

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н.
Прянишникова»
(ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)

На правах рукописи

Тованчев Илья Владимирович

**Окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожая ячменя в
зависимости от окультуренности дерново-подзолистой суглинистой
почвы Центрального Нечерноземья**

специальность 06.01.04 – Агрохимия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:

Доктор сельскохозяйственных наук

Кирпичников Н.А.

Москва 2020

Содержание

Введение _____	4-8
Глава 1. Обзор литературы _____	8-33
Глава 1.1 Эффективность фосфорных удобрений при выращивании ярового ячменя на дерново-подзолистых почвах в зависимости от агрохимических свойств _____	8-24
Глава 1.2. Влияние фосфорных удобрений на качество зерна ярового ячменя в зависимости от окультуренности дерново – подзолистой почвы _____	24-33
Глава 2. Условия и методы проведения исследований _____	33-37
Глава 3. Результаты исследований _____	37-68
Глава 3.1 Влияние фосфорных удобрений при различной окультуренности почвы на формирование урожайности ярового ячменя _____	37-47
Глава 3.1.1 Динамика нарастания фитомассы растений ярового ячменя по фазам развития _____	37-40
Глава 3.1.2 Урожайность ярового ячменя и окупаемость удобрений в зависимости от окультуренности дерново – подзолистой почвы _____	40-45
Глава 3.1.3 Влияние фосфорных удобрений при различной степени окультуренности почвы на показатели структуры урожая ярового ячменя _____	45-47
Глава 4. Влияние фосфорных удобрений в зависимости от окультуренности дерново – подзолистой почвы на	

содержание и вынос элементов растениями ярового ячменя _____	47-57
Глава 5. Влияние фосфорных удобрений при различной окультуренности почвы на качество зерна ярового ячменя _____	58-62
Глава 6. Влияние фосфорных удобрений на степень разложения и фосфатный режим дерново-подзолистой почвы при различной её окультуренности _____	63-66
Глава 7. Влияние агрохимических свойств дерново – подзолистой почвы на агроэкономическую эффективность фосфорных удобрений при возделывании ярового ячменя _____	66-68
Выводы _____	69-70
Предложения производству _____	71
Список литературы _____	72-88
Приложения _____	89-97

Введение

Актуальность. Согласно долгосрочному прогнозу социально-экономического развития РФ на период до 2030 г. намечено значительно увеличить объём производства зерна за счёт расширения воспроизводства плодородия почв, что позволит значительно повысить урожайность зерновых культур.

Для решения проблемы производства зерна важное значение отводится яровому ячменю. Яровой ячмень – одна из основных зерновых культур Центрального Нечерноземья, его возделывают для продовольственных, технических и кормовых целей, он отличается высокой требовательностью к плодородию почвы и минеральному питанию.

Однако, при низком уровне плодородия дерново – подзолистых почв этого региона урожайность ярового ячменя остаётся относительно низкой. Связано это прежде всего с повышенной кислотностью дерново – подзолистых почв и слабой обеспеченностью их подвижными фосфатами. Степень окультуренности во многом определяется кислотностью и обеспеченностью подвижными фосфатами (Авдонин 1982, Карпинский, 1972). В этом регионе слабоокультуренные почвы, которые требуют первоочередного известкования и внесения фосфорных удобрений, составляют около 60% (Сычёв, Шафран, 2012). При различных темпах известкования и внесении фосфорных удобрений в прошлые годы, почвы в настоящее время различаются по степени окультуренности. В этих условиях необходимо рационально использовать фосфорные удобрения, с учётом агрохимических свойств почв и сортов особенностей ярового ячменя.

В настоящее время изменились технологии возделывания, появились новые сорта ячменя интенсивного типа, но результатов исследований по этим вопросам недостаточно. Поставлены новые задачи, чтобы обеспечить агрохимслужбу и сельхозпроизводителей современной нормативно –

справочной информацией, позволяющей более экономно с высокой окупаемостью использовать фосфорные удобрения. Решение этих задач и предполагает строгую дифференциацию доз фосфорных удобрений в зависимости от агрохимических свойств с учётом сортовых особенностей культур.

Цель исследований - изучить эффективность применения различных доз фосфорных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Нур на дерново – подзолистой тяжелосуглинистой почве с различной степенью окультуренности.

Задачи исследований:

- Изучить влияние возрастающих доз фосфорных удобрений на динамику роста и развития растений ярового ячменя в зависимости от окультуренности почвы.

- Выявить влияние доз фосфорных удобрений на прибавку урожайности ярового ячменя и их окупаемость на слабоокультуренной и окультуренной почвах.

- Определить структуру урожая ярового ячменя (масса зерна и соломы, количество зерен в колосе и др.).

- Изучить химический состав растений и определить вынос азота, фосфора, калия урожаем ярового ячменя.

- Определить качество зерна ячменя (содержание белка, крахмала, фосфора, калия, натура зерна и др.).

- Выявить влияние доз фосфорных удобрений на фосфатный режим дерново – подзолистой почвы и степень разложения льняного полотна.

- Произвести расчет экономической эффективности применения фосфорных удобрений при возделывании ярового ячменя на дерново – подзолистой почве с различной степенью окультуренности.

Научная новизна работы.

Впервые в условиях полевого опыта изучена эффективность различных доз фосфорных удобрений при возделывании ярового ячменя интенсивного типа сорта Нур на дерново – подзолистой тяжелосуглинистой почве с различной степенью окультуренности.

Установлено, что на слабоокультуренной дерново – подзолистой почве (pH_{KCl} 4,1 – 4,6; P_2O_5 35-65 мг/кг) урожайность ярового ячменя повышается с увеличением дозы фосфорных удобрений (с 30 до 120 кг/га) и достигает в благоприятные годы 61,7 ц/га при внесении наибольшей дозы фосфорного удобрения (P_{120}), что выше фона $N_{60}K_{60}$ на 70%. На окультуренной дерново – подзолистой почве (pH_{KCl} 5,1 – 5,6; P_2O_5 110-160 мг/кг) максимальная урожайность (67,3 ц/га) формировалась при меньшей дозе фосфорных удобрений (P_{60}), что превышало фон на 26%. Применение фосфорных удобрений в количестве 90 кг P_2O_5 на слабоокультуренной почве и 60 кг/га P_2O_5 на окультуренной обеспечивало примерно равную окупаемость прибавки урожая и составило в среднем за 3 года около 20 кг зерна.

Положительное влияние окультуренности почвы на урожайность ячменя наиболее сильно проявилось в варианте без внесения фосфорных удобрений ($N_{60}K_{60}$). При использовании высоких доз (P_{90} и P_{120}) влияние окультуренности сглаживалось.

Установлены величины удельного выноса элементов питания, которые при внесении высоких доз фосфорных удобрений повышались: азота до 14%, фосфора-13%, калия до 12,5%.

Отмечалось положительное действие фосфорных удобрений на содержание белка в зерне, как на слабоокультуренной почве, так и на окультуренной и составляло 8,47-10,03% .

В вариантах с положительным балансом фосфора (P_{90} и P_{120}) улучшался фосфатный режим почвы, при этом степень подвижности фосфатов возрастала в большей мере, чем содержание подвижного фосфора.

Условно чистый доход при выращивании ячменя на слабоокультуренной почве повышался с увеличением дозы фосфорных удобрений с 5,2 до 11,3 тыс. руб/га, а на окультуренной почве он составлял наибольшую величину в варианте P_{60} (6,8 тыс. руб/га). По окупаемости затрат вариант P_{90} на слабоокультуренной почве был примерно равным варианту P_{60} – на окультуренной и составил 2,37 и 2,18 руб/руб соответственно.

Практическая ценность работы.

Полученные экспериментальные данные по изучению эффективности фосфорных удобрений в зависимости от степени окультуренности дерново-подзолистой почвы будут использованы в новых современных нормативах окупаемости удобрений в зоне Центрального Нечерноземья с учётом сортовых особенностей ярового ячменя. Данные выноса фосфора 1 т урожая являются необходимой базой для составления планов применения фосфорных удобрений в технологиях возделывания ярового ячменя на дерново – подзолистых почвах с различными агрохимическими свойствами.

Практическая ценность работы.

Полученные экспериментальные данные по изучению эффективности фосфорных удобрений в зависимости от степени окультуренности дерново-подзолистой почвы будут использованы в новых современных нормативах окупаемости удобрений в зоне Центрального Нечерноземья с учётом

сортовых особенностей ярового ячменя. Данные выноса фосфора 1 т урожая являются необходимой базой для составления планов применения фосфорных удобрений в технологиях возделывания ярового ячменя на дерново – подзолистых почвах с различными агрохимическими свойствами.

Апробация работы и публикации.

Материалы диссертации зачитывались на годовых отчётах о деятельности аспирантов, а также были заслушаны на 52-й Международной научной конференции молодых ученых.

По теме диссертации опубликовано 5 работ в изданиях, рекомендованных в перечне ВАК.

