематическом внесении азотно-фосфорных минеральных и органических удобрений было сформировано три уровня обеспеченности почвы подвижным фосфором (с содержанием P_2O_5 , мг/кг почвы) [6]:

- низкий – 27–35 (варианты 1 и 3);
- средний – 37–50 (варианты 2 и 4);
- повышенный – 55–95 (варианты 5 и 6).

Соответствие вариантов опыта к фосфорным уровням проводили определением в них подвижного фосфора в почве, отобранной с осени после уборки предшествующей культуры – сои и соево-овсяной смеси. Стоит отметить, что предшественник оказывал сильное влияние на сложившиеся уровни обеспеченности подвижными фосфатами наравне с непосредственным внесением удобрений.

Так, в пятой культуре севооборота, предшественником которой была соя, содержание подвижного фосфора варьировало в 2022 г. и 2023 г. – от 29 до 95 и от 29 до 74 мг/кг почвы соответственно. В третьей культуре севооборота этот показатель в 2024 г. варьировал в пределах 26–123 мг/кг почвы (предшественник соя) и выходил за рамки установленного уровня обеспеченности подвижным фосфором, предложенной ранее [6].

На сформированных уровнях плодородия изучалось влияние удобрений при различной обеспеченности подвижным фосфором на ростовые процессы яровой пшеницы и качественные показатели зерна. В период проведения исследований проводили фенологические наблюдения в основные фазы роста и развития: всходы, кущение, выход в трубку, колошение, молочная спелость, полное созревание.

В зерне пшеницы определяли количество сырого белка на ИК-анализаторе «FOSS NIRSystems 5000» [7].

Определение массовой доли и качества сырой клейковины в зерне яровой пшеницы проводили с учетом требований ГОСТ Р 54478–2011 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице».

Отбор почвенных образцов выполняли в 17–20 точках с делянки пахотного слоя почвы (0–20 см) тростевым буром в основные фазы роста развития культуры. В почвенных образцах устанавливали: обменный аммоний и нитратный азот (методом ЦИНАО); подвижный фосфор и калий (методом А. Т. Кирсанова). При этом в полном объеме учтены требования действующих государственных стандартов по исследованию почвы.

Гидротермические условия в период проведения исследований были различными по тепло- и влагообеспеченности. Благоприятные условия для формирования повышенной урожайности яровой пшеницы оказались в 2022 и 2024 гг., когда среднесуточные температуры воздуха за вегетационные периоды были выше многолетнего значения на 0,5 °C и 1,3 °C соответственно, при сумме осадков, близкой к норме.

В то же время погодные условия 2023 г. характеризовались повышенными температурами (на 0,7 °C) и количеством осадков (на 49 мм) относительно среднемноголетних значений.

Результаты исследований и их обсуждение. Из изучаемых вариантов применения удобрений существенное влияние на содержание минерального азота в пахотном слое почвы оказали только азотно-фосфорное удобрение в дозе $N_{42}P_{48}$ и $N_{24}P_{30}$ совместно с навозом (4,8 т/га). При этом содержание минерального азота повысилось на 18,0 и 12,3 мг/кг почвы соответственно (табл. 2).

С начального периода развития и до полной спелости отмечается плавное снижение минерального азота с наступлением последующей фазы развития по всем вариантам опыта. Относительное уменьшение с кущения до созревания яровой пшеницы составляет 64–54 %, что свиде-

Таблица 2 – Динамика минерального азота почвы в период вегетации яровой пшеницы, в среднем за 2022–2024 гг.

Table 2 – Dynamics of soil mineral nitrogen during the growing season of spring wheat, on average for 2022–2024

В мг/кг (in mg/kg)

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5	Номер варианта	Фазы развития				
		кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость	полная спелость
Низкая (27–35)	1	22,8	16,0	13,9	11,9	10,5
Средняя (37–50)	2	21,6	17,8	13,9	11,0	11,2
Низкая (27–35)	3	23,0	22,5	14,7	11,4	11,1
Средняя (37–50)	4	25,7	19,7	14,8	11,6	12,1
Повышенная (55–95)	5	40,8	35,8	20,5	14,1	14,7
Повышенная (55–95)	6	35,1	28,4	18,5	20,5	13,5
НСР ₀₅		10,1	9,3	2,1	10,0	1,9
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$

тельствует о потреблении азота растениями яровой пшеницы.

