

УДК 631.811:631.812

НЕСТЕРЕНКО

Виталий Александрович

**ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ И КАЧЕСТВА
ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ АЗОТНЫХ
УДОБРЕНИЙ И СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА
В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ**

Специальность: 06.01.04 – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук**

Москва 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» Минобрнауки России

Научный руководитель: **Шафран Станислав Аронович**
доктор сельскохозяйственных наук

Официальные оппоненты: **Капранов Владимир Николаевич,**
доктор сельскохозяйственных наук,
ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», лаб. сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, ведущий научный сотрудник
Бугаев Петр Дмитриевич,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева», кафедра растениеводства и луговых экосистем, доцент кафедры

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский Государственный Университет им Н.П. Огарева»

Защита диссертации состоится « 09 » декабря 2021 года в 14-00 час. на заседании диссертационного совета Д006.029.01 при ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии Д.Н. Прянишникова, по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии Д.Н. Прянишникова и на сайте:

https://www.vniia-pr.ru/upload/iblock/9e8/nesterenko_diss_16_09_2021.pdf

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а, ученому секретарю диссертационного совета.

E-mail: dissovet_vniia@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета

Никитина Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. После резкого уменьшения объема применяемых удобрений в 1990-х гг. наблюдается устойчивая тенденция к снижению обеспеченности пахотных почв питательными элементами, особенно остро эта проблема стоит по отношению к фосфору. В последнее время в нашей стране все большую площадь занимают земли со средним и низким его содержанием, в то время как доля угодий с высоким и повышенным содержанием подвижных фосфатов неуклонно снижается. В связи с этим резко снизился и потенциал продуктивности этих почв.

При этом необходимо понимать, что именно фосфору принадлежит особая роль в процессах обмена веществ, протекающих в растительном организме. Его исключительная функция связана с энергетическим обменом живой клетки, именно фосфор и его макроэргические соединения являются поставщиком энергии необходимой для поглощения других элементов питания, а также для синтеза и превращения органических соединений. При этом одним из самых энергозатратных процессов в растении, несомненно, является синтез белка. Поэтому выращивание растений на почвах с низким содержанием фосфора приводит не только к существенному недобору урожая, но и ухудшению его качества.

Основным направлением в агрохимических исследованиях является рационально-адаптированное применение удобрений в зависимости от особенностей культуры, её сорта и зонального расположения производства. В настоящий момент с вводом в Российское сельское хозяйство технологии No-Till, которая предусматривает дифференцированное внесение удобрений и использование ресурсов производства в комплексе, разработка методов применения удобрений с минимальными затратами является актуальной на данный момент.

Цель и задачи исследования. Цель исследований – изучить влияние содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве на эффективность применения азотных удобрений под яровую пшеницу сорта «Любава».

В ходе исследований решались следующие задачи:

1. Изучить эффективность применения азотных удобрений на урожайность и качество яровой пшеницы сорта Любава в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве;
2. Оценить окупаемость применения азотных удобрений прибавкой урожая яровой пшеницы в зависимости от содержания доступных фосфатов;
3. Определить влияние азотных удобрений на структуру урожая яровой пшеницы;
4. Оценить действие азотных удобрений на химический состав яровой пшеницы;
5. Установить влияние доз азотных удобрений и содержания подвижного фосфора в почве на потребление и вынос элементов питания урожаем;

6. Определить коэффициенты использования азота из минеральных удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве.

Научная новизна работы. Впервые на базе обширного экспериментального материала, полученного в результате проведения вегетационного и полевого опытов, изучено влияние уровня содержания подвижного фосфора на эффективность использования азотных удобрений при выращивании яровой пшеницы сорта Любава на дерново-подзолистых почвах. Проведена оценка применения различных доз азотных удобрений при низком, среднем и высоком содержании подвижных фосфатов в дерново-подзолистой почве в вегетационном и полевом мелкодележном опыте на яровой пшенице сорта Любава в течение 3-х лет. В ходе исследований установлено влияние уровня содержания подвижного фосфора на использование азотных удобрений яровой пшеницей. Также доказано, что содержание подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве оказывает влияние на формирования урожая и качества яровой пшеницы сорта Любава при различных дозах азотных удобрений.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные данные в результате исследований по изучению эффективности применения азотных удобрений при различном содержании фосфора будут использованы для планирования внесения доз азотных удобрений в зависимости от обеспеченности подвижными фосфатами на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны под яровую пшеницу. В ходе эксперимента установлены закономерности в эффективности различных доз азотных удобрений при разной обеспеченности почв фосфором. Результаты, полученные в ходе исследований можно использовать для технологии дифференцированного внесения как азотных, так и фосфорных удобрений, с целью рационализации их применения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Эффективность применения различных доз азотных удобрений на урожай и качество яровой пшеницы сорта Любава в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве.

2. Влияние азотных удобрений на структуру урожая в зависимости от содержания доступных фосфатов в почве.

3. Действие азотных удобрений и содержание доступного фосфора в почве на химический состав яровой пшеницы сорта Любава.

4. Влияние содержания подвижного фосфора в почве и доз азотных удобрений на коэффициенты использования N минеральных удобрений яровой пшеницей сорта Любава.

Апробация работы. Материалы диссертации ежегодно зачитывались на годовых отчетах о деятельности аспирантов. Результаты работы были представлены на XI Международной научно-практической конференции: «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» (Пенза, 15 апреля 2018 г.); XXV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: «Ломоносов-2018» (Москва, 09-13 апреля 2018 г.); Международной научной конфе-

ренции молодых ученых и специалистов, посвящённая 150-летию со дня рождения В.П. Горячкина (Москва 06-07 июня 2018 г.); 52, 53, 54-й Международных научных конференциях молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов в ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова: «Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства (Москва, 24-25 октября 2018 г.); «Оптимальное питание растений и восстановление плодородия почв в условиях ведения традиционной и органической систем земледелия» (Москва, 24-25 октября 2019 г.); «Проблемы и перспективы развития современной агрохимии» (Москва, 26-27 ноября 2020 г.) VI Всероссийской научно-практической конференции: «Инновационные технологии в АПК: Теория и практика» (Пенза, 28-29 марта 2018 г.); Международной конференции (К 100-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ Тамары Никандровны Кулаковской): «Плодородие почв России: Состояние, тенденции и прогноз» (Москва, 26-27 ноября 2019 г.); XVI Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию становления и развития аграрной науки в Республике Мордовия и памяти профессора С.А. Лапшина: «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (Саранск, 15-16 октября 2020 г.); XXVII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: «Ломоносов-2020» (Москва, 10-27 ноября 2020 г.).

Личный вклад автора. Соискатель принимал участие в закладке и проведении вегетационных и полевых испытаний в изучении эффективности применения различных доз азотных удобрений на яровой пшенице сорта Любава при разном содержании подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве. Так же непосредственно участвовал в проведении лабораторных анализов полученного урожая, в обработке материалов исследований и подготовке материалов к защите. Участвовал в подготовке материалов к публикациям.

Публикации. Материалы диссертационного исследования опубликованы в 11 печатных работах, в т.ч. 2 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертационное исследование представлено на 131 страниц и состоит из введения, литературного обзора, методической и экспериментальной частей, заключения, выводов, рекомендаций производству, рекомендаций для дальнейших исследований, списка используемой литературы. Работа включает – 35 таблицы и 9 рисунков. Список используемой литературы включает 210 наименований, в том числе 49 иностранных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Объект, условия и методы исследований

Исследования по теме диссертации проведены в период с 2017 по 2020 год, в вегетационных сосудах работа проводилась в 2017-2019 гг. в вегетационном домике кафедры агрономической, биологической химии и радиологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, в сосудах Митчерлиха,

вмещающих по 5 кг сухой почвы в соответствии с общепринятой методикой. Полевые исследования проводились в 2018-2020 гг. на Полевой опытной станции ФГБНУ ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, пгт. Барыбино, Домодедовского района Московской области. Объектами исследований были выбраны форма азотных удобрений в виде аммиачной селитры, фосфатный режим дерново-подзолистых почв, также сорт яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Любава селекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Немчиновка», включенного в реестр в 2012 г. и районированного для выращивания в центральном регионе.