Глава 1. Обзор литературы

Глава 1.1 Эффективность фосфорных удобрений при выращивании ярового ячменя на дерново-подзолистых почвах в зависимости от агрохимических свойств.

Эффективность фосфорных удобрений зависит от многих факторов, основными из которых являются обеспеченность почвы фосфатами и кислотность почвы – они во многом определяют степень их окультуренности (Авдонин, 1979; Карпинский, 1972). Слабоокультуренные дерново-подзолистые почвы как правило отличаются высокой кислотностью и низким содержанием подвижных фосфатов (значение $pH_{\text{сол}}$ – 4,0-4,5, P_2O_5 по Кирсанову менее 5,0 мг/100 г почвы). Такие почвы обладают и низкой степенью подвижности фосфатов – концентрация P_2O_5 в солевой вытяжке не превышает 0,02-0,03 мг/л. Обменная кислотность сильнокислых слабоокультуренных почв, а также содержание подвижного алюминия, могут колебаться в довольно широких диапазонах (Карпинский, 1972). Сегодня слабоокультуренные почвы составляют около 60%, при нынешних темпах

известкования и при низком уровне применения фосфорных и органических удобрений площади таких почв будут увеличиваться (Сычев, Шафран, 2012).

При содержании в почве алюминия и других элементов (марганец, железо), которые сопутствуют кислотности, во многом связано фосфорное питание растений, а также эффективность фосфорных удобрений и известкования. Алюминий связывает фосфор в почве и снижает его растворимость и тем самым уменьшается его использование растениями (Foy, 1974; Gerike, 1967; Pfulb 1970, 1971; Schoield, 1955; Probert, 1979). При избыточном содержании алюминия, как показали исследования Климашевского и др. (1979), фосфор фиксируется в клеточной стенке и на поверхности корней, что приводит к нарушению питания растений фосфором. Влияние токсичности алюминия на растения ячменя выявлено Виноградской (2005) в вегетационном опыте с различными сортами этой культуры а также Шильниковым и др. (2008, Пухальская и др., 2009).

Работами Голубева (1954), Авдоница (1957,1971), Кедрова-Зихмана (1957), Виноградской (2005) установлено, что наличие большого количества подвижного алюминия в почве является одним из главных факторов, определяющих негативное влияние кислотности на различные растения. В их вегетационных и лабораторных опытах показаны оптимальные значения рН для растений в зависимости от содержания алюминия, установлена положительная роль фосфора, а также органического вещества и кальция в уменьшении негативного воздействия кислотности и алюминия на рост и развитие растений.

Исследованиями Небольсина (1977, 2005) и Небольсиной (2005) доказано, что формы фосфорных удобрений и без содержания кальция (ортофосфорная кислота) дают высокий эффект, снижая содержание в почве марганца, железа и алюминия и их токсическое воздействие на развитие растений.

Вредное действие алюминия на растения было выявлено в полевых опытах Прянишникова на полевой станции ТСХА (Егоров, Доспехов, 1963), на агробиологической станции МГУ в Чашниково Московской области (Гомонова, 1984, 1986), а также на Долгопрудной опытной станции (Хлыстовский, Князева, 1976). Повышение содержания алюминия в почве и его влияние на урожай в этих опытах связано с регулярным применением кислых калийных и азотных удобрений. Так, в в длительном полевом опыте (30 лет) по изучению воздействия различных сочетаний извести с минеральными удобрениями на Агробиологической станции МГУ содержание подвижного алюминия изначально было небольшим – 2,6 мг/100 г почвы. В результате систематического внесения высоких доз аммиачных форм азотных удобрений и хлористого калия оно возросло до 21,6 мг/100г (вариант НК). Сначала калийные и азотные удобрения резко повышали урожайность, но со временем их эффективность падала, а затем они и вовсе начали действовать отрицательно. Эта закономерность также отмечена в длительном полевом опыте ЦОС ВНИИА (Кирпичников, 2016; Сычёв, Кирпичников, 2016). Урожайность ячменя через 48 лет проведения данного опыта в вариантах контроля и НК была практически одинаковой при уровне содержания подвижного алюминия в почве на фоне НК 12,6 мг/100г почвы.

В длительном опыте с дозами извести и уровнем минерального питания Нижегородского НИИСХ установлено, что с уменьшением содержания обменного алюминия в почве под влиянием извести степень подвижности фосфатов возрастает (Орлов, 2013).

На окультуренной дерново – подзолистой суглинистой почве НИИ Северо – Востока (Пасынков, 2004) урожайность сортов ярового ячменя на фоне $N_{60}K_{60}$ составляла 34 – 35 ц/га, а дальнейшее повышение фона не приводило к её повышению. Содержание сырого белка в зерне составляло от 8 до 12%, что отвечает требованиями пивоваренного ячменя.

Фосфорные удобрения (на фоне НК) в этих опытах снижали негативное воздействие алюминия на растения ячменя, но целиком его не устраняли. Оно устранялось только при известковании, эффективность фосфорных удобрений при этом повышалась (Алексеева, 1958). Содержание подвижного фосфора в почве при известковании не увеличивалось.

Не отмечали существенного изменения содержания подвижных фосфатов под влиянием извести и в другом полевом опыте (Асаров 1972,1974).

В вегетационных опытах Jose Mendes, E.J. Kamprath (1978) с кислыми тропическими почвами при насыщении их алюминием больше 60% применения высоких доз фосфорных удобрений не могли преодолеть негативного эффекта кислотности на растения зерновых культур. Нейтрализация подвижного алюминия в почве с применением извести понизила потребность растений в фосфорных удобрениях в два раза. C.D. Foy (1974) отмечает, что удаление растворимого алюминия из кислых почв способно повысить коэффициент использования фосфора от 2,5 до 40%.

Слабая эффективность фосфора при высоком содержании алюминия в почве отмечалась в вегетационных опытах на кислых почвах Австралии и в других опытах (S.L. Amarasiri, S.R. Olsen, 1973; R.E. White, 1983). Из приведенных данных следует, что фосфорные удобрения несмотря на ослабление негативного влияния алюминия на растения, но без устранения его в почве за счёт известкования, проявляют низкую эффективность. Известь даже в маленьких дозах при высоком содержании алюминия в почве оказывает значительное действие на растения.

Карпинским (1951) предложено определение степени подвижности алюминия (фактор интенсивности) путём извлечения 0,02 н. CaCl_2 – вытяжкой. При концентрации алюминия в 0,02 н. CaCl_2 – вытяжке свыше 1

мг/л, как показано в исследованиях Глазуновой (1983), урожайность ячменя значительно снижается.

Повышенное содержание алюминия в почве может быть обусловлено не только регулярным применением кислых минеральных удобрений, но и природными особенностями почвообразования (Гаврилов, 1972; Авдонин, 1976; Орлов, 1985; Палавеев, Тотев, 1983). Дерново-подзолистые почвы на покровных суглинках содержат меньше алюминия, чем почвы на моренах, они также имеют более высокое содержание органического вещества, обменных оснований и более высокую подвижность фосфатов (Липкина, 1969).

Исследованиями Небольсина и Небольсиной в вегетационных опытах (1983, 2005) установлено влияние факторов, снижающих действие кислотности на растения. Так, при повышении содержания органического вещества осаждение алюминия в почве увеличивается, между данными показателями существует обратная корреляция.

Для ячменя, как и других зерновых культур, установлен оптимальный уровень рН почвы, который составляет около 5,5-6,0 (Небольсин, Небольсина, 2008).

При этом установлено, что применение фосфорных удобрений снижает интервал оптимального значения рН на растения. Объясняется это присутствием помимо фосфора в удобрениях еще и кальция. Это имело значение для более чувствительных культур к кислотности и алюминию, таких как ячмень, клевер и горчица. Так, оптимальный интервал рН при низком обеспечении фосфором растений в их опыте для ячменя составлял 6-7, а при высокой 5,2-5,6. Содержание подвижного алюминия при этом значительно снижалось. Данная закономерность подтверждалась и результатами полевых опытов с суперфосфатом. Снижение подвижного

алюминия в почве проходило до уровня содержания подвижного фосфора в почве (20 мг/100г), а далее оно увеличивалось.

По данным Смоленской Зональной агрохимлаборатории при анализировании почв, взятых в различных районах области, получено большое количество образцов с повышенной концентрацией алюминия (Кирпичников, 1989).

Так, при концентрации алюминия в 0,02 н CaCl₂-вытяжке свыше 1,1 мг/л (значение рН_{сол} 4,0 – 4,5) было 16% образцов от общего количества 445, а свыше 2,0 мг/л – 6%. Одностороннее использование физиологически кислых форм минеральных удобрений в виде азотных и калийных в настоящее время может способствовать существенному увеличению площади почв с высокой концентрацией алюминия.