По данным Е. Т. Наумченко с соавторами (2020), на формирование вегетативной массы пшеницы большое влияние оказывает содержание в достаточном количестве азота под посевом культуры в начальные периоды развития [2]. Нашими исследованиями установлена тесная корреляционная связь между содержанием минерального азота почвы и нарастанием воздушно-сухой массы в фазу кущения и фазу выхода в трубку (коэффициенты корреляции равны соответственно 0,90 и 0,86). Затем с наступлением каждой последующей фазы связь между этими показателями ослабевает: в фазу колошения коэффициент корреляции равен 0,61; в фазу молочной спелости – 0,43.

Таким образом, повышению уровня обеспеченности минеральным азотом луговой черноземовидной почвы под яровой пшеницей способствовали применение азотно-фосфорных удобрений и их совместное применение с навозом ($N_{42}P_{48}$ и $N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)).

За последние 11 лет в Амурской области почвы с низким уровнем подвижного фосфора перешли в категорию среднеобеспеченных, что связано с применением

минеральных удобрений и освоением залежных земель [8]. Однако использование интенсивных сортов сельскохозяйственных культур приводит к преобладанию выноса фосфора над его поступлением в почву [8]. Поэтому пополнение запасов подвижного фосфора в почве возможно только путем применения удобрений.

На образование и накопление в почве подвижных фосфатов большее влияние оказали фосфорные удобрения, которые стабилизировали фосфорное питание растений яровой пшеницы на протяжении всего периода вегетации (табл. 3). По сравнению с контрольным вариантом внесение в почву P_{30} (как в одностороннем порядке, так и в составе полного минерального удобрения) повысило содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы в фазу кущения на 22,2–31,1 %. Увеличение дозы фосфора до 48 кг/га в составе азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) повысило содержание P_2O_5 в почве в фазу кущения фактически в 2 раза по сравнению с контрольным вариантом.

Применение азотно-фосфорных удобрений в комплексе с навозом ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) обеспечило максимальное содержание подвижных фосфатов и их запасы в почве, составившие 95 мг/кг.

Таблица 3 – Динамика подвижного фосфора почвы по вегетации яровой пшеницы, в среднем за 2022–2024 гг.

Table 3 – Dynamics of mobile soil phosphorus in spring wheat vegetation, on average for 2022–2024

В мг/кг (in mg/kg)

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5	Номер варианта	Фазы развития				
		кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость	полная спелость
Низкая (27–35)	1	45	37	36	33	33
Средняя (37–50)	2	55	50	46	44	46
Низкая (27–35)	3	27	26	28	25	27
Средняя (37–50)	4	59	66	60	66	64
Повышенная (55–95)	5	89	88	82	81	84
Повышенная (55–95)	6	95	90	87	93	88
НСР ₀₅		15	15	12	13	16
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$

Применение только азотного удобрения в дозе 24 кг д. в./га привело к снижению содержания подвижных фосфатов на 6–18 мг/кг почвы на протяжении всех периодов вегетации, что связано с соответствующим их выносом культурами севооборота.

В результате проведения корреляционного анализа установили тесную корреляционную зависимость между содержанием подвижного фосфора в почве и надземной массой растений яровой пшеницы: в фазу кущения и выхода в трубку коэффициент корреляции составил 0,98; колошения – 0,87; молочной спелости – 0,70. Данная зависимости свидетельствуют о том, что хорошая обеспеченность почвы доступными для растений фосфатами увеличивает прирост надземной массы пшеницы. Аналогичные данные получены Е. Т. Наумченко (2020) на луговой черноземовидной почве.

Применение минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$), а также органоминеральной системы ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) приводит к повышению содержания подвижного фосфора в среднем за вегетацию на 130 и 145 % относительно неудобренного варианта. Длительное внесение одного азотного удобрения в дозе 24 кг д. в./га в почву с низкой степе-

ню обеспеченности фосфатами приводит к истощению почвенного запаса подвижных соединений фосфора на 27 %.