Для заполнения вегетационных сосудов использовали пахотный горизонт дерново-подзолистой почвы с полевых опытов, проводимых на Центральной опытной станции ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова. Почву отбирали с территории делянок с низким (≤ 50 мг/кг), средним (51-100 мг/кг) и высоким содержанием подвижного фосфора (150-250 мг/кг) (по Кирсанову). Схема опыта включала в себя шесть вариантов в четырех повторностях с возрастающими дозами азота аммиачной селитры 1. N0; 2. N50; 3. N100; 4. N150; 5. N200; 6. N250 мг N/кг почвы.

Полевые мелкоделяночные опыты проводили в 2018-2020 гг. на территории Центральной опытной станции ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова пгт. Барыбино, Домодедовского района Московской области. Опыты проводились по единой схеме на фонах с низким (46 мг/кг), средним (76 мг/кг) и повышенным (108 мг/кг) содержанием подвижного фосфора (по Кирсанову), которые создавали осенью 2017 г. путем внесения фосфоритной муки из расчета 300 и 700 кг P_2O_5 /га. Содержание легкодоступных фосфатов по Карпинскому-Замятиной соответствовало среднему – 0,16, 0,12 мг/л и высокому уровню – 0,24 мг/л. Схема опыта включала в себя четыре варианта в четырех повторностях с возрастающими дозами азота аммиачной селитры (кг N/га) 1. Фон K_{120} ; 2. N60; 3. N90; 4. N120. Площадь учетной делянки 1 м². Аммиачную селитру вносили вручную на каждую учетную делянку, делянки по полю располагались последовательно.

Посев проводили туковысевающей сеялкой с шириной захвата 3,6 метра, с междурядьем 15 см. Норма высева составила рекомендованную для данного сорта из расчета 230 кг/га. Сроки сева определялись погодными условиями каждого сезона. Так в 2018 году посев проводили 8 мая, в 2019 25 апреля и 2020 27 апреля. Перед посевом опытный участок подвергался культивации с боронованием.

В среднем за годы исследований почва характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса 1,4-1,7%, рН_{KCl} 4,5-5,4, гидролитическая кислотность 3,1-2,5 мг-экв/100 г, сумма поглощенных оснований 12,2-13,1 мг-экв/100 г, степень насыщенности основаниями 79-83%, содержание легкогидролизуемого азота 37,0-41,0 мг/кг, обменного калия 186-244 мг/кг, содержание подвижных форм фосфора 38-176 мг/кг. Анализы почвы выполняли по соответствующим ГОСТам и общепринятым методикам.

В течение сезонов вегетационного и полевого опытов велись фитосанитарные наблюдения за посевами яровой пшеницы. При обнаружении вред-

ных объектов (сорняков, вредителей, болезней) были приняты соответствующие меры борьбы с помощью ХСЗР согласно регламентам их применения.

Статистическую обработку результатов опыта проводили при помощи программ STRAZ и MS Excel. Расчет выноса элементов питания и коэффициентов использования из удобрений проводили согласно общепринятым методикам. Содержание элементов питания в растительных образцах проводили после мокрого озоления по методу Кьельдаля (ГОСТ 26107-84). Валовое содержание фосфора – колориметрически, методом Труога-Мейера (ГОСТ 26657-97); калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504-97); азота – микрометодом Кьельдаля. Основные показатели качества зерна – методом инфракрасной спектроскопии.

Метеоусловия в годы проведения полевых исследований были разные. Вегетационный период 2018, 2019 года отличался повышенными температурами и недостаточным количеством осадков, средняя температура мая в 2018 году была выше на + 3 °С относительно средних многолетних данных, а максимальная температура превысила отметку 27 °С. В июне того же года максимальная температура воздуха превышала 30 °С и сопровождалась недостаточным количеством осадков, совокупность данных факторов отрицательно повлияло на полученный урожай.

В сезоне 2019 года средняя температура мая и июня превышала + 3,1 – 2,6 °С, а средняя температура июля отклонилась в обратную сторону на –2,5 °С. Высокая температура воздуха и недостаточное количество влаги в период закладки потенциала на будущий урожай привело к значительному снижению продуктивности яровой пшеницы.

В течение вегетационного сезона 2020 г. метеоусловия складывались с обильным количеством осадков и умеренными температурами. Количество осадков в мае и июне превышали средние многолетние данные на 80 и 52 %, а умеренные температуры воздуха положительно повлияли на полученные результаты исследований, но стоит отметить, что повышенное увлажнение и теплые условия, спровоцировали вспышки болезней листьев и стеблей, в результате чего было принято решение о проведении 2-й фунгицидной обработки в фазу колошения, начало цветения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Формирование урожайности яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почв подвижными фосфатами

В условиях вегетационного и полевого мелкоделяночного опыта изучалось влияние доз азотных удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве на урожайность яровой пшеницы сорта Любава.

Результаты вегетационного и полевого опытов говорят о том, что на урожай яровой пшеницы повлияли как дозы азотных удобрений, так и обеспеченность дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв подвижным фосфором (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Урожай яровой пшеницы и окупаемость азотных удобрений в вегетационном опыте за 2017-19 гг.

Вариант	Масса зерна, г/сосуд				Прибавка урожая, г/сосуд	Окупаемость, N г/г
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	в среднем		
P_2O_5 – 38 мг/кг						
Контроль	4,6	4,9	7,0	5,5	-	-
N50	5,7	8,6	12,8	9,1	3,6	14,4
N100	8,8	12,2	17,7	12,9	7,4	14,8
N150	10,6	13,8	18,5	14,3	8,8	11,7
N200	10,8	12,4	18,9	14,0	8,5	8,5
N250	7,9	10,8	19,1	12,6	7,1	5,7
НСР ₀₅	1,1	1,5	1,6	0,9	-	-
P_2O_5 – 75 мг/кг						
Контроль	7,0	5,5	5,9	6,1	-	-
N50	12,4	10,8	13,9	12,3	6,2	24,8
N100	14,0	14,0	18,4	15,5	9,4	18,8
N150	15,8	15,0	22,3	17,7	11,6	15,5
N200	16,4	14,5	19,1	16,7	10,6	10,6
N250	16,4	13,6	20,1	16,7	10,6	8,5
НСР ₀₅	1,0	1,0	2,4	0,9	-	-
P_2O_5 – 176 мг/кг						
Контроль	8,2	8,0	7,1	7,8	-	-
N50	12,6	11,3	14,5	12,8	5,0	20,0
N100	15,2	13,5	20,5	16,4	8,6	17,2
N150	15,7	14,6	24,2	18,2	10,4	13,9
N200	15,7	14,1	24,6	18,1	10,3	10,3
N250	15,5	15,5	26,2	19,1	11,3	9,0
НСР ₀₅	2,6	1,3	2,0	1,2	-	-

В течение трех лет в вегетационном опыте наблюдалась устойчивая тенденция увеличения массы зерна при увеличении доз азотных удобрений от 50 до 150 мг N/кг при низкой и средней обеспеченности почвы фосфором и варьировала в диапазоне 9,1-14,3 и 12,3-17,7 г/сосуд, соответственно при высоком содержании P_2O_5 урожай зерна неизменно возрастал с каждой дозой вплоть до максимальной и составил 19,1 г/сосуд (табл. 1).