Для изучения взаимодействия фосфорных удобрений и извести в зависимости от содержания подвижного алюминия в почве в 1980 году на ЦОС ВИУА (Глазунова, Кирпичников, 1985) был проведён микрополевой опыт с различными дозами извести (0; 0,75; 1,5 г.к.) и двумя дозами суперфосфата (0 и 300 кг/га P₂O₅). Как показали данные урожая ярового ячменя, эффективность фосфорных удобрений и извести зависела не только от уровня рН, но и от концентрации алюминия в почве. В вариантах без внесения фосфорных удобрений известь проявила высокую эффективность на всех слабообеспеченных фосфором почвах. Наибольшая ее эффективность была достигнута на почвах с высоким содержанием алюминия при рН_{ксл} ниже 4,5. Действие извести в данном случае высокое не только в вариантах без фосфора, но и в вариантах с фосфором. Фосфорные удобрения при повышенном содержании алюминия в почве были неэффективны. Для их высокого действия существует необходимость в применении повышенных доз. Их положительное действие в данном случае проявлялось лишь при известковании. Урожайность ярового ячменя на неизвесткованной почве в вариантах без фосфора и с фосфором при высоком содержании алюминия

составили соответственно 22,4 и 23,0 ц/га. При совместном внесении фосфора и извести 0,75 г.к. она значительно повышалась и составила 35,4 ц/га.

На слабоокультуренной почве с низкой концентрацией алюминия фосфорные удобрения, как и в полевом опыте, проявили высокую эффективность без известкования. О взаимодействии фосфорных и известковых удобрений свидетельствуют результаты исследований также в длительных полевых опытах ЦОС ВНИИА (Сычѳв, Кирпичников, 2016).

Таким образом, при значительном содержании подвижных форм алюминия (7-10 мг/100 г и выше) в дерново-подзолистой слабоокультуренной почве снижается растворимость фосфатов, ухудшается обеспеченность фосфором растений. В данном случае фосфорные удобрения проявляют слабую эффективность без предварительного известкования. Эффект от извести на растения при этом высокий даже при небольших дозах 0,25 – 0,75 г.к., а действие фосфорных удобрений на фоне извести повышается. При повышенном содержании подвижного алюминия и при отсутствии известкования требуется внесение очень высоких доз фосфорных или органических удобрений, что экономически нецелесообразно, а при современном дефиците фосфорных удобрений крайне маловероятно.

Среди слабоокультуренных сильнокислых дерново-подзолистых почв имеются значительные площади с низким содержанием подвижного алюминия (до 5-7 мг/100 г). Связано это с длительным периодом действия извести на обменную кислотность и содержание подвижного алюминия, а также с применением органических удобрений (Карпинский, 1972; Авдонин, 1976; Стрельников, Ерохина, 1985; Кирпичников, 2016; Сычѳв, Кирпичников, 2016).

Низкий уровень плодородия этих слабоокультуренных почв объясняется слабой обеспеченностью растений фосфором. Из всех элементов

питания наиболее эффективными здесь являются фосфорные удобрения. Об этом свидетельствуют результаты полевых опытов ЦОС ВНИИА (Кузнецова, 1984, Кирпичников 1989; Сычѳв, Кирпичников, 2014), а также Раменской агрохимической опытной станции НИУИФ (Безуглая, 1984; Янишевский и др., 1995). На известкованных почвах, особенно высокими дозами, эффективность фосфорных удобрений в опытах снижалась. Так в длительном полевом опыте СШ – 9 на ЦОС ВНИИА урожайность ярового ячменя сорта «Московский 121» на слабоокультуренной почве повышалась по мере увеличения дозы суперфосфата (P_2O_5 40, 80, 120 кг/га в среднем за ротацию) с 20,9 до 40 ц/га. Окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожайности ячменя на произвесткованной почве по 1,5 г.к. снижалась в 2 раза (с 20 до 9,8 кг зерна в расчѳте на 1 кг P_2O_5). Снижение эффективности фосфорных удобрений на известкованных почвах и их окупаемости также отмечали Сычѳв, Шафран (2012) при обобщении опытов в системе Агрохимслужбы, а также Адрианов, Воробьѳв (2002).

При известковании, особенно высокими дозами (1,5 – 2 г.к.), как известно из работ Кедрова-Зихмана (1957), Кораблевой (1950), Глазуновой (1983), Кирпичникова (2016), Иванова (1972) происходит улучшение фосфатного режима почвы и обеспеченности растений фосфором. Потребность в фосфорных удобрениях в данном случае снижается. Эту закономерность отмечали в работах Похлебкиной (1968, 1979, 1983, 1984).

Так в опытах Кораблевой (1950) на Долгопрудной агрохимической опытной станции НИУИФ действие высокой дозы (18 т/га) извести было настолько значительным, что внесение фосфорных удобрений на известкованной почве не оказало существенного влияния на урожайность культур полевого севооборота.

Эффективность фосфорных удобрений зависит от содержания подвижного фосфора в почве. В полевом опыте Московского НИИСХ (Немчиновка) с высоким содержанием подвижного фосфора в дерново –

подзолистой почве урожайность сортов ярового ячменя была примерно равная при различных уровнях pH_{KCl} (Кузьмич, 2017).

На окультуренной дерново – подзолистой суглинистой почве Северо – Востока урожайность сортов ярового ячменя на фоне $N_{60}K_{60}$ составляла 34 – 35 ц/га, а дальнейшее повышение фона не приводило к увеличению урожайности. Эффективность фосфорных удобрений на окультуренной почве, а также их окупаемость, были относительно низкими (Пасынков, 2004).

В длительном полевом опыте на слабоокультуренных дерново – подзолистых почвах тяжелосуглинистой почвы прибавка урожайности ярового ячменя сорта Московский – 121 при внесении ежегодно P_{60} , составила на известкованном фоне 17,2 ц/га, на известкованном 10,2 ц/га. Окупаемость 1 кг P_2O_5 составила соответственно 29 и 16 кг зерна (Сычѳв, Кирпичников, 2015).

Таким образом эффективность фосфорных удобрений на слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах зависит от её свойств, содержания подвижного алюминия, органического вещества и уровня кислотности. На почвах с низким содержанием подвижного алюминия (менее 7 мг/100 г) действие фосфорных удобрений высокое, на хорошо известкованных почвах эффективность фосфорных удобрений снижается.

Снижение эффективности фосфорных удобрений на фоне извести, особенно больших доз (1,5, 2,0 г.к.), многие учёные связывают с мобилизацией фосфатов при снижении сорбции почвой (Кораблѳва, 1950; Кедров-Зихман ,1957; Глазунова , 1971, 1976, 1983; Сычѳв, Кирпичников, Шильников ,2014).

Снижение сорбции фосфатов при известковании на почвах с высокой кислотностью отмечали Небольсин, Небольсина (2005), Kamprath (1970), Иванов и др. (2012).

При систематическом применении удобрений и периодическом известковании улучшаются агрохимические свойства дерново-подзолистых почв, повышается обеспеченность подвижными фосфатами за счёт остатков удобрений, снижается кислотность.

Количество остаточных фосфатов связано с уровнем применения фосфорных удобрений при дозах, превышающих вынос P_2O_5 растениями. Остаточные фосфаты удобрений играют большую роль в фосфатном режиме окультуренных почв (Доспехов, 1963; Соколов, Гладкова, 1979; Сычев, Кирпичников, 2009). По мнению Кука (1987) они играют большую роль в фосфатном питании растений и их устойчивости к неблагоприятным условиям погоды. В известкованных почвах остаточные фосфаты в меньшей степени трансформируются в труднорастворимые и малодоступные формы, что было доказано работами Аскинази (1941), Иванова (1973), Хлыстовского, Князевой (1976).

Работами Соколова (1958) установлено, что внесение фосфорных удобрений приводит к накоплению в почве метастабильных усвояемых форм, которые оказывают значительное последствие. С помощью радиоизотопного метода он установил способность вносимых удобрений к повышению в почве запаса и подвижности усвояемых фосфатов.

G.W. Cooke (1984) пишет, что для эффективного использования растениями внесённых фосфатов на кислых почвах с высокой фиксирующей способностью необходимо интенсивное известкование.

S.R. Olsen (1958), C.O. Stanberry (1960) отмечают, что внесённые фосфаты быстро фиксируются и в известкованной почве, но доступность их растениям остаётся высокой длительное время.

Повышение растворимых форм фосфатов и уменьшение труднорастворимых при известковании дерново-подзолистой почвы по 0,75 и

1,0 г.к. показано работами, Брагина, Вильдфлуша (1973), Лебедева (1989), Малеиной (1960), Можар и др. (1985).

Обстоятельные исследования фосфатного режима почв в связи с систематическим использованием удобрений проводились Любарской (1966). При анализе почвенных образцов с длительных полевых опытов Долгопрудной агрохимической опытной станции, полевой опытной станции ТСХА (опыт Прянишникова) и др. учреждений, установлено, что под влиянием известкового удобрения повышается содержание первых двух групп фосфатов как на контроле, так и на минеральной системе, но не изменяется содержание подвижного фосфора в почве (Ельников и др., 1985, Наконечная, 1971). Известкование практически не изменяло содержание подвижного (по Кирсанову) и валового фосфора в почве в длительных полевых опытах на Центральной опытной станции ВНИИА (Сычѳв, Кирпичников, 2016). Однако, степень подвижности фосфатов повышалась при известковании большими дозами (1,5 и 2,0 г.к.), что было показано исследованиями в длительном полевом опыте (Кирпичников, 2016), причѳм в большей мере на высоких фосфатных фонах.