По данным П. К. Иванова (1971), яровая пшеница в начальный период развития депонирует большое количество элементов питания для построения структурных отдельностей растения; в последующие фазы масса растения увеличивается и концентрация их падает [9].

В наших исследованиях отмечалась та же закономерность в отношении накопления растениями азота, максимум которого во всех вариантах опыта приходился на фазу кущения и составлял 3,47–3,58 %; к фазе выхода в трубку его содержание снижалось на 1,03–1,02 %; к фазе колошения – на 1,50–1,54 % и к фазе молочной спелости – на 1,82–1,80 % (табл. 4).

Одновременно со снижением концентрации азота в растениях яровой пшеницы наблюдался активный прирост массы растений: с началом каждой последующей фазы она увеличивалась в 2 раза относительно предыдущей.

Наращение надземной массы в различные фазы развития относится к диагностическому признаку развития посевов яровой пшеницы; данный показатель напрямую влияет на зерновую продуктив-

Таблица 4 – Относительное содержание азота в растениях яровой пшеницы по фазам развития, в среднем за 2022–2024 гг.**Table 4 – Relative nitrogen content in spring wheat plants by development phases, on average for 2022–2024****В процентах (in percent)**

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5 , мг/кг	Номер варианта	Фаза развития			
		кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость
Низкая (27–35)	1	3,52	2,56	2,04	1,75
Средняя (37–50)	2	3,55	2,45	2,02	1,70
Низкая (27–35)	3	3,47	2,50	2,04	1,78
Средняя (37–50)	4	3,58	2,47	1,97	1,65
Повышенная (55–95)	5	3,58	2,48	2,07	1,74
Повышенная (55–95)	6	3,55	2,44	2,00	1,71
НСР ₀₅		0,11	0,10	0,05	0,08
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$

ность культуры. В наших исследованиях величина прироста сухой массы растений с каждой последующей фазой развития увеличивалась в 2 и более раз (табл. 5).

Так, в среднем по всем вариантам опыта величина сухой массы составила в

фазы (т/га): кушения – 0,39, выхода в трубку – 0,76, колошения – 1,41 и молочной спелости – 2,82. Сухая масса вегетативной части растений в контрольном варианте изменялась от 0,30 т/га в фазу кушения до 2,35 т/га в фазу молочной спелости.

Таблица 5 – Накопление воздушно-сухой массы яровой пшеницы по фазам роста и развития, в среднем за 2022–2024 гг.**Table 5 – Accumulation of air-dry mass of spring wheat by growth and development phases, on average for 2022–2024****В т/га (in t/ha)**

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5 , мг/кг	Номер варианта	Фаза развития			
		кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость
Низкая (27–35)	1	0,30	0,65	1,30	2,35
Средняя (37–50)	2	0,34	0,71	1,36	2,82
Низкая (27–35)	3	0,29	0,65	1,24	2,77
Средняя (37–50)	4	0,40	0,77	1,45	3,01
Повышенная (55–95)	5	0,52	0,88	1,47	2,92
Повышенная (55–95)	6	0,51	0,88	1,62	3,02
НСР ₀₅		0,14	0,20	0,29	0,65
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$

Варьирование биомассы при внесении в опыте только фосфорного удобрения P_{30} (средняя обеспеченность подвижным фосфором 37–50 мг/кг почвы) незначительно превышало неудобренный вариант, составляя 0,34–2,82 т/га, тогда как при применении только азотного удобрения в дозе 24 кг д. в./га (низкая степень обеспеченности подвижным фосфором 27–35 мг/кг почвы) оказалось ниже на 0,05–0,12 т/га.

По убеждению П. К. Иванова (1971), при дисбалансе азота и фосфора в питании растений преобладание последнего приводит к увеличению вегетативной части растений, но к снижению зерновой продуктивности [9].