Между величиной урожая зерна и дозами азотных удобрений была выявлена прямая, умеренная по тесноте связь ($r=0,68$). Также установлена значимая по тесноте и прямая по направлению связь между величиной урожая и содержанием в почве подвижного фосфора ($r=0,42$). При этом в вегетационном опыте выявлена связь между полученными прибавками урожая и дозами азотных удобрений, на почве с низким содержанием фосфора данный показа-

тель не отразил значимой зависимости, на почве со средним содержанием фосфора коэффициент корреляции составил – 0,43 и с высоким содержанием фосфора – 0,44, что свидетельствует о повышении эффективности азотных удобрений по мере улучшения фосфатного режима почв.

Таблица 2 – Урожай яровой пшеницы и окупаемость азотных удобрений в полевом мелкоделяночном опыте за 2018-20 гг.

Вариант	Масса зерна, г/м ²				Прибавка урожая, г/м ²	Окупаемость, N г/г
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	в среднем		
P ₂ O ₅ – 46 мг/кг						
Фон K ₁₂₀	149	108	178	145	-	-
N60	193	128	227	183	38	6,3
N90	193	123	295	204	59	6,6
N120	225	125	325	225	80	6,7
НСР ₀₅	32	13	24	14	-	-
P ₂ O ₅ – 76 мг/кг						
Фон K ₁₂₀	194	153	198	182	-	-
N60	214	164	254	211	29	4,8
N90	242	183	323	249	67	7,4
N120	238	188	351	259	77	6,4
НСР ₀₅	26	32	30	18	-	-
P ₂ O ₅ – 108 мг/кг						
Фон K ₁₂₀	174	154	212	180	-	-
N60	207	177	269	218	38	6,3
N90	211	209	341	254	74	8,2
N120	227	256	369	284	104	8,7
НСР ₀₅	32	29	21	16	-	-

Согласно полученным данным в среднем за три года, самая высокая прибавка урожая зерна яровой пшеницы от азотных удобрений составила 8,8 г/сосуд при низкой обеспеченности почв P₂O₅ и средней 11,6 г/сосуд, в диапазоне доз азота от 50 до 150 мг/кг почвы, дальнейшее увеличение доз азота не приводило к росту прибавки урожая. На почвах с повышенным содержанием доступного P₂O₅ прибавка урожая яровой пшеницы составила 11,3 г/сосуд при дозе азота 250 мг/кг почвы.

В среднем за три года окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая в вегетационном опыте варьировала от 5,7 до 24,8 г/г. С увеличением доз азотных удобрений, снижалась их окупаемость. На почвах с низким содержанием фосфора данный показатель снижался с 14,4 до 5,7 г/г, со средним от 24,8 до 8,5 и высоким от 20,0 до 9,2 г/г. Увеличение содержания доступного фосфора в почве позволили увеличить окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая яровой пшеницы (табл. 1).

В полевом мелкоделяночном опыте получены аналогичные результаты. На протяжении трех лет наблюдалась устойчивая тенденция увеличения урожая от каждой дозы азотных удобрений на почвах низкой, средней и высокой обеспеченности почв фосфором (табл. 2).

В среднем за три года урожай яровой пшеницы варьировал от 145 до 225 г/м² на почве с низким содержанием подвижных фосфатов, от 182 до 259 г/м² средним и от 180 до 284 г/м² с высоким содержанием фосфора.

Наиболее высокий сбор зерна был получен при максимальной дозе азотных удобрений на почве с повышенным содержанием подвижного фосфора.

Установлено, что между величиной полученного урожая зерна и дозами азотных удобрений была выявлена значимая по тесноте связь ($r=0,48$). Связь между прибавками урожая и дозами азотных удобрений при низком и среднем содержании подвижного фосфора не характеризуется значимым коэффициентом корреляции, а на почвах с высоким содержанием фосфора данный показатель равен – 0,62.

В среднем за три года прибавка урожая яровой пшеницы от внесения N 120 кг/га на почве с низким содержанием фосфора составила 80 г/м², на почве с средним и высоким содержанием подвижных фосфатов 77 г/м² и 104 г/м² соответственно.

Окупаемость одного грамма азота прибавкой урожая в среднем за три года опыта показала, что увеличение доз азотных удобрений до 90 кг/га на почвах с низким и средним содержанием доступных фосфатов способствовало повышению окупаемости грамма азота до 6,6 и 7,4 г зерна. Дальнейшее увеличение доз азотных удобрений не привело к значимому увеличению данного показателя, а на почвах со средним содержанием P₂O₅ напротив снизили его. На почве с повышенным содержанием фосфора окупаемость грамма азота прибавками урожая повышалось с каждой дозой азота от 6,3 до 8,7 г зерна на 1 г N (табл. 2), т.е. достаточная обеспеченность почв фосфором способствует лучшей окупаемости удобрений прибавками урожая.

Биометрические данные растений яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и содержания подвижного фосфора в почве

В ходе 3-х летних исследований установлено влияние как доз азотных удобрений, так и содержание подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве на формирование растений яровой пшеницы. Средняя площадь листьев яровой пшеницы в вегетационном опыте в фазу 3-5 листьев в среднем по опыту варьировалась 12,1-26,3 см² с максимумом при дозе азота 250 мг/кг и высоком обеспечении почв фосфором. Высота растений в данную фазу установлена в пределах 6,5-15,5 см, также с максимальным показателем при высоком содержании подвижного фосфора и дозой азота 250 мг/кг. Аналогичная тенденция к нарастанию площади листьев наблюдается в фазы выхода в трубку и колошения, начало цветения, с увеличением данного показателя порядка 22 % между вариантами опыта. В тоже время высота растений яровой пшеницы в данные фазы значимо изменяется как от содержания подвижного

фосфора, так и в диапазоне доз азотных удобрений 50-150 мг/кг и находиться в пределах 39,6-105,9 см.

Данные таблиц 3, 4 отражают изменение структуры урожая в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почв подвижным фосфором в вегетационном и полевом опытах в среднем за три года исследований. Установлено, что достаточная обеспеченность растений фосфором способствовала формированию более крупного зерна по сравнению с растениями, выращенными на почве с низким содержанием P_2O_5 .

Таблица 3 – Структура урожая яровой пшеницы в вегетационном опыте в среднем за 2017-19 гг.

Вариант	Масса 1000 зерен, г.	Масса 1 колоса, г.	Кол. зерен в колосе, г.	Длина колоса, см	Отношение поб. пр./осн.
$P_2O_5 - 38$ мг/кг					
Контроль	29,2	0,42	11	4,1	1,5
N50	32,6	0,67	16	7,0	1,7
N100	36,7	0,94	20	9,5	1,2
N150	38,4	0,97	21	10,7	1,1
N200	37,5	0,96	21	11,5	1,1
N250	35,1	0,88	20	11,0	1,2
HCP ₀₅	1,55	0,06	1,3	1,2	0,1
$P_2O_5 - 75$ мг/кг					
Контроль	32,3	0,46	11	5,3	1,8
N50	35,9	0,89	21	9,8	1,4
N100	37,9	1,11	24	11,4	1,3
N150	39,9	1,23	26	12,5	1,3
N200	39,3	1,20	26	12,9	1,2
N250	37,7	1,18	25	13,1	1,3
HCP ₀₅	1,33	0,06	1,4	1,3	0,1
$P_2O_5 - 176$ мг/кг					
Контроль	33,6	0,60	14	7,3	1,6
N50	36,6	0,91	20	10,6	1,4
N100	37,5	1,13	25	12,2	1,3
N150	39,8	1,18	26	13,3	1,2
N200	40,7	1,25	25	13,2	1,2
N250	41,3	1,22	25	13,2	1,2
HCP ₀₅	1,75	0,12	1,4	1,5	0,1