По данным ряда учѳных (Безуглая, 1969; Колянда, 1971; Бабарина, 1968, 1981; Чуприков, 1976; Холопова, 1980; Касицкий и др., 1985, 1991; Гинзбург, 1981; Адрианов, 2004) при внесении суперфосфата в дерново-подзолистых суглинистых почвах накапливаются, как правило, фосфаты алюминия и железа, т.е. формы, свойственные данным почвам. При это на долю новообразовавшихся активных фракций (1-4) приходится основное количество фосфатов.

Кулаковской (1985), Кирпичниковым и Адриановым (2007) выявлена прямая зависимость между степенью подвижности фосфатов в почве и содержанием первых двух фракций (по методу Гинзбург-Лебедевой), которые имели положительную корреляцию с урожаем.

Фосфорные удобрения, как известно, обладают длительным последствием. По данным многих опытов на дерново – подзолистых почвах из фосфорных удобрений в первый год используется растением только 10 – 20 %, а за 2 – 3 года – 40 % (Соколов и др., 1980; Кулаковская, 1990; Лебедева, 1989).

Доступность остаточных фосфатов может быть оценена полно только по урожаям сельскохозяйственных культур при сопоставлении почвенных вариантов, содержащих остаточный фосфор и контроля (без фосфора).

Наиболее длительным опытом в нашей стране на дерново-подзолистых суглинистых почвах является опыт с различными формами фосфорных удобрений на Долгопрудной агрохимической опытной станции (Хлыстовский 1992). Положительное влияние фосфорных удобрений в данном опыте отмечено на 58-й год после их внесения в количестве 540 кг/га P_2O_5 . На Ротамстедской опытной станции в Англии в одном из опытов высокая эффективность фосфорных удобрений отмечалась более 50 лет (Дж. Кук, 1970; R.G. Warren, A.E. Johnston, 1962).

Высокое последствие фосфорных удобрений показано в длительном (28 лет) полевом опыте СШ-9 (Кирпичников, Адрианов, 2007; Сычёв, Кирпичников, 2015), где представлены факторы свежевнесённых и остаточных фосфатов при различной степени известкования. Ежегодное внесение 40-120 кг/га P_2O_5 на неизвесткованной почве с очень низким содержанием подвижных фосфатов (фон P_0) снизило оплату каждого кг удобрения в среднем за 10 лет с 16,5 до 9,4 кг з.е. В варианте со средним содержанием (фон P_{600}) оплата каждого кг удобрения понизилась в 1,7 раза, с повышенным содержанием (фон P_{1200}) – в 2,4 раза. Окупаемость единицы фосфорных удобрений в среднем за 11 лет составила 86-94% от прямого их действия. Суммарная окупаемость удобрений приростом урожая за годы их прямого действия и последствия в зависимости от доз свежевнесённых

фосфатов на созданных фосфатных фонах составила за 21 год соответственно 17,6-30,8 кг, 10,2 – 17,8 кг и 7,3 – 12,6 кг з.е. на 1 кг P_2O_5 .

Известкование почвы по 1,5 гидролитической кислотности за годы прямого действия и последействия заметно улучшило фосфорное питание растений – окупаемость фосфорных удобрений в связи с этим снизились на фоне P_0 в 1,3 – 1,5 раза, на более высоких фосфатных фонах P_{600} и P_{1200} в 1,8 – 2,3 раза.

При среднем содержании подвижного фосфора (7-8 мг/100г) урожайность ячменя на известкованной почве практически не повышалась, что свидетельствует о значении остаточных фосфатов в известкованной почве.

На основании полученных данных в этом опыте установлено оптимальное содержание подвижных фосфатов (фактор емкости) степени их подвижности (фактор интенсивности) для различной урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от известкования.

В условиях Северо-Востока Нечернозёмной зоны (Суров, 1984) урожайность ярового ячменя при низком содержании подвижного фосфора составила 10,6 ц/га, при среднем 14,6 ц/га. Прибавки урожайности в зависимости от дозы фосфорных удобрений (30, 60, 90 кг/га P_2O_5) составили при низком уровне фосфатов в почве 3,6; 3,8 и 4,0 ц/га, при среднем соответственно 4,2; 2,5 и 5,0 ц/га. Окупаемость 1 кг фосфора прибавкой урожая была относительно низкой и составила при низком содержании фосфатов 12; 6,3; 5,5 кг/кг, а при среднем в 2-3 раза ниже.

По данным опытов Агротехимслужбы (Нормативы, 2016) на дерново-подзолистой почве Тверской области (pH_{KCl} 5,7-5,9 и P_2O_5 4,5 – 6,0 мг/100 г) урожайность ярового ячменя на контроле составила 14,6 ц/га, с прибавкой от $N_{60}P_{60}K_{30}$ 7,8 ц/га. Прибавка урожая от фосфорных удобрений на фоне $N_{60}K_{30}$ в опыте составила 7,8 ц/га при окупаемости кг P_2O_5 – 6,0 кг зерна. В условиях

Ярославской области (pH_{KCl} 5,3 – 5,6 и содержании подвижного фосфора в почве 6,5 – 9,5 мг/100г) урожайность ярового ячменя на контроле составила 19,8 ц/га, прибавка урожая от $N_{60}P_{60}K_{90}$ – 18,1 ц/га при окупаемости фосфорных удобрений 18,8 кг/кг.

Достаточно высокая урожайность ярового ячменя сорта Московский 121 (45 – 55 ц/га) получена на дерново – подзолистой тяжелосуглинистой почве ЦОС ВНИИА (Ваулин, 1994). При внесении суперфосфата в дозах 60 и 90 кг/га P_2O_5 окупаемость в краткосрочных опытах при этом была наибольшей (около 15 кг/кг в варианте P_{60}).

По данным Ивановой (1989) применение фосфорных удобрений в многофакторном полевом опыте на дерново – подзолистой легкосуглинистой почве Смоленской области с повышенным содержанием подвижных фосфатов не приводило к увеличению урожайности ячменя в условиях достаточного увлажнения и оказала заметное действие в засушливые годы.

Низкая окупаемость фосфорных удобрений по сведениям Державина (1992) была получена в краткосрочных опытах Агрохимслужбы на дерново-подзолистых почвах, которая по обобщённым данным составила от 6,0 до 3,1 кг/кг. При внесении фосфорных удобрений на искусственных фосфатных фонах в условиях дерново-подзолистой почвы Смоленской области (Дышко, 2002) выявлена различная окупаемость свежевнесённого фосфора в дозе 60 кг/га P_2O_5 на общем фоне $N_{60}K_{120}$. При содержании в почве 7,2 мг/100 г подвижного фосфора окупаемость 1 кг P_2O_5 прибавкой урожая ячменя составила 6,2 кг зерна, 13 мг/100 г – 5,3 кг, при 20 мг/100г – 2,7 кг зерна, урожайность на фонах при этом составляла 14,2; 15,6; 18,5 ц/га соответственно.

На окультуренных дерново-подзолистых почвах Брянской, Московской и Ярославской областей в опытах Агрохимслужбы (Нормативы, 2016) эффективность фосфорных удобрений отмечалась невысокой, при внесении

фосфора 60 кг/га окупаемость прибавкой урожаем ячменя составила 1,8 – 7,7 кг зерна.

В условиях среднесуглинистых слабоподзолистых почв Марий – Эл (Алметов и др., 2012) урожайность ячменя сорта Московский 121 составляла в среднем из 17 полевых опытов на контроле 18,8 ц/га, на фоне $N_{60}K_{60}$ – 26 ц/га, а в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 28,5 ц/га при повышенном исходном содержании подвижного фосфора в почве (10-13 мг/100г). Окупаемость 1 кг P_2O_5 прибавкой урожая при этом составила 3,4 кг зерна. Наибольшая прибавка урожайности ячменя в этих условиях получена от применения азотных удобрений.

Обобщённые данные опытов по эффективности фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах Центрального округа (Сычёв и др., 2010) показали, что наиболее отзывчивой на фосфорных удобрений из зерновых культур оказалась озимая пшеница, затем ячмень, наименьшая прибавка урожайности получена на овсе и озимой ржи. При низком содержании подвижного фосфора в почве (< 5,0 мг/100 г) урожайность ярового ячменя повышалась с увеличением дозы фосфорных удобрений (с 30 до 90 кг/га P_2O_5). При среднем содержании (5,1 – 10 мг/100 г) прибавка снижалась в 2-3 раза – оптимальная доза – 60 кг/га P_2O_5 . При повышенном и тем более высоком содержании, прибавок урожая практически не получено. Окупаемость 1 кг P_2O_5 удобрения прибавкой урожая ячменя при внесении P_{60} составили при низкой обеспеченности почвы фосфатами – 9,3 кг, при средней – 3,3 кг зерна.