Ускоренный прирост надземной части растений в ранний период развития («кущение – выход в трубку») происходил в вариантах: со средней обеспеченностью подвижными фосфатами при внесении полного минерального удобрения в дозе $N_{24}P_{30}K_{30}$ (средняя обеспеченность подвижным фосфором 37–50 мг/кг почвы); на повышенном фосфатном уровне с внесением азотно-фосфорного удобрения в дозе $N_{42}P_{48}$ и внесении комплексного органо-минерального удобрения ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) (повышенная обеспеченность подвижным фосфором 55–95 мг/кг почвы). В фазу колошения темпы прироста сухой массы замедляются во всех вариантах опыта, однако в варианте с применением органо-минерального удобрения на фоне повышенной обеспеченности почвы

фосфатами ($N_{24}P_{30}$ + навоз 4,8 т/га + фон 3) темпы роста сохранялись, достигая к фазе молочной спелости 3,02 т/га.

В полевых опытах В. А. Кумаковым (2000) установлено, что в годы, когда прирост сухой массы растений яровой пшеницы после колошения приблизительно равен ее накоплению до колошения, текущий фотосинтез полностью покрывает потребности растения в строительном материале в период формирования и налива зерна [10].

В наших исследованиях это положение подтверждается. Прирост величины сухой массы на фоне 1 (низкая степень обеспеченности подвижным фосфором) в контрольном варианте от фазы кушения до фазы колошения составил 0,99 т/га; за период от колошения до молочной спелости – 1,05 т/га. В вариантах с различной степенью обеспеченности подвижным фосфором и при внесении удобрений накопление биомассы в межфазный период «кущение – колошение» было меньше (0,94–1,11 т/га) по сравнению с периодом «колошение – молочная спелость» (1,42–1,56 т/га), что может свидетельствовать о лучшей реутилизации энергетического материала в период налива зерна.

В среднем за 2022–2024 гг. урожайность яровой пшеницы зависела от применяемых удобрений в опыте и степени обеспеченности подвижным фосфором. Так, в варианте без внесения удобрений (контроль) она составила 2,66 т/га (табл. 6).

Таблица 6 – Урожайность яровой пшеницы в среднем за 2022–2024 гг.

Table 6 – Average yield of spring wheat for 2022–2024

В т/га (in t/ha)

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5 , мг/кг	Номер варианта	Среднее значение	Прибавка урожайности
Низкая (27–35)	1	2,66	–
Средняя (37–50)	2	2,62	–0,04
Низкая (27–35)	3	2,80	0,14
Средняя (37–50)	4	2,76	0,10
Повышенная (55–95)	5	3,30	0,64
Повышенная (55–95)	6	3,06	0,40
НСР ₀₅		0,37	–
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} > F_{\tau}$	–

Одностороннее применение минерального удобрения в дозе 30 кг д. в./га фосфора в почве со средней обеспеченностью подвижным фосфором отмечено снижением урожайности относительно контрольного варианта на 0,04 т/га; незначительное увеличение над контролем было на вариантах с внесением только азотного удобрения в дозе 24 кг д. в./га и полного минерального удобрения ($N_{24}P_{30}K_{24}$) в почве с низкой и средней обеспеченностью подвижным фосфором (прибавка составила 0,14 и 0,10 т/га соответственно).

Самая высокая урожайность сформировалась в варианте с повышенной обеспеченностью почвы подвижным фосфором при внесении минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) и минерального удобрения в сочетании с органическим ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)), прибавка относительно контроля составила 0,64 и 0,40 т/га соответственно.

В наших исследованиях, в среднем за 2022–2024 гг. технологические параметры качества зерна достоверно возрастали только при внесении минеральных удобрений в почву на фоне повышений степени обеспеченности подвижным фосфором (табл. 7). Так, в контрольном варианте с низкой обеспеченностью подвижным фосфором масса сырой клейковины составляла 25,9 %, индекс деформации клейковины – 39 ед., белок – 11,35 %. В почве со средней обеспеченностью под-

вижным фосфором (37–50 мг/кг почвы) с внесением только фосфорного удобрения в дозе 30 кг/га масса клейковины снижалась на 1,2 %, количество белка было на уровне неудобренного варианта (11,31 %), а ИДК повышался на 5 ед.

Аналогичные данные были получены В. М. Лапушкиным (2022), когда применение одного фосфорного удобрения в чистом виде не повышало содержание клейковины в зерне яровой пшеницы [4].