Средняя масса 1000 зерен в вегетационном опыте на вариантах с внесением азотных удобрений на почвах со средним содержанием P_2O_5 была на 1,5 г, а при высоком содержании P_2O_5 на 2,9 г выше, чем на более бедной фосфором почве. Выявлена зависимость роста массы 1000 зерен от обеспеченности почв фосфором на неудобренных вариантах. Так, на почве с сред-

ним содержанием фосфора масса 1000 зерен была выше на 3,1 г, а при высоком на 4,4 г по сравнению с низкой обеспеченностью почвы подвижными фосфатами (табл. 3). В условиях вегетационного опыта в среднем за 3 года установлено, что при низком и среднем содержании в почве фосфора максимальная масса 1000 зерен была достигнута при внесении азота в дозе 150 мг/кг почвы и составила 38,4 и 39,9 г соответственно. Дальнейшее увеличение количества внесенного азота приводило к существенному снижению массы 1000 зерен до 35,1 г при низкой обеспеченности фосфором и 37,7 г при средней. На почве с высоким содержанием фосфора масса 1000 зерен увеличивалась от 36,6 до 41,3 г от каждой дозы азота (табл. 3). Увеличение содержания в почве доступного фосфора и доз азотных удобрений положительно влияло на массу колоса и количество зерен (табл. 3).

Таблица 4 – Структура урожая яровой пшеницы в полевом мелкоделяночном опыте в среднем за 2018-20 гг.

Вариант	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Отношение поб. пр./осн.	K _(хоз)
P ₂ O ₅ – 46 мг/кг				
Фон К120	36,7	800	1,5	0,37
N60	37,8	811	1,7	0,38
N90	38,3	801	1,2	0,39
N120	38,9	801	1,1	0,39
НСР 05	1,7	-	1,1	-
P ₂ O ₅ – 76 мг/кг				
Фон К120	37,6	806	1,8	0,38
N60	40,3	808	1,4	0,37
N90	40,5	813	1,3	0,38
N120	40,1	809	1,3	0,37
НСР 05	1,2	-	1,2	-
P ₂ O ₅ – 108 мг/кг				
Фон К120	39,2	818	1,6	0,36
N60	40,7	818	1,4	0,37
N90	41,2	834	1,3	0,39
N120	41,3	839	1,2	0,40
НСР 05	1,0	-	1,2	-

Среднее количество зерен в колосе за 3 года на удобренных вариантах при низкой обеспеченности почв фосфором варьировало от 16 до 21 шт. в зависимости от доз азотных удобрений и составило прибавку к контролю в среднем 10 шт. в колосе. При средней и высокой обеспеченности почв фосфором количество зерен в колосе варьировалось от 21 до 26 и от 20 до 26 шт. на удобренных вариантах в диапазоне доз азота от 50 до 150 мг/кг почвы соответственно.

Количество зерен превышало контроль на 15 и на 12 шт. при среднем и высоком содержанием фосфора в почве. Увеличение доз азотных удобрений до 250 мг N/кг почвы не способствовали росту озерненности колосьев, что предположительно ограничено генетическим потенциалом сорта.

В среднем по опыту максимальная масса 1 колоса составляла 0,97, 1,23, 1,25 г на почве с низким, средним и высоким содержанием P_2O_5 соответственно, при дозе азота в 150 и 200 мг/кг почвы в условиях вегетационного опыта (табл. 3). Опираясь на полученные данные, можно заключить, что как возрастающие дозы азота, так и содержание в почве доступного фосфора оказывает положительное влияние на рост показателей массы 1 колоса и количество зерен в колосе, что как и в раннее описанных данных подтверждает синергизм элементов питания для яровой пшеницы.

В среднем за три года на почвах с низким содержанием фосфора масса 1 колоса варьировала от 0,42 г на неудобренной почве до 0,97 г при внесении азотных удобрений 150 мг N/кг почвы. При средней и высокой обеспеченности почв доступными фосфатами данный показатель находился в диапазоне от 0,46 до 1,23 г при дозе азота 150 мг/кг и от 0,60 до 1,25 г при внесении азота 200 мг/кг.

Установлено что на почвах с низкой и средней обеспеченностью фосфором повышение доз азота более 150 мг/кг не приводит к увеличению массы 1 колоса. При высокой обеспеченности почв фосфатами показатель массы 1 колоса рос с дозами азотных удобрений до 200 мг N/кг почвы и составил 1,25 г.

В таблице 4 отражена четкая зависимость изменения массы 1000 зерен не только от доз азотных удобрений, но и от содержания в почве подвижного фосфора. Масса 1000 зерен варьировала в среднем в полевом опыте от 36,7 до 41,3 г.

На почвах с низким содержанием фосфора, прибавка массы 1000 зерен наблюдалась от каждой дозы азотных удобрений и составляла 2,2 г, при минимальной массе 36,7 г и максимальной 38,9 г на варианте с внесением азотных удобрений 120 кг N/га. На почвах со средним и высоким содержанием подвижных фосфатов масса 1000 зерен находилась в диапазоне 37,6-40,5 г при внесении азотных удобрений в дозе 90 кг N/га и 39,2-41,3 г при максимальной дозе азота. Прибавка массы 1000 зерен на почвах со средним и высоким содержанием P_2O_5 от фона составляет 2,9 и 2,1 г соответственно. Максимальная масса 1000 зерен на почвах со средним содержанием подвижного фосфора равнялась 40,5 г при внесении дозы азота 90 кг/га. На почвах с высоким содержанием P_2O_5 максимальная масса 1000 зерен составила 41,3 г.

По результатам исследований также установлено увеличение массы 1000 зерен от содержания подвижного фосфора в почве. Так, на почве с низким содержанием P_2O_5 масса 1000 зерен составила 36,7 г на контрольном варианте, на почвах со средним и высоким содержанием фосфатов 37,6-39,2 г, обеспечив прибавку в 2,5 г (табл. 4).

Достаточное обеспечение почв фосфором способствовало формированию более высокой зерновой массы яровой пшеницы. В среднем за три года

натура зерна варьировала в диапазоне 800-839 г/л. На почве с низким содержанием фосфора натура зерна составляла 800-811 г/л, при этом максимальный показатель натуры зерна установлен при дозе азота 60 кг/га, обеспечив прибавку натуры в 11 г. Дальнейшее увеличение доз азота не привело к увеличению величины этого показателя. На почве со средним содержанием фосфатов натура зерна росла с каждой дозой азотных удобрений до максимума 813 г при дозе 90 кг/га, увеличение дозы азота до 120 кг/га привело к снижению данного показателя на 4 г. Натура зерна на почвах с высоким содержанием фосфатов увеличивалась с каждой дозой азотных удобрений от 818 до 839.

Также наблюдается увеличение натуры зерна от обеспеченности почв фосфором. Установлено, что в среднем за три года показатель натуры зерна составил 800,806 и 818 г/л на почвах с низким, средним и высоким содержанием фосфора соответственно, что на 6 г и на 18 г больше по сравнению со средней и высокой обеспеченностью почв доступными фосфатами.

В результате полученных данных был рассчитан коэффициент хозяйственной эффективности, который отражает долю товарной продукции в общей биомассе урожая. В среднем по опыту $K_{хоз}$ варьировался от 0,36 до 0,40 (табл. 4).

На почвах с низким содержанием подвижного фосфора установлено увеличение коэффициента хозяйственной эффективности с увеличением доз азотных удобрений от 0,37 до 0,39. На почвах со средним содержанием подвижных фосфатов дозы азотных удобрений не оказали влияния на данный показатель, однако при высоком содержании P_2O_5 коэффициент хозяйственной эффективности рос с каждой дозой азотных удобрений от 0,36 до 0,40, с максимальным показателем при дозе азота 120 кг/га.