С повышением значения рН эффективность фосфорных удобрений и их окупаемость снижается. Так на окультуренных дерново-подзолистых почвах Удмуртии (Дзюин, 2012) урожайность ярового ячменя в длительном полевом опыте практически не изменилась при внесении ежегодно 60 кг/га P_2O_5 на фоне $N_{60}K_{40}$, её уровень составил 32,5 – 35 ц/га, окупаемость удобрения зерном в данном случае очень низкая (около 4 кг/кг).

Эффективность фосфорных удобрений во многом зависит от метеорологических условий вегетационного периода. Для ячменя, как известно, особенно важное значение имеют осадки при фазах кушение – трубкование – колошение. Так в условиях Смоленской области (Гусейнов, 2000) высокая урожайность ярового ячменя формировалась при сумме осадков за вегетационный период 508 мм, а при сумме 221 мм – в два раза ниже. В первом случае количество зерен в колосе и масса 1000 зерен была выше, чем во втором.

Стребковым (1989) и Сычёвым (2005) при обобщении результатов исследований в опытах сделан вывод о значении обеспеченности почвы подвижными фосфатами в повышении устойчивости растений ячменя и других культур к изменениям погоды в вегетационный период. Роль фактора погоды с повышением окультуренности почвы для урожайности зерновых культур снижается с 86 до 52%, доля почвенного плодородия при этом возрастает с 14 до 48%.

О значительном преимуществе окультуренной дерново-подзолистой почвы по сравнению со слабоокультуренной в формировании урожайности ярового ячменя свидетельствуют также исследования Кидина и Бельдяева (2015). Вынос фосфора с урожаем, а также коэффициент использования фосфора из почвы окультуренной в условиях их вегетационного опыта были выше, чем на слабоокультуренной как из пахотных слоёв, так и из подпахотных.

В настоящее время сотрудниками НИИ сельского хозяйства «Немчиновка» выведены новые сорта ячменя интенсивного типа: Эльф, Нур, Выбор. Они более требовательны к плодородию почвы и уровню минерального питания. Так по данным Смирнова и др. (2010) сорт Нур обеспечивал урожайность ячменя ярового 45-50 ц/га при содержании фосфора в почве около 10 мг/100 г. Окупаемость 1 кг P_2O_5 составила 13,8 –

16,8 кг зерна. В засушливом году преимущество по урожайности было на высоком фосфатном фоне.

На окультуренной дерново – подзолистой тяжелосуглинистой почве ЦОС ВНИИА (Ваулина и др., 2016) урожайность ярового ячменя сортов Эльф и Выбор в длительном полевом опыте составила около 50 ц/га при внесении $N_{90}P_{60}K_{60}$, окупаемость 1 кг NPK составила более 10 кг зерна. Однако фактор фосфора в этом опыте не изучался.

Таким образом эффективность фосфорных удобрений на слабоокультуренных дерново – подзолистых суглинистых почвах во многом зависит от известкования и содержания подвижного алюминия. Фосфорные удобрения снижают эффективность на известкованных почвах, особенно высокими дозами, а также при высоком содержании подвижного алюминия. На окультуренных известкованных почвах, обеспеченных подвижными фосфатами, достигается более высокая урожайность ярового ячменя при меньшей окупаемости фосфорных удобрений. Однако, данных опытов с интенсивными сортами ярового ячменя очень мало. Приведенные результаты по изучению эффективности фосфорных удобрений в основном не отражают влияния степени окультуренности дерново – подзолистой почвы – уровень урожайности и окупаемости в основном низкие.

Глава 1.2. Влияние фосфорных удобрений на качество зерна ярового ячменя в зависимости от окультуренности дерново – подзолистой почвы.

Фосфор, являясь составной частью клетки растений, участвует в синтезе белков, углеводов, в процессах дыхания растений. Он входит в состав органических соединений: нуклеиновых кислот, фосфатидов, фитина, сахарофосфатов и др., которые имеют важное значение в жизни растений. Поэтому в формировании продукции высокого технологического и

питательного качества зерновых культур, в частности ячменя, фосфору принадлежит важная роль.

Данные, опубликованные в научной литературе, о действии фосфорных удобрений на содержание белка противоречивы. Это противоречие не случайно, так как синтез белковых веществ происходит при участии других элементов питания, и прежде всего азота. Резкий недостаток фосфора даже при нормальном азотном питании отрицательно сказывается на синтезе нуклеиновых кислот и через них – на синтезе белка (Коданев, 1964). При одностороннем применении фосфорных удобрений содержание белка в зерне снижается (Литвинов и др., 1980; Суров и др. 1984). Авдонин (1982) отмечал, что фосфорные удобрения при достаточной обеспеченности растений азотом не снижают содержание белка у зерновых культур. Исследования Воллейдт (1978), Кирпичникова (1989) показали, что при одностороннем фосфорном питании фосфор накапливается в тканях главным образом в минеральной форме и в форме нуклеотидов. В этом случае отношение органического фосфора к неорганическому, а также белкового азота к небелковому и содержание белка в зерне снижается – тормозится процесс синтеза белка. Анализируя причины снижения белковости зерна при одностороннем усилении фосфорного питания, Минеев и Павлов (1979) отмечали, что снижение белка от применения фосфорных удобрений означает, что растения испытывают дефицит азота.

Многолетние исследования Ивановой (1989) на дерново-подзолистой почве Смоленской области показали, что применение возрастающих доз фосфорных удобрений (от 60 до 270 кг/га P_2O_5) на фоне высокого уровня азотно-калийного питания не снижало содержания белка в зерне зерновых культур при значительном повышении урожайности. Технологические показатели при этом практически не изменились.

Мосолов (1979) при изучении соотношения азота и фосфора установил, что для раннеспелых сортов зерновых культур должно быть преобладание

азота, а для позднеспелых – фосфора. Для пищевого и кормового ячменя он рекомендовал повышенное количество азотных и фосфорных удобрений; на пониженном фоне – калийных. Это способствует увеличению содержания спирторастворимой и щелочнорастворимой фракций белка, повышению незаменимых аминокислот. Было также отмечено, что для выращивания пивоваренного ячменя должно преобладать фосфорное и калийное питание над азотным – зерно формируется с высоким содержанием экстракта, крахмала и солерастворимых фракций белка.

Глубокие исследования по влиянию степени окультуренности дерново-подзолистой почвы отдельных элементов питания на качество продукции проведены Авдониным (1979). Систематическое в течение 20 лет внесение физиологически кислых азотных и калийных удобрений приводило не только к снижению урожайности, но и ухудшению качества продукции в результате накопления в почве вредного для растений алюминия – содержание белка в растениях при этом значительно снижалось. Так, в зерне ячменя оно составляло на фоне НК 9,9, а на фоне NPK – 11,3%. Известкование повышало его содержание лишь на фоне НК.

Ряд других исследователей утверждает, что при сбалансированном питании растений фосфорные удобрения не оказывают существенного влияния на содержание белка в зерне (Толстоусов, 1987; Ваулин, 1994; Алметов, 1996). Имеются данные о положительном влиянии фосфорных удобрений на белковость зерна ячменя (Судаков и др., 1992; Адрианов, 2004; Конончук, 2003).

В длительном полевом опыте на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве (Адрианов, 2004) применение фосфорных удобрений по 60 кг/га P_2O_5 ежегодно повышало содержание белка в зерне ячменя на фонах внесенных азотных удобрений в дозах 50 и 100 кг/га. Уравнение регрессии при этом выражалось: $Y = 7,85 + 2,177 N + 0,200 (NP)^2$. Наиболее высокое содержание сырого белка (15%) в зерне ячменя за годы проведения опыта

получено при внесении $N_{150} P_{180} K_{90}$, а самое низкое (7,9%) – на контрольном фоне почвы или при одностороннем внесении на нем фосфорных удобрений. В длительном полевом опыте на ЦОС ВНИИА (Кирпичников, Шильников, 2011) внесение фосфорных удобрений повышало содержание в зерне ячменя белка на фоне НК. Положительный результат сбалансированного питания растений азотом и фосфором в получении высокого качества зерна, ячменя и озимой пшеницы на серых лесных почвах была отмечена Никитишениным (2002). При значительном повышении урожайности содержание белка несколько повышалось, особенно в засушливый вегетационный период.

В оценке белковости зерна ячменя, предназначенного для производства пива, среди специалистов нет единого мнения. Однако в практике пивоварения предпочтение отдается низкобелковому ячменю, так как из солода высокобелкового ячменя получается пива меньше, чем из низкобелкового. Многие считают, что допустимым уровнем содержания белка в зерне является 12% и не меньше 8% (Пасынков, 2004).

По мере повышения белковости зерна ячменя, как правило, снижается содержание крахмала. Установлено, что чем больше крахмала в зерне, тем больше в нем экстрактивных веществ, и выше пивоваренная ценность сырья.

Хорошим пивоваренным ячменем принято считать зерно с экстрактивностью не менее 76%, по ГОСТу 5060 – 86 -77.