При внесении азотного удобрения N_{30} в почву с низкой обеспеченностью подвижными фосфатами количество клейковины повышалось на 0,20 %, тогда как деформационные свойства клейковины на 5 ед., величина белка на 0,46 %. На почве со средней обеспеченностью подвижным фосфором с внесением $N_{24}P_{30}K_{24}$ количество и качество клейковины было на уровне N_{24} , а содержание белка повышалось на 0,34 процентных пункта.

Статистически значимое увеличение массы клейковины и белка было при возделывании яровой пшеницы на фоне с повышенной степенью обеспеченности подвижным фосфором в почве с внесением азотно-фосфорного $N_{42}P_{48}$ и $N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га) – на 9,1–2,5 и 2,44–0,92 % выше контрольного варианта соответственно (фон 1), а повышение индекса деформации клейковины носило тенденционный характер.

Таблица 7 – Зависимость качества зерна яровой пшеницы от степени обеспеченности почвы подвижным фосфором и внесения удобрений, в среднем за 2022–2024 гг.

Table 7 – Dependence of quality spring wheat grain on the degree of availability of mobile phosphorus and fertilizer application, on average for 2022–2024

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5 , мг/кг	Номер варианта	Масса сырой клейковины, %	Индекс деформации клейковины (ИДК), ед.	Белок, %
Низкая (27–35)	1	25,9	39	11,35
Средняя (37–50)	2	24,7	44	11,31
Низкая (27–35)	3	26,1	44	11,81
Средняя (37–50)	4	26,5	43	11,69
Повышенная (55–95)	5	35,0	51	13,89
Повышенная (55–95)	6	28,4	41	12,27
НСР ₀₅		1,7	5	0,61
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} > F_T$	$F_{\phi} > F_T$	$F_{\phi} > F_T$

По данным ряда исследователей, белок и клейковина зерна яровой пшеницы хорошо коррелируют с запасами элементов питания в почве. При этом самые сильные связи выявлены в период формирования и налива зерна [11, 12].

В наших исследованиях в фазу колошения отмечается сильная корреляционная зависимость между содержанием в почве минерального азота и качественными показателями зерна (табл. 8).

В фазу молочной спелости сопряженность между азотом почвы массы сырой клейковины, ИДК, содержанием белка в зерне снижалась. Уровень обеспеченности почвы подвижным фосфором влияет на формирование массы сырой клейковины и белка (коэффициент корреляции равен 0,63–0,70) в фазы колошения и молочной спелости. Связь между индексом деформации клейковины и содержанием обменного калия была средней отрицательной в фазу колошения (минус 0,47) и молочной спелости (минус 0,46); взаимосвязь с другими показателями качества была слабой обратной.

Заключение. Внесение азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$), его сочетание с органическим удобрением ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) в почву с повышенным фосфатным уровнем (55–95 мг/кг почвы) значительно увеличивало содержание в почве в среднем за вегетационный период

на 55–68 % минерального азота и на 130–145 % подвижного фосфора по сравнению с вариантом без применения удобрений.

При внесении минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) в почву с повышенным уровнем фосфора наблюдался быстрый прирост сухого вещества в фазе «кущения – выхода в трубку», составивший 0,22–0,23 т/га. С начала фазы колошения органоминеральная система удобрений ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) в почве с высоким содержанием подвижных фосфатов обеспечивала прибавку валового сухого вещества на 0,32–0,67 т/га относительно контрольного варианта.

Наибольшее накопление азота в фазе кущения (на 0,06 % выше контрольного варианта) наблюдалось у растений яровой пшеницы в варианте с внесением азотно-фосфорного удобрения в дозе $N_{42}P_{48}$ и органоминеральной системы удобрения ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) с повышенной степенью обеспеченности почвы подвижными фосфатами (55–95 мг/кг почвы).

Самая высокая урожайность яровой пшеницы сформировалась в варианте с повышенной обеспеченностью почвы подвижным фосфором (55–95 мг/кг почвы) при внесении минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) и его сочетания с органическим удобрением ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)), где прибавка к контролю составила 0,64 и 0,40 т/га соответственно.