Формирование качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и содержания подвижного фосфора в почве

Важнейшим показателем технологической и пищевой ценности зерна является содержание белка. В среднем по вегетационному опыту за 3 года содержание белка варьировало от 7,77% на контрольных вариантах до 14,68% при внесении максимальной дозы азота. Таким образом, наши исследования показали, что содержание белка находился в прямой по направлению и высокой по тесноте связи зависимости от возрастающих доз азотных удобрений ($r=0,94$).

Из данных таблицы 5 видно, что содержание белка и сырого протеина зависело не только от доз азотных удобрений, но и от обеспеченности почвы доступными фосфатами. Так, на почве с содержанием фосфора 38 мг/кг содержание белка варьировало от 8,29% до 12,59 %, при внесении азота в дозе 250 мг/кг почвы, а при средней обеспеченности фосфором в пределах 7,77-13,27 %, при внесении 200 мг азота на 1 кг почвы, на почвах с высоким содержанием доступных фосфатов содержание белка от 8,03 % на неудобренной азотом почве до 14,68 % при максимальной дозе азота. Рост содержания сырого протеина в зерне яровой пшеницы строго коррелирует с увеличением содержания белка. Так, при внесении дозы азота в 250 мг/кг почвы и увеличении обеспеченности почв фосфором прибавка содержания белка составля-

ет 0,54 % при среднем содержании в почве доступных фосфатов и 2,09 % при высоком содержании доступного фосфора.

Таблица 5 – Показатели качества зерна яровой пшеницы в вегетационном опыте в среднем за 2017-19 гг., %

Вариант	Белок	Сырой протеин	Сырой жир (гидролиз)	Сырая клетчатка	Сырая зола	Сахар	Крахмал
P_2O_5 – 38 мг/кг							
Контроль	8,29	9,22	1,85	0,88	1,27	3,18	53,82
N50	9,39	10,71	1,82	1,09	1,42	3,31	52,00
N100	10,69	12,54	1,59	0,89	1,44	3,83	50,89
N150	10,90	13,66	1,32	0,56	1,36	3,75	49,92
N200	12,25	14,41	1,28	0,62	1,39	3,83	49,24
N250	12,59	14,21	1,16	0,42	1,33	3,60	50,16
P_2O_5 – 75 мг/кг							
Контроль	7,77	9,51	1,89	0,96	1,25	2,56	52,56
N50	8,58	10,47	1,86	1,19	1,40	2,73	51,78
N100	10,69	13,08	1,59	0,99	1,49	3,12	50,30
N150	12,29	14,89	1,29	0,73	1,44	3,10	48,37
N200	13,27	15,84	1,21	0,70	1,47	3,63	47,47
N250	13,13	16,06	1,27	0,75	1,54	3,97	47,19
P_2O_5 – 176 мг/кг							
Контроль	8,03	9,69	1,94	1,13	1,33	2,48	52,07
N50	9,06	10,75	1,94	1,35	1,47	2,67	50,55
N100	11,11	12,77	1,55	1,04	1,48	3,00	50,05
N150	13,15	14,51	1,28	0,72	1,44	3,16	48,42
N200	13,51	15,61	1,28	0,83	1,53	3,28	47,24
N250	14,68	16,52	1,21	0,72	1,57	3,42	46,55

В среднем за годы исследований можно заключить, что на увеличение белка и сырого протеина влияют не только возрастающие дозы азотных удобрений, но и обеспеченность почв подвижными фосфатами.

Содержание в зерне крахмала и сырого жира, находилось в обратной зависимости от содержания белка, доз азотных удобрений и обеспеченности почв фосфором. Содержание крахмала в среднем по опыту составляло 49,24-53,82 % на почве с низким содержанием фосфора, 47,19-52,56 % – со средним и 46,55-52,07 % – с высоким содержанием фосфора в почве соответственно. Содержание сырого жира в зерне яровой пшеницы варьировало в диапазоне 1,16-1,85 % на почвах с низким содержанием фосфора, 1,21-1,89 % со средним и 1,21-1,94 % на почвах с высоким содержанием фосфора соответственно. Также выявлена устойчивая тенденция к уменьшению содержания сырого жира с увеличением доз азотных удобрений (табл. 5). В ходе наших исследо-

ваний было отмечено увеличение содержания сахаров с ростом доз азотных удобрений на почвах с низким, средним и высоким содержанием фосфора.

Содержание сырой золы в зерне заметно увеличивалось с ростом доз азотных удобрений, содержание подвижного фосфора в почве практически не повлияло на данный показатель. Так, на почвах с низким содержанием подвижного фосфора количество сырой золы варьировалось в диапазоне 1,27-1,44 %, со средним содержанием 1,25-1,54 % и с высоким 1,33-1,57% соответственно.

В результате наших исследований в условиях вегетационного опыта можно заключить, что на все показатели качества зерна яровой пшеницы сорта Любава оказали влияние не только дозы азотных удобрений, но и обеспеченность почв подвижными фосфатами, что отражает положительную тенденцию к улучшению качества зерна яровой пшеницы.

Таблица 6 – Показатели качества зерна яровой пшеницы в полевом мелкоделяночном опыте в среднем за 2018-20 гг., %

Вариант	Сырой протеин	Крахмал	Сырой жир (гидролиз)	Сырая клетчатка	Сырая зола	Сахар
P_2O_5 – 46 мг/кг						
Фон К120	8,29	9,22	1,85	0,88	1,27	3,18
N60	9,39	10,71	1,82	1,09	1,42	3,31
N90	10,69	12,54	1,59	0,89	1,44	3,83
N120	10,90	13,66	1,32	0,56	1,36	3,75
P_2O_5 – 76 мг/кг						
Фон К120	7,77	9,51	1,89	0,96	1,25	2,56
N60	8,58	10,47	1,86	1,19	1,40	2,73
N90	10,69	13,08	1,59	0,99	1,49	3,12
N120	12,29	14,89	1,29	0,73	1,44	3,10
P_2O_5 – 108 мг/кг						
Фон К120	8,03	9,69	1,94	1,13	1,33	2,48
N60	9,06	10,75	1,94	1,35	1,47	2,67
N90	11,11	12,77	1,55	1,04	1,48	3,00
N120	13,15	14,51	1,28	0,72	1,44	3,16

Согласно ГОСТ-52554-2006 в пункте требования к качеству зерна, по результатам вегетационных испытаний количество белка в зерне выращенное при дозе азота 250 мг/кг почвы и высокой обеспеченности почв фосфором соответствует 1 классу.

В полевом мелкоделяночном опыте за три года исследований, внесение азотных удобрений и содержание подвижного фосфора в почве практически не повлияли на показатели качества зерна яровой пшеницы сорта Любава.

Вынос элементов питания и коэффициенты использования азота из минеральных удобрений яровой пшеницей

Представленные в таблице 7 результаты химического анализа зерна и соломы в среднем за 3 года исследований в вегетационном опыте имеют различия по содержанию как азота, так и фосфора в зерне яровой пшеницы сорта Любава. На почвах с низким содержанием фосфора содержание общего азота в зерне варьирует от 1,57 до 2,48 %, на почвах со средним и высоким содержанием подвижных фосфатов в почве от 1,62 до 2,76 и от 1,65 до 2,84% соответственно.