По сводке Коданева (1964) на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья внесение фосфорных удобрений при средних дозах на фоне азотно-калийных повышало экстрактивность зерна с 74,3 до 76,8% при уровне крахмалистости зерна около 76%. На эти показатели как и на содержание белка сильно влияют погодные условия.

При обобщении результатов исследований в полевых опытах на окультуренных дерново-подзолистых суглинистых почвах НИИ Северо-Востока (Пасынков А.Н., 2004) установлена зависимость экстрактивности

зерна ячменя от содержания белка, массы 1000 зерен, крахмала. Для практического применения ярового ячменя по его мнению имеет смысл определения сырого белка и массы 1000 зерен.

В полевом опыте на дерново-подзолистой почве (Аристархов, 1979) содержание белка в зерне ячменя с повышением фосфатного фона на контроле повышалось с 10,5 до 11,4%, а в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ – с 11,7 до 11,8.

По данным Алтайского НИИ сельского хозяйства (Литвинцева, 2005) применение фосфорных удобрений на фоне N_{45} содержание белка в зерне не изменялось и составило 11,1%, а содержание крахмала и экстрактивность повышались.

Положительное влияние на содержание сырого белка в зерне разных сортов ярового ячменя получено в полевом опыте при интенсивной технологии в Московском НИИСХ (Пивоварова, 2009).

В полевом опыте на серой лесной почве Иркутской с.-х. академии (Гребенщиков, 2005) содержание крахмала находилось в прямой зависимости от обеспеченности растений ячменя фосфором и в обратной – от азота, а содержание белка от фосфора не изменялось.

Определенную озабоченность вызывает в фосфорных удобрениях и их сырье наличие тяжелых металлов – элементов с атомной массой более 40 (кадмия, свинца, никеля, меди, цинка и др.). Опасность загрязнения тяжелыми металлами усиливается и слабым выведением их из почвы. Так, период 50%-ого удаления их варьирует в зависимости от видов металлов: Zn – 70-510, Cd – 13-1100 лет (Овчаренко, Шильников, Вендило, 1997).

Среди элементов-загрязнителей наиболее опасным является кадмий, который при высоких концентрациях оказывает отрицательное влияние на организм человека и животных. Однако его содержание в фосфорных удобрениях невысокое, по данным Черных и Овчаренко (2002) двойной

суперфосфат его содержит 1,3 мг/кг. Почти в 10 раз меньше его содержится в известняковой муке. По данным Войтовича и др. (2005) в суперфосфате содержится 15-17 мг/кг свинца и 22 мг/кг меди.

Согласно их расчетам с фосфорными удобрениями вносится в почву 3-4 г. кадмия в год или в пересчете на массу пахотного слоя одного гектара всего 0,001 мг.

При ОДК по этому элементу 1,0-2,0 мг/кг указанное количество не создает угрозы накопления в почве сверх допустимых концентраций в течение длительного времени (Гигиенические нормативы, Г.Н. 2. 1, 7, 0, 20 - 94).

Многие исследования, проведенные в последнее время по экологическим аспектам применения удобрений, дают противоречивые данные о влиянии Т.М. на поступление в растения и качество продукции, Это, очевидно связано с тем, что наличие связи между содержанием их в почве и растениях во многом зависит от свойств почвы, ее кислотности, содержания органического вещества, биологических особенностей культур и др. факторов (Алексеев, 1987, Минеев и др., 1993, Овчаренко и др., 1997) Так, в длительных опытах применение извести, особенно в больших дозах, растворимость Т.М. существенно снижается, что оказывает влияние на снижение поступления их в растения (Шильников, Аканова, 1995).

В многолетнем опыте (41 год) МГУ при систематическом применении минеральных удобрений валовое содержание Т.М. в дерново-подзолистой суглинистой почве существенно не изменялось (Гомонова, 1994), однако содержание подвижных форм Pb , Cd и Ni в почве, особенно под влиянием азотно-калийных удобрений, не повышалось.

Об отсутствии заметного загрязнения почв и растений под влиянием удобрений свидетельствуют также результаты длительных полевых опытов

ДАОС, ВНИИ льна (Петрова, 1994), а также ВНИИА в условиях Брянской и Кировской областей (Адрианов, 2004).

При изучении действия различных форм фосфорных удобрений в длительном полевом опыте Смоленской области (Войтович и др., 2005). на экологическое состояние дерново-подзолистой почвы не выявлено существенного влияния их на содержание свинца, меди, цинка и кадмия. Их содержание в почве было значительно меньше по сравнению с ОДК. В длительном опыте с формами фосфорных удобрений на ЦОС ВНИИА при внесении их за 27 лет (420 кг/га P_2O_5 количество тяжелых металлов в почве было в 100, а в отдельных случаях в 1500 раз ниже ПДК их валовых форм (Сычев, Кирпичников, Шильников, 2015).

Внесение фосфорных удобрений в данном опыте не оказало существенного влияния на содержание тяжелых металлов в продукции. Так, в зерне ячменя содержание цинка, свинца и кадмия было несколько меньше уровня фона НК, а на фоне НК+ известь их содержание значительно снижалось.

По данным Овчаренко (1997) при применении обычных доз минеральных удобрений 60-90 кг/га (NPK) и известкования не приводит к существенному повышению подвижных форм Т.М. в почве и накоплению в растениях. А внесение фосфорных удобрений, как наиболее с высоким содержанием Т.М. до уровня удвоения валовых форм Т.М. в почве потребуются высокие дозы – сотни и тысячи тонн P_2O_5 .

Проводя большое количество опытов в системе Агротехслужбы, Аристархов (2000) сделал заключение, что хотя фосфорные и известковые удобрения являются источником загрязнения почвы тяжелыми металлами, но они снижают содержание их подвижных форм в почве и поступление в растения. Анализ поступления Т.М. в агроценозах Московской области показал, что их наименьшее количество приходится на минеральные

удобрения (2,4- 11%), на органические удобрения и атмосферные осадки приходится 23-60 и 10-33% соответственно.

Длительное применение фосфорных удобрений (с 1912г.) в опыте Прянишникова ТСХА (Поддымкина, 2012) содержание подвижных форм Т.М. в почве практически не повышалось под озимой рожью, выращиваемой бесменно, а в севообороте несколько повышалось, но их уровень был ниже ПДК.

Эколого-агрохимические показатели применения удобрений в современных условиях земледелия должны быть четко регламентированы, так как при внесении высоких доз минеральных удобрений, особенно фосфорных, ассоциируется с отрицательными экологическими аспектами и слабым качеством растительной продукции.

Проведённые балансовые исследования по поступлению тяжёлых металлов в почву с удобрениями показали, что необходимы десятки столетий систематического применения их повышенных доз для достижения ПДК или ОДК (Овчаренко М.М., Бабкин В.В., Кирпичников Н.А., 1998; Аристархов и др., 1996, 1999; Овчаренко, Шильников и др., 1997; Mortredt, 1996).

Анализ многочисленных расчётов баланса поступления тяжёлых металлов с удобрениями и их выноса сельскохозяйственной продукцией (Головина и др., 1984, 1985; Парамонова, 1991; Аристархов, 2000; Аристархов, Харитонова, 2002; Тихомирова, 2004) показал, что применение основных видов и форм минеральных удобрений из российского сырья не приводит к увеличению большинства тяжелых металлов в агроэкосистемах на почвах, сформированных на лессовидных, покровных суглинках и флювиогляциальных отложениях. Применение некоторых форм минеральных удобрений, а также извести в агроценозах на дерново – подзолистых почвах приводило к увеличению поступления кадмия, свинца,

никеля и хрома над выносом их растениями, что, однако, не проявлялось в накоплении тяжелых металлов в почвах и растениях в течение 20-60 лет ведения опытов (Черных и др., 1994; Носовская и др., 2001).

При использовании только минеральной системы удобрения, не зависимо от формы вносимых удобрений, наблюдается отрицательный баланс цинка, меди, марганца, приводящий иногда к дефициту биофильных элементов (Кидрун, 1978; Головина и др., 1984, 1985; Каплунова, Журавлёва, 1988; Парамонова, 1991; Минеев, Егоров, 1997; Носовская и др., 2001). Расчёт хозяйственного баланса кадмия, свинца, хрома и никеля свидетельствует об отсутствии существенного превышения в статьях прихода над статьями расхода (Минеев и др., 1988; Парамонова, 1991; Носовская, 2001).

Таким образом, качество зерна ячменя во многом зависит от применения фосфорных удобрений, а их влияние определяется другими факторами: свойства почвы и др. Однако влияние фосфорных удобрений на продуктивность ячменя и качество зерна в связи с агрохимическими свойствами почвы и биологическими особенностями сорта, в конкретных почвенно-климатических условиях, изучено недостаточно.

Из приведённого обзора следует, что в современных условиях, когда изменились технологии возделывания сельскохозяйственных культур, появились новые более интенсивные сорта ячменя, вопросы эффективного использования фосфорных удобрений в условиях различной степени окультуренности изучены недостаточно.