Таблица 8 – Корреляционная зависимость качественных показателей зерна яровой пшеницы от содержания подвижных форм питательных веществ в почве в фазы колошения и молочной спелости (среднее за 2022–2024 гг.)

Table 8 – Correlation dependence of quality indicators of spring wheat grain on the content of mobile forms of nutrients in the soil during the earing and milk ripeness phases (average for 2022–2024)

Содержание в почве	Коэффициент корреляции (r) между		
	масса сырой клейковины, %	индекс деформации клейковины (ИДК), ед.	белок, %
<i>Колошение</i>			
$N_{мин}$	0,93	0,63	0,94
P_2O_5	0,70	0,39	0,70
<i>Молочная спелость</i>			
$N_{мин}$	0,37	–0,09	0,39
P_2O_5	0,63	0,31	0,63

Статистически достоверный рост качественных показателей (сырая клейковина, индекс деформации и количество протеина) в зерне пшеницы отмечен в вариантах с внесением азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$), а также органоминеральной системы удобрений ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) в почве с повышенной степенью

обеспеченности подвижным фосфором (55–95 мг/кг почвы).

Методом парной корреляции установлено, что основными элементами питания в фазу колошения, влияющими на накопление белка, являются азот и фосфор (коэффициенты корреляции составили 0,63–0,94 и 0,39–0,70 соответственно).

Список источников

1. Бесалиев И. Н., Панфилова А. Л. Продолжительность и условия межфазных периодов вегетации как факторы продуктивности сортов яровой пшеницы в Оренбургском Предуралье // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 202–212. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-202. EDN QQWJUM.
2. Наумченко Е. Т., Банецкая Е. В. Потребление азота яровой пшеницей на разных уровнях обеспеченности подвижным фосфором // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 23–27. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10604. EDN JLSMVQ.
3. Нестеренко В. А., Лапушкин В. М. Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором // Плодородие. 2019. № 3 (108). С. 19–21. doi: 10.25680/S19948603.2019.108.06. EDN ZSOCXJ.
4. Лапушкин В. М., Муравьева О. А., Лапушкина А. А., Волкова М. А. Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на эффективность азотных удобрений и формирование элементов структуры урожая яровой пшеницы // Плодородие. 2022. № 3 (126). С. 6–12. doi: 10.25680/S19948603.2022.126.02. EDN HSBTCM.
5. Белобусов А. С., Лапушкин В. М., Верниченко И. В. Влияние некорневой подкормки яровой пшеницы сульфатом цинка на усвоение отдельных форм азота при разной обеспеченности почвы подвижным фосфором // Агрохимический вестник. 2021. № 6. С. 29–33. doi: 10.24412/1029-2551-2021-6-006. EDN IWOQZ.
6. Синеговская В. Т., Наумченко Е. Т. Система удобрений как средство воспроизводства плодородия почвы и стабилизации продуктивности полевого севооборота // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 38–41. doi: 10.30850/vrsn/2020/1/38-41. EDN CBIUKY.
7. Синеговская В. Т., Наумченко Е. Т., Кобозева Т. П. Методы исследований в полевых опытах с соей : учебное пособие. Благовещенск : Одеон, 2016. 115 с. EDN VTTCGR.
8. Дудукалов К. А. Состояние плодородия пахотных почв южной зоны Амурской области // Земледелие. 2017. № 1. С. 30–32. EDN YLNAND.
9. Иванов П. К. Яровая пшеница. М. : Колос, 1971. 28 с.
10. Кумаков В. А., Евдокимова О. А., Буянова М. А. Способы ранжирования генотипов яровой пшеницы по их потенциальной продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды по накоплению и распределению сухой массы растений в период вегетации // Сельскохозяйственная биология. 2000. № 1. С. 108–112.
11. Суркова Ю. В., Цымбаленко И. Н., Гилев С. Д. Влияние минеральных удобрений и агротехнических приемов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в разных метеоусловиях центральной лесостепной зоны Зауралья // Агрохимия. 2022. № 4. С. 11–17. doi: 10.31857/S0002188122020132. EDN GFDJKN.
12. Скороходов В. Ю., Кафтан Ю. В., Зоров А. А. Качество зерна яровой мягкой и твердой пшеницы в севооборотах Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 260–272. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260. EDN ZKWBUN.