Таблица 7 – Содержание элементов питания в зерне и соломе в вегетационном опыте в среднем за 2017-19 гг., %

Вариант	Содержание элементов питания в зерне, %			Содержание элементов питания в соломе, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
P ₂ O ₅ – 38 мг/кг						
Контроль	1,57	0,83	0,48	0,33	0,05	1,44
N50	1,83	0,70	0,43	0,37	0,03	1,51
N100	2,13	0,64	0,42	0,36	0,02	1,86
N150	2,19	0,63	0,43	0,46	0,01	2,10
N200	2,43	0,63	0,44	0,63	0,04	2,36
N250	2,48	0,55	0,42	0,82	0,04	2,25
P ₂ O ₅ – 75 мг/кг						
Контроль	1,62	0,91	0,47	0,17	0,09	1,38
N50	1,76	0,78	0,44	0,23	0,05	1,43
N100	2,16	0,77	0,44	0,28	0,04	1,62
N150	2,35	0,70	0,38	0,39	0,04	1,78
N200	2,72	0,72	0,40	0,54	0,06	1,83
N250	2,76	0,63	0,35	0,70	0,05	1,71
P ₂ O ₅ – 176 мг/кг						
Контроль	1,65	0,92	0,44	0,17	0,11	1,60
N50	1,77	0,84	0,46	0,26	0,08	1,72
N100	2,18	0,81	0,45	0,49	0,07	1,93
N150	2,42	0,72	0,43	0,56	0,06	2,12
N200	2,54	0,71	0,42	0,67	0,07	2,28
N250	2,84	0,72	0,41	0,88	0,10	2,21

Увеличение содержания азота в зерне коррелирует не только с возрастающими дозами азота, но и с содержанием подвижного фосфора в почве. Увеличение количество фосфора в зерне яровой пшеницы строго соответствует его содержанию в почве. Однако изменение этого показателя по вариантам находится в обратной зависимости от увеличения доз азотных удобрений. Содержание элементов питания в соломе не имеют значительных разли-

чий по содержанию азота и фосфора, однако содержание калия в соломе различаются по вариантам опыта с внесением азотных удобрений.

По результатам наших исследований был определен вынос элементов питания яровой пшеницей сорта Любава, который отражен в таблице 8. По результатам исследований установлено, что на величину общего выноса элементов питания растениями яровой пшеницы повлияли как дозы азотных удобрений, так и содержание подвижного фосфора в почве.

Таблица 8 – Вынос основных элементов питания, вынос азота минеральных удобрений мг/сосуд и коэффициенты использования N из минеральных удобрений, % в вегетационном опыте в среднем за 2017-19 гг.

Вариант	Вынос элементов питания, мг/сосуд			Вынос N из минеральных удобрений, мг/сосуд	КИУ (разн. методом, %)	КИУ (изот. методом 2017 г. %)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
P ₂ O ₅ – 38 мг/кг						
Контроль	119	50	148	-	-	-
N50	221	65	220	100	40	24
N100	356	84	343	227	45	-
N150	430	90	376	283	38	29
N200	466	94	407	331	33	-
N250	453	75	385	330	26	20
P ₂ O ₅ – 75 мг/кг						
Контроль	125	64	179	-	-	-
N50	274	103	293	139	56	60
N100	420	124	382	272	54	-
N150	568	132	462	395	53	61
N200	596	130	446	454	45	-
N250	647	117	437	506	40	40
P ₂ O ₅ – 176 мг/кг						
Контроль	158	85	233	-	-	-
N50	292	121	365	121	49	43
N100	477	146	470	307	61	-
N150	589	143	528	406	54	60
N200	658	145	559	462	46	-
N250	775	158	582	600	48	55

Общий вынос азота, напрямую коррелирует с количеством и качеством урожая, а также с увеличением доз азотных удобрений и подвижного фосфора в почве. На неудобренных вариантах общий вынос азота в среднем за три года составил 119,125 и 158 мг/сосуд на почвах с низким, средним и высоким содержанием фосфора соответственно. На вариантах с внесением доз азотных удобрений максимальный вынос N установлен при высоком содержании фосфора в почве и составил 775 мг/сосуд при дозе азота 250 мг/кг почвы в

среднем за три года, а минимальный показатель соответствовал значению 221 мг/сосуд при внесении 50 мг N/кг почвы и низким содержании фосфора.

Что касается выноса фосфора яровой пшеницей, то он коррелирует с содержанием его в почве. Так, на почвах с низким содержанием фосфора на неудобренных вариантах вынос P_2O_5 составил 50 мг/сосуд, при среднем и высоком содержании подвижных фосфатов 64 и 85 мг/сосуд соответственно. Увеличение выноса фосфора также сопровождалось нарастающими дозами азотных удобрений (табл. 8).

На почве с низким содержанием фосфора вынос калия на не удобренных вариантах составил в среднем 148 мг/сосуд, а при среднем и высоком содержании доступных фосфатов 179 и 233 мг/сосуд соответственно. С увеличение доз азотных удобрений на почвах с низким, средним и высоким содержанием фосфора, также увеличивался и вынос калия из почвы, что вероятно и повышало коэффициент использования данного элемента из почвы.

В ходе наших исследований был определен вынос и коэффициенты использования азота из минеральных удобрений растениями яровой пшеницы сорта Любава в условиях вегетационного опыта (табл. 8). Увеличение выноса азота из минеральных удобрений соответствует прибавлению урожая от каждой дозы азотных удобрений по каждому варианту. Коэффициенты использования азота из минеральных удобрений были определены как разностным методом в течение трех лет исследований, так и изотопным методом с внесением меченого ^{15}N аммиачного и нитратного азота в дозах 50, 150, 250 мг N/кг почвы в образцах 2017 г. На основании данных представленных в таблице 8 можно заключить, увеличение подвижного фосфора в почве благоприятно повлияло на коэффициенты использования азота из минеральных удобрений. Так, на основе результатов разностного метода определения КИУ, данный показатель отразил положительную динамику при низком, среднем и высоком содержании подвижных фосфатов в почве при дозе азота 100 мг/кг и составил 45, 54 и 61 % соответственно.

Коэффициенты использования азота из минеральных удобрений определенные изотопным методом в образцах 2017 года, также подтверждают данные разностного метода определения. Так, на почвах с низким, средним и высоким содержанием фосфора максимальный КИУ % был отмечен при дозе азота 150 мг/кг почвы и составил 29, 61 и 60 % соответственно. При максимальных дозах азотных удобрений до 250 мг N/кг почвы КИУ азота определенные как разностным, так и изотопным методом достоверно снижаются, что может свидетельствовать о нецелесообразности применения чрезмерно высоких доз азотных удобрений для яровой пшеницы на дерново-подзолистых почвах.

Данные химического анализа зерна и соломы за три года исследований в полевом опыте, представленные в таблице 9 имеют незначительные различия по содержанию азота в зерне яровой пшеницы и более значимые по содержанию фосфора. В совокупности химический состав зерна и соломы яровой пшеницы сорта Любава коррелирует с общим выносом элементов питания представленным в таблице 10.

Таблица 9 – Содержание элементов питания в зерне и соломе
в полевом мелкоделяночном опыте в среднем за 2018-20 гг., %

Вариант	Содержание элементов питания в зерне, %			Содержание элементов питания в соломе, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
P ₂ O ₅ – 46 мг/кг						
Фон К120	2,55	0,67	0,30	0,59	0,14	1,11
N60	2,70	0,69	0,32	0,67	0,14	1,10
N90	2,66	0,76	0,31	0,75	0,14	1,15
N120	2,60	0,69	0,31	0,75	0,17	1,31
P ₂ O ₅ – 76 мг/кг						
Фон К120	2,59	0,74	0,32	0,72	0,24	1,24
N60	2,67	0,74	0,31	0,77	0,19	1,31
N90	2,64	0,77	0,33	0,74	0,19	1,26
N120	2,60	0,71	0,28	0,67	0,14	1,21
P ₂ O ₅ – 108 мг/кг						
Фон К120	2,49	0,72	0,29	0,60	0,13	1,09
N60	2,69	0,75	0,29	0,94	0,14	1,20
N90	2,54	0,74	0,28	0,86	0,15	1,24
N120	2,57	0,69	0,32	0,94	0,16	1,39

Таблица 10 – Общий вынос основных элементов питания кг/га,
вынос азота минеральных удобрений г/м² и коэффициенты использования
N из минеральных удобрений % в полевом мелкоделяночном опыте
в среднем за 2018-20 гг.