Результаты опытов, показанные по различным схемам, предшественникам, почвенно – климатическим условиям, носят фрагментарный характер и поэтому не могут быть использованы при разработке систем применения фосфорных удобрений на дерново – подзолистых суглинистых почвах. Для этого нужна единая база данных,

составленных по одной и той же методике. Эими условиями отвечают исследования в нашем полевом опыте.

Глава 2. Условия и методы проведения исследований

Изучение влияния возрастающих доз фосфорных удобрений проводили в течение 2015-2017 гг на дерново – подзолистой тяжелосуглинистой почве с закладкой полевого опыта на Центральной опытной станции ВНИИА (Московская обл.) по следующей схеме: 1. Контроль – без удобрений; 2. $N_{60}K_{60}$; 3. $N_{60}K_{60} + P_{30}$; 4. $N_{60}K_{60} + P_{60}$; 5. $N_{60}K_{60} + P_{90}$; 6. $N_{60}K_{60} + P_{120}$.

Краткосрочный опыт проводили на соседних участках опытного поля (с. Шебанцево) с различными агрохимическими свойствами (табл.1).

Таблица 1

Основные агрохимические показатели дерново – подзолистой почвы в зависимости от степени окультуренности (показатели за 2015-2017 гг.).

Показатель	2015 г.		2016 г.		2017 г.	
	С	О	С	О	С	О
pH_{KCl}	4,1-4,5	5,1-5,4	4,3-4,7	5,3-5,5	4,6-4,8	5,5-5,6
H_r , ммоль-экв/100 г (по Каппену)	4,7-5,2	2,6-3,1	4,9-5,2	2,4-2,9	5,0-5,1	2,2-2,4
S , ммоль-экв/100 г (по Каппену-Гильковицу)	7,2-8,4	10,5-12,0	7,9-8,6	11,1-13,2	7,8-9,0	14,0-16,0
Гумус (по Тюрину), %	1,65-1,72	1,70-1,82	1,68-1,74	1,75-1,86	1,67-1,74	1,90-1,96
$N_{общ.}$, %	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Содержание подвижных форм фосфора (по Кирсанову), мг/кг	35-60	90-110	45-65	95-120	48-70	140-160

Содержание подвижных форм калия (по Кирсанову), мг/кг	90-120	130-140	85-115	135-150	90-125	170-180
Al, мг/кг (по Соколову)	46-48	42-45	40-46	22-30	18-23	13-19

Примечание: С – Слабоокультуренная почва, О – Окультуренная почва

Слабоокультуренная почва относится к градам средне и сильнокислых, с низким содержанием подвижного фосфора. Окультуренная почва относится к слабокислым при повышенном содержании подвижного фосфора. Обе почвы хотя и различаются по содержанию подвижного алюминия, но его уровень низкий. Содержание гумуса в обеих почвах существенно не различается. Для оценки свойств почвы образцы отбирали весной в первой декаде мая каждого года. Полевой опыт проводили согласно методике, применяемой в Географической сети опытов с удобрениями. Культура – яровой ячмень (лат. *Hordeum vulgare*) сорта Нур селекции НИИСХ Ц.Р.НЗ (Немчиновка). Он относится к ценным сортам по качеству, его направление зернофуражное, продовольственное и пивоваренное, отличается высоким потенциалом по урожайности (Кутровский и др., 2007).

Минеральные удобрения: аммиачную селитру (N 34,6%), двойной суперфосфат (P₂O₅ 42%) и хлористый калий (K₂O 56%) вносили вручную. Посевная площадь делянок 66 м² (16,5x4м), учётная – 30 м², повторность трёхкратная. Предшественник ярового ячменя - озимая пшеница. Посев проводили из расчёта 5 млн.шт/га семян.

При выращивании ярового ячменя применялась технология принятая в Московской области с использованием гербицидов и фунгицидов. Уборку урожая проводили зерновыми комбайнами «Сампо» в фазу полной спелости зерна. Показатели структуры урожая определяли по методу Госсортсети.

Анализы почвы и растений выполняли по соответствующим ГОСТам и общепринятым методикам. Коэффициент использования растениями элементов питания из минеральных удобрений рассчитывали разностным методом.

Биологическую активность определили по степени разложения льняного полотна.

Оценку значимости различий между вариантами проводили дисперсионным методом (Доспехов) с использованием программы STATVNIА.

Метеорологические условия в годы проведения опыта (табл. 2) достаточно различались. Вегетационный период 2015 года отличался повышенным количеством осадков, так в мае их выпало в 4-5 раз больше по сравнению с среднегодовым количеством, в июле они превышали среднегодовую норму почти в 3 раза.

В условиях 2016 года наблюдалось существенное отклонение в поступлении осадков от среднегодового количества, так в последнюю декаду июня-первую декаду июля осадков практически не было, а когда приближалось время уборки во второй-третьей декаде августа, то количество осадков значительно превысило среднегодовые показатели.

Вегетационный период 2017-го года был с наибольшим количеством осадков за 3 года проведения опыта. На протяжении июня и июля выпало повышенное количество осадков, в июле этот показатель превышал среднегодовую норму почти в 4 раза. Количество осадков с комфортными температурами в период вегетации сказалось на накоплении фитомассы ярового ячменя, что позволило получить в 2017-м году самый высокий урожай за время проведения опыта.

Таблица 2

Метеорологические условия вегетационного периода 2015-2017 гг.(по данным метеопоста ЦОС ВНИИА)

Месяц	Декада	Среднесуточная температура, t°С				Осадки, мм			
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	Много летняя	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Много летние
Апрель	I	2,8	6,0	6,0	0,1	18,3	13,0	23,7	11,0
	II	5,1	7,5	3,0	3,5	18,8	54,3	14,2	12,0
	III	10,1	10,0	8,0	7,2	21,4	9,6	19,2	13,0
	За месяц	6,0	7,8	5,7	10,6	58,5	76,9	57,1	36,0
Май	I	11,6	13,9	9,4	9,7	29,1	8,1	46,0	14,0
	II	11,3	12,8	8,9	11,4	65,5	51,8	28,0	16,0
	III	18,6	16,2	16,0	19,1	105,3	42,9	18,0	19,0
	За месяц	13,8	14,3	11,4	13,4	199,9	102,8	92,0	49,0
Июнь	I	16,7	13,2	12,7	11,4	0,0	54,8	29,4	19,0
	II	17,9	19,0	17,0	15,4	11,2	30,8	32,1	21,0
	III	19,2	23,0	16,5	16,4	119,9	4,4	86,6	23,0
	За месяц	17,9	18,4	15,4	15,4	131,1	90,0	148,1	63,0
Июль	I	19,6	18,0	15,1	17,4	66,4	4,1	147,1	25,0
	II	16,1	22,0	18,4	17,9	84,0	52,2	36,5	26,0
	III	19,5	22,0	20,0	17,9	40,3	32,6	48,2	27,0
	За месяц	18,4	20,7	17,8	17,7	190,7	88,9	231,8	78,0
Август	I	19,6	21,0	19,6	17,2	2,0	23,0	0,0	27,0
	II	25,5	18,0	20,3	16,1	20,4	189,0	26,4	24,0

	III	16,0	19,0	17,0	14,6	4,2	67,6	99,2	23,0
	За месяц	20,3	19,3	19,0	16,0	26,6	279,6	125,6	74,0

Глава 3. Результаты исследований

Глава 3.1 Влияние фосфорных удобрений при различной окультуренности почвы на формирование урожайности ярового ячменя

Глава 3.1.1 Динамика нарастания фитомассы растений ярового ячменя по фазам развития

При изучении динамики нарастания фитомассы растений выявлена определённая закономерность в действии метеоусловий, фосфорных удобрений, а также окультуренности почвы (табл. 3,4, прил.1).

В благоприятные 2015 и 2017 годы вегетационный период составлял 64 и 70 дней соответственно. При существенном недостатке осадков в 2016-м году вегетационный период сократился до 57 дней – сокращался межфазовый период. Если в 2017-м году период от фазы кущения до колошения составлял около месяца, то в 2016-м году – 24 дня.

Установлено, что в накоплении сухой фитомассы ярового ячменя, и вместе с этим урожайности, наибольшее значение имеют осадки мая и июня, когда наступает фаза кущения и трубкования растений (Ваулин, 1994; Мусаев, Захарова, 2016).

Таблица 3

Динамика нарастания сухой надземной фитомассы ярового ячменя в 2015 г.
(г/м²)

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	1	2	3	1	2	3
Контроль	131	296	623	152	308	710
N ₆₀ K ₆₀	171	554	700	224	632	796
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	212	652	887	226	670	940
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	230	710	980	245	718	1020
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	290	736	1270	358	732	1290
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	314	760	1273	365	800	1270

Примечание: 1 – фаза кущения, 2 – фаза трубкования, 3 – фаза колошение.

Таблица 4

Динамика нарастания надземной фитомассы ярового ячменя в 2016 г.
(г/м²)

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	1	2	3	1	2	3
Контроль	106	150	340	110	159	397
N ₆₀ K ₆₀	140	198	497	166	228	607
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	152	220	620	192	280	700
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	170	262	710	228	296	750
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	192	320	733	240	360	780
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	224	372	732	232	412	782

Примечание: 1 – фаза кущения, 2 – фаза трубкования, 3 – фаза колошение.