References

1. Besaliev I. N., Panfilova A. L. Duration and conditions of interphase vegetation periods as factors of productivity of spring wheat varieties in the Orenburg region. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2023;106;3:202–212. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-202. EDN QQWJUM (in Russ.).
2. Naumchenko E. T., Banetskaya E. V. Nitrogen consumption in spring wheat at different levels of mobile phosphorus availability. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020;34;6:23–27. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10604. EDN JLSMVQ (in Russ.).
3. Nesterenko V. A., Lapushkin V. M. The formation of yield and grain quality of spring wheat depending on the doses of nitrogen fertilizers and the availability of mobile phosphorus in the soil. *Plodorodie*, 2019;3(108):19–21 doi: 10.25680/S19948603.2019.108.06. EDN ZSOCXJ (in Russ.).
4. Lapushkin V. M., Muravyova O. A., Lapushkina A. A., Volkova M. A. The effect of soil availability of mobile phosphorus on the effectiveness of nitrogen fertilizers and the formation of elements of the structure of the spring wheat crop. *Plodorodie*, 2022;3(126):6–12. doi: 10.25680/S19948603.2022.126.02. EDN HSBTCM (in Russ.).
5. Belobusov A. S., Lapushkin V. M., Vernichenko I. V. The effect of foliar top dressing of spring wheat with zinc sulfate on the assimilation of individual forms of nitrogen with different soil availability of mobile phosphorus. *Agrokhimicheskii vestnik*, 2021;6:29–33. doi: 10.24412/1029-2551-2021-6-006. EDN IWOQZ (in Russ.).
6. Sinegovskaya V. T., Naumchenko E. T. Fertilizer system as a means of reproducing soil fertility and stabilizing field crop rotation productivity. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2020;1:38–41. doi: 10.30850/vrsn/2020/1/38-41. EDN CBIUKY (in Russ.).
7. Sinegovskaya V. T., Naumchenko E. T., Kobozeva T. P. *Research methods in field experiments with soybeans: a textbook*, Blagoveshchensk, Odeon, 2016, 115 p. (in Russ.).
8. Dudukalov K. A. The state of fertility of arable soils in the southern zone of the Amur region. *Zemledelie*, 2017;1:30–32. EDN YLNAND (in Russ.).
9. Ivanov P. K. *Spring wheat*, Moscow, Kolos, 1971, 28 p. (in Russ.).
10. Kumakov V. A., Evdokimova O. A., Buyanova M. A. Methods for ranking spring wheat genotypes by their potential productivity and resistance to adverse environmental factors by accumulation and distribution of dry plant mass during the growing season. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2000;1:108–112 (in Russ.).
11. Surkova Yu. V., Tsymbalenko I. N., Gilev S. D. The influence of mineral fertilizers and agrotechnical techniques on the yield and quality of spring wheat grains in different weather conditions of the central forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Agrokhimiya*, 2022;4:11–17. doi: 10.31857/S0002188122020132. EDN GFDJKN (in Russ.).
12. Skorokhodov V. Yu., Kaftan Yu. V., Zorov A. A. Grain quality of spring soft and durum wheat in crop rotations of Orenburg region. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2023;106;4: 260–272. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260. EDN ZKWBUN (in Russ.).

© Кубасов И. А., Епифанцев В. В., 2025

Статья поступила в редакцию 24.09.2025; одобрена после рецензирования 14.11.2025; принята к публикации 18.11.2025.

The article was submitted 24.09.2025; approved after reviewing 14.11.2025; accepted for publication 18.11.2025.

Информация об авторах

Кубасов Илья Александрович, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7395-9437>, Author ID: 1097364, 89145656ilya@gmail.com;

Епифанцев Виктор Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7047-0134>, Author ID: 6556-2643

Information about the authors

Ilya A. Kubasov, Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7395-9437>, Author ID: 1097364, 89145656ilya@gmail.com;

Viktor V. Epifantsev, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7047-0134>, Author ID: 6556-2643

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.