Вариант	Общий вынос элементов питания, кг/га			Вынос N из минеральных удобрений, г/м ²	КИУ (разн. методом, %)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
P ₂ O ₅ – 46 мг/кг					
Фон К120	43,8	11,6	32,4	-	-
N60	60,1	14,9	36,6	1,63	27
N90	64,3	17,7	41,4	2,04	23
N120	72,9	19,2	49,5	2,91	24
P ₂ O ₅ – 76 мг/кг					
Фон К120	61,2	19,8	41,3	-	-
N60	73,9	20,9	50,8	1,27	21
N90	83,6	23,7	57,7	2,24	25
N120	83,1	22,2	56,6	2,19	18
P ₂ O ₅ – 108 мг/кг					
Фон К120	56,9	14,9	40,1	-	-
N60	85,4	19,0	48,7	2,85	48
N90	89,1	21,3	53,6	3,22	36
N120	99,5	23,7	64,5	4,25	35

Общий вынос азота основной продукцией с учетом побочной в среднем по опыту находился в диапазоне от 43,8 до 99,5 кг д.в./га и коррелировал с дозами азотных удобрений. На почвах с низким содержанием подвижного фосфора общий вынос азота составил от 43,8 до 72,9 кг д.в/га и увеличивается от каждой внесённой дозы азотных удобрений. На почвах с средним содержанием P_2O_5 от 61,2-83,6 кг д.в/га с максимальным показателем общего выноса при дозе азота 90 кг/га. При высокой обеспеченности почв доступными фосфатами общий вынос азота составляет от 56,9 до 99,5 кг д.в/га от каждой внесённой дозы азотных удобрений. Увеличение общего выноса азота урожаем яровой пшеницей с учетом побочной продукции зависит не только от доз азотных удобрений, но и от обеспеченности почв фосфором. Так, на почвах со средним содержанием доступных фосфатов общий вынос азота на контрольном варианте составил на 17,4 кг и на почвах с повышенным содержанием фосфора на 13,1 кг д.в/га больше.

Общий вынос фосфора урожаем яровой пшеницы сорта Любава соответствует содержанию его в почве. Показатель общего выноса фосфора яровой пшенице в среднем по опыту варьирует в диапазоне 11,6-23,7 кг д.в/га. На показатель общего выноса фосфора повлияло не только его содержание в почве, но и дозы азотных удобрений. Так на почвах с низким содержанием подвижных фосфатов общий вынос фосфора составил от 11,6-19,2 кг д.в/га. При среднем и высоком содержании фосфора в почве его вынос составил 19,8-23,7 и 14,9-23,7 кг д.в/га.

Общий вынос калия в среднем за 3 года коррелирует с величиной урожая, дозами азотных удобрений, содержанием подвижного фосфора в почве и варьирует в пределах 32,4-64,5 кг д.в/га. На почвах с низким содержанием фосфора общий вынос калия составил 32,4-49,5 кг д.в/га, со средней и высокой обеспеченностью почв доступными фосфатами общий вынос калия в среднем за три года составил 41,3-57,7 и 40,1-64,5 кг д.в/га соответственно. На величину общего выноса калия яровой пшеницей сорта Любава основной продукцией с учетом побочной повлияли не только дозы азотных удобрений, но и содержание подвижного фосфора в почве.

Установлено, что на коэффициенты использования азота из минеральных удобрений в условиях полевого мелкоделяночного опыта повлияли как дозы азотных удобрений, так и содержание подвижного фосфора в почве (табл. 10).

В среднем по опыту КИУ из азотных удобрений варьировал в пределах 21-48 %. На почвах с низким содержанием фосфора максимальное значение коэффициента использования азота из удобрений составило 27 % при дозе азота 60 кг/га, на почве со средней обеспеченностью P_2O_5 21-25 %. Высокие показатели использования N из минеральных удобрений были установлены на вариантах с повышенным содержанием почв фосфором и составили от 35 до 48 %.

Установлено, что достаточная обеспеченность почв фосфором способствует более высокому использованию азота минеральных удобрений как в минимальных, так и в максимальных дозах 60, 90, 120 кг N/га, что в свою

очередь может быть использовано для рационализации применения азотных удобрений под яровую пшеницу.

Выводы

1. Результаты исследований показали, что содержание подвижного фосфора в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве оказало большое влияние на урожайность яровой пшеницы сорта Любава и эффективность применения под неё азотных удобрений. Между содержанием подвижного фосфора в почве и величиной урожая яровой пшеницы установлена значимая связь. В вегетационном опыте коэффициент корреляции между этими показателями составил 0,42. Теснота связи между дозами азотных удобрений и урожайностью характеризуется в вегетационном опыте коэффициентом корреляции 0,68, в полевом – 0,48. С повышением степени обеспеченности почвы P_2O_5 в полевом мелкоделяночном опыте установлена значимая величина коэффициента корреляции, при высоком содержании фосфора в почве и составил – 0,62.

2. Урожайность яровой пшеницы закономерно увеличивалась по мере повышения содержания подвижного фосфора в почве. В среднем за три года в вегетационном опыте сбор зерна на почве с низкой степенью обеспеченности P_2O_5 составил на контроле 5,5 г/сосуд, при средней 6,1 и при высокой 7,8 г/сосуд. Внесение азотных удобрений увеличило урожай соответственно до 14,3, 17,7 и 19,1 г/сосуд. В полевом опыте отмечена аналогичная закономерность. Урожай на контроле без удобрений составил 145, 182 и 180 г/м², а с внесением азотных удобрений 225, 259 и 284 г/м².

3. Обеспеченность почв доступными фосфатами оказало положительно влияние на окупаемость азотных удобрений. По мере увеличения доз азотных удобрений данный показатель имел тенденцию к снижению, что соответствует нормативам. В среднем за три года в вегетационном опыте окупаемость азотных удобрений на почвах с низким содержанием P_2O_5 варьировал от 5,7 до 14,4 г/г, на почвах со средним и повышенным от 8,5-24,8 и 9,0-20,0 г/г, с максимальными показателями 50 мг N/кг почвы. Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая в полевом мелкоделяночном опыте на почвах с низким, средним содержанием фосфора составила от 6,3-6,7 и 4,8-7,4 г/г, с максимальным значением при дозе азота N90, на почвах с повышенным содержанием P_2O_5 6,3-8,7 г/г, при увеличении данного показателя от каждой дозы удобрений.

4. В результате фенологических наблюдений в течении 3-х лет исследований установлено влияние уровня фосфатного режима дерново-подзолистых почв на формирование растений яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений. Так при среднем и повышенном уровне обеспеченности почв P_2O_5 значительно увеличилось площадь листьев (см²) и длина растений (см) в среднем на 22 и 10 % от вариантов, выращенных на почвах с низким содержанием подвижного фосфора.

5. Улучшение степени обеспеченности почв подвижным фосфором способствовало формированию более крупного зерна. В среднем масса 1000

зерен на почве с низким содержанием фосфора в вегетационном опыте без внесения азотных удобрений составила 29,2 г, со средним и высоким составляет 32,3 и 33,6 г. Внесение азота позволило довести массу 1000 зерен до 38,4 – 41,3 г. В полевом опыте данные по массе 1000 зерен варьировали в зависимости от содержания фосфора в почве на вариантах без внесения удобрений от 36,7 до 39,2 г, а с внесением азота от 37,8 до 40,3. Подобная закономерность по вариантам опыта отмечена во влиянии содержания подвижного фосфора в почве и азотных удобрений на массу зерна. При низкой степени обеспеченности P_2O_5 она составила 800-811 г/л, при средней 806-813, при повышенной 818-839 г/л.

6. Применение азотных удобрений на почве с различным содержанием подвижного фосфора оказало положительное влияние на качество зерна яровой пшеницы. По мере увеличения степени обеспеченности почвы P_2O_5 возрастало действие азотных удобрений на содержание белка. На почве которая характеризовалась низким содержанием фосфора содержание белка варьировало от 9,39 до 12,59 %, средним от 8,58 до 13,13 %, повышенным 9,06-14,68 %, сырого протеина соответственно 10,71-14,41; 10,47-16,06 и 10,75-16,52 %. Содержание крахмала и сырого жира находилось в обратной зависимости от содержания белка. С повышением содержания белка и сырого протеина постепенно снижалось содержание крахмала и сырого жира. В среднем за три года содержание крахмала на почве с низкой обеспеченностью подвижным фосфором составило 49,24-53,82 %, со средней 47,19-52,56 %, с высокой 46,55-52,07 %, сырого жира соответственно 1,16-1,85, 1,21-1,89, 1,21-1,94 %.

7. Применение азотных удобрений в вегетационном опыте повышало содержание общего азота в зерне яровой пшеницы в 1,6-1,7 раза, а в соломе 3-5 раз. В полевом опыте влияние азотных удобрений на содержание азота в яровой пшенице проявлялось в меньшей степени, хотя тенденция увеличения содержания азота в зерне и соломе сохранилась.

8. Величина выноса элементов питания яровой пшеницей изменялась как от доз азотных удобрений, так и от содержания подвижного фосфора в почве. Максимальный вынос азота в вегетационном опыте установлен на почве с высоким содержанием фосфора при дозе азота 250 мг/кг. Вынос фосфора и калия также возрастал по мере увеличения содержания подвижного фосфора в почве и доз азотных удобрений, как в вегетационном, так и в полевом опытах. Удельный вынос азота возрастал в вариантах с внесением азотных удобрений, а фосфора и калия практически не менялся и был близок к нормативу.

9. Определение содержания азота в основной и побочной продукции позволило установить коэффициент его использования яровой пшеницей из минеральных удобрений. Увеличение степени обеспеченности почв подвижным фосфором способствовало повышению коэффициентов использования азота минеральных удобрений. В вегетационном опыте при дозе азота 100 мг/кг при низком содержании P_2O_5 коэффициент использования составил 45 %, при среднем 54 и при высоком 61 %, в полевом опыте при внесении N 60 кг/га соответственно 27, 21 и 48%. Дальнейшее увеличение доз азотных

удобрений приводило к значительному снижению коэффициентов использования N из минеральных удобрений.

Рекомендации для дальнейших исследований

Одним из способов повышения эффективности применения азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах под яровую пшеницу является оптимальный фосфатный режим почв.

Для дальнейших исследований необходимо рассмотреть схемы применения азотных удобрений при различном содержании фосфора в почве под яровую пшеницу при проведении полевых опытов с учетными делянками 1-3 га. Также необходимо рассмотреть в рамках как вегетационного, так и полевого опыта влияние различных форм азотных удобрений на урожай и качество яровой пшеницы нескольких сортов при различном содержании подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве.

Для дальнейших исследований так же рекомендуется проведение полевых испытаний с аналогичными дозами азотных удобрений с использованием технологии дробного внесения азота в дерново-подзолистую почву при различной обеспеченности фосфором под яровую пшеницу.

Предложение производству

В виду повышения цен на минеральные удобрения в среднем на 45-50% в период 2020-2021 гг., необходимо рационально и максимально эффективно использовать минеральные удобрения, в тоже время без вреда для агроэкосистемы. Полученные данные по результатам исследований возможно использовать для дифференцированного внесения минеральных удобрений. Согласно полученным данным, в условиях нечерноземной зоны на яровой пшенице рекомендуем применение дифференцированного способа внесения азотных удобрений в зависимости от фосфатного режима почв, что позволит не только сократить прямые затраты на производство зерна, но и увеличить валовый сбор и повысить окупаемость применяемых удобрений. Установлено, что при повышенном содержании подвижного фосфора в почве наблюдается максимальная эффективность от внесенных азотных удобрений в виде значимой прибавки урожая порядка 30% в среднем за 3 года исследований в полевом мелкоделяночном опыте при дозе азота 120 кг/га.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

Публикации в изданиях рекомендованных ВАК РФ

1. **Нестеренко В.А.**, Лапушкин В.М. Влияние обеспеченности почв подвижным фосфором и доз азотных удобрений на формирование урожая и качества яровой пшеницы / Агрехимический вестник. – 2021. – № 1. – С. 38-42.
2. **Нестеренко В.А.** Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором / В.А. Нестеренко, В.М. Лапушкин // Плодородие. – 2019. – № 3 (108). – С. 19-21.

Публикации в других изданиях

3. **Нестеренко В.А.**, Лапушкин В.М. Влияние содержания подвижного фосфора в почве на формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений / Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020» [Электронный ресурс] / Отв.ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. – Электрон. текстовые дан. (1500 Мб.) – М.: МАКС Пресс, 2020. – Режим доступа: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2020/index.htm, свободный – Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020». ISBN 978-5-317-06417-4.

4. **Нестеренко В.А.**, Лапушкин В.М. Формирование урожая и качества яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве / В сборнике: Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Материалы XVI Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию становления и развития аграрной науки в Республике Мордовия и памяти профессора С.А. Лапшина. Сер. "Лапшинские чтения" Редколлегия: А.В. Ивойлов, Д.В. Бочкарев. 2020. С. 309-318.

5. **Нестеренко В.А.**, Лапушкин В.М. Влияние доз азотных удобрений на формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве / В сборнике: Оптимальное питание растений и восстановление плодородия почв в условиях ведения традиционной и органической систем земледелия. Материалы 53-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Александра Васильевича Петербургского. Под редакцией В.Г. Сычева. 2019. С. 112-118.

6. **Нестеренко В.А.**, Лапушкин В.М. Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы сорта Любава в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором / В сборнике: Плодородие почв России: состояние, тенденции и прогноз. Материалы международной конференции (К 100-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ Тамары Никандровны Кулаковской). Под редакцией В.Г. Сычева. 2019. С. 233-238.

7. **Нестеренко В.А.**, Лапушкин В.М. Использование яровой пшеницей азота минеральных удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / В сборнике: Инновационные технологии в АПК: теория и практика. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 124-127.

8. **Нестеренко В.А.**, Лапушкин В.М. Действие различных доз азотных удобрений на урожай яровой пшеницы сорта Любава на дерново-подзолистой почве, в зависимости от обеспеченности подвижным фосфором / В сборнике: Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйст-

венного производства. Материалы 52-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, посвященной 200-летию со дня рождения профессора Ярослава Альбертовича Линовского. Под редакцией В.Г. Сычева. 2018. С. 145-147.

9. **Нестеренко В.А.** Влияние содержания подвижного фосфора на эффективность азотных удобрений при выращивании яровой пшеницы на дерново-подзолистых почвах / В книге: ЛОМОНОСОВ-2018. Тезисы докладов XXV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Составитель Л.А. Поздняков. 2018. С. 223-224.

10. **Нестеренко В.А.,** Лапушкин В.М. Использование азота минеральных удобрений яровой пшеницей в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / В сборнике: Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения В.П. Горячкина. 2018. С. 623-626.

11. **Нестеренко В.А.,** Лапушкин В.М. Использование яровой пшеницей азота минеральных удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. сборник статей XI Международной научно-практической конференции: в 3 частях. 2018. С. 217-219.