Приведенные данные свидетельствуют о существенном влиянии метеоусловий и фосфорных удобрений, особенно высоких доз, на увеличение фитомассы растений ярового ячменя. Эта закономерность наблюдалась уже в первый срок определения (в фазу кущения). В условиях 2015 года (более благоприятного) темпы накопления надземной фитомассы ярового ячменя

были выше, чем в 2016 г (менее благоприятного). В варианте контроля к началу трубкования растений ярового ячменя на слабоокультуренной почве надземная фитомасса составила в 2015 г. – 296 г/м², а в 2016 г. – 150 г/м². Наибольшая масса растений в эту фазу была в варианте с применением максимальной дозы фосфорных удобрений (P₁₂₀) и составила в 2015 г. – 760 г/м², в 2016 г. – 372 г/м². Отмечалось дальнейшее накопление фитомассы ярового ячменя – в фазу колошения когда оно достигло наибольшего уровня. В варианте P₉₀ количество фитомассы в 2015 г. составляло 1270 г/м², в 2016 г. – 733 г/м² – на слабоокультуренной почве и 1290 и 752 соответственно на окультуренной почве.

На окультуренной почве в результате улучшения агрохимических свойств наблюдалось увеличение надземной массы растений во все фазы развития ярового ячменя, в большей мере, чем на слабоокультуренной почве. Особенно это отмечается в вариантах контроля и фона N₆₀K₆₀, т.е. в вариантах без применения фосфорных удобрений. В вариантах же с применением высоких доз фосфорных удобрений (P₉₀ и P₁₂₀) различия по степени окультуренности почвы существенно уменьшались.

Прирост фитомассы на слабоокультуренной почве в варианте P₁₂₀ по сравнению с фоном N₆₀K₆₀ в фазу колошения составил в 2015 г. – 578 г/м², на окультуренной почве – 474 г/м², в 2016-м году – 255 и 165 г/м² соответственно. В среднем за три года эффект от применения фосфорных удобрений в фазу колошения составил на слабоокультуренной почве 70%, на окультуренной 33% (табл.5).

Таблица 5

Влияние фосфорных удобрений при различной степени окультуренности почвы на прирост надземной фитомассы ярового ячменя в фазу колошения, г/м² (среднее за 2015-2017 гг)

Вариант	Слабоокультуренная почва		Окультуренная почва	
	Сухая масса	Прирост к фону	Сухая масса	Прирост к фону
Контроль	324	-	650	-
N ₆₀ K ₆₀	600	-	860	-
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	782	182	963	103
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	899	299	1020	160
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	970	370	1120	260
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	1030	430	1150	290

Глава 3.1.2 Урожайность ярового ячменя и окупаемость удобрений в зависимости от окультуренности дерново – подзолистой почвы.

Урожайность зерна является основным показателем в оценке изучаемых факторов по возделыванию растений. Условия обеспеченности растений фосфором, а также агрохимические свойства почвы и погодные условия вегетационного периода оказали существенное влияние на урожайность ярового ячменя (табл.6-8).

Таблица 6

Урожайность ярового ячменя сорта «Нур» и окупаемость фосфорных удобрений в 2015 г.

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	окупаемость P ₂ O ₅ , кг/кг	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	окупаемость P ₂ O ₅ , кг/кг
Контроль	29,1	-	-	35,2	-	-
N ₆₀ K ₆₀	40,8	-	-	47,3	-	-
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	50,0	9,2	30,7	52,0	5,6	18,7
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	54,2	13,4	22,3	58,0	10,7	17,8
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	58,9	18,1	20,1	60,3	13,0	14,4
N ₆₀ K ₆₀ +	59,7	18,9	15,8	61,5	14,2	11,8

P ₁₂₀						
------------------	--	--	--	--	--	--

НСР 0,5: по фактору удобрения 2,4 ц/га, по фактору почва 1,9 ц/га

Таблица 7

Урожайность ярового ячменя сорта «Нур» и окупаемость фосфорных удобрений в 2016 г.

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	окупаемость P ₂ O ₅ , кг/кг	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	окупаемость P ₂ O ₅ , кг/кг
Контроль	22,9	-	-	27,0	-	-
N ₆₀ K ₆₀	26,1	-	-	36,5	-	-
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	30,7	4,6	15,3	40,0	3,5	14,6
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	36,4	10,3	17,1	44,4	7,9	13,1
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	40,0	13,9	15,4	45,2	8,7	9,66
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	42,9	16,8	14,0	44,7	8,2	6,8

НСР 0,5: по фактору удобрения 3,0 ц/га, по фактору почва 1,8 ц/га

Таблица 8

Урожайность ярового ячменя сорта «Нур» и окупаемость фосфорных удобрений в 2017 г.

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	окупаемость P ₂ O ₅ , кг/кг	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	окупаемость P ₂ O ₅ , кг/кг
Контроль	31,5	-	-	40,6	-	-
N ₆₀ K ₆₀	36,3	-	-	52,7	-	-
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	45,8	9,5	31,6	60,2	7,5	25,0
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	55,9	19,6	32,6	66,3	13,6	22,6
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	60,6	24,3	27,0	67,5	14,8	16,4
N ₆₀ K ₆₀ +	61,7	25,4	21,1	67,3	14,6	12,1

P ₁₂₀						
------------------	--	--	--	--	--	--

НСР 0,5: по фактору удобрения 3,2 ц/га, по фактору почва 2,3 ц/га

В метеорологических условиях 2015 г. урожайность ячменя в вариантах с применением больших доз фосфорных удобрений достигала 61,5 ц/га на окультуренной почве, и 59,7 ц/га на слабоокультуренной в то время как в контроле она составила 35,2 и 29,1 ц/га соответственно. В условиях менее благоприятного 2016-го года урожайность формировалась на уровне 44 ц/га – прибавки урожая относительно ниже по всем вариантам фосфорных удобрений. В 2017-м году при сложившихся лучших погодных условиях урожайность была высокой, по сравнению с другими годами. В данный год на слабоокультуренной почве в варианте с максимальной дозой фосфорных удобрений урожайность достигла 61,7 ц/га, а на окультуренной 67,3 ц/га при уровнях в контроле 31,5 и 40,6 ц/га соответственно.

Фосфорные удобрения за годы исследований проявили большую эффективность на слабоокультуренной почве, чем на окультуренной. Так в условиях 2017 г. прибавка урожайности от применения фосфорных удобрений достигала в первом случае 70%, во втором 31%. В 2016-м году соответственно 65 и 24%.

Следует отметить, что если на слабоокультуренной почве наибольшая (54,8 ц/га) средняя за 2015-2017 гг. урожайность формировалась при внесении 120 кг/га фосфорных удобрений, то на окультуренной почве примерно такой же уровень (57 ц/га) достигался при внесении 60 кг/га, а увеличение дозы в данном случае практически не приводило к дальнейшему росту урожайности (табл.9).

Положительное влияние окультуренности на урожайность ячменя наиболее сильно проявлялось в варианте без внесения фосфорных удобрений (N₆₀K₆₀), а также в вариантах с внесением небольших доз фосфора (P₃₀ и P₆₀). При применении более высоких доз фосфора (P₉₀ и P₁₂₀) влияние

окультуренности сглаживалось, что свидетельствует о высокой эффективности фосфорных удобрений на слабоокультуренных суглинистых почвах с низким содержанием подвижного алюминия (Сычѳв, Кирпичников, 2016). Тем не менее и при больших дозах фосфорных удобрений сохранялось некоторое преимущество окультуренной почвы, которая по физико-химическим свойствам превосходит слабоокультуренную.

Таблица 9

Урожайность ярового ячменя сорта «Нур» и окупаемость фосфорных удобрений, в среднем за 2015-2017 гг.

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	урожай, ц/га	прибавка ц/га	окупаемость P ₂ O ₅ , кг/кг	урожай, ц/га	прибавка ц/га	окупаемость P ₂ O ₅ , кг/кг
Контроль	27,7	-	-	34,3	-	-
N ₆₀ K ₆₀	34,4	-	-	45,5	-	-
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	42,3	7,9	26,3	50,7	5,2	17,3
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	48,8	14,4	24,0	57,0	11,5	18,9
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	53,2	18,8	20,9	57,7	12,2	13,5
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	54,8	20,4	16,6	57,8	12,3	10,0

В связи с урожайностью изменялась и окупаемость фосфорных удобрений. Наибольшая окупаемость 1 кг P₂O₅ прибавкой урожая ячменя в наиболее благоприятном 2017-м году на слабоокультуренной почве достигала 32,6 кг, на окультуренной 25,0 кг зерна. Средняя максимальная величина окупаемости составила 26,3 и 17,3 кг соответственно.

Судя по урожайности ярового ячменя и окупаемости наиболее эффективной дозой фосфорных удобрений можно считать на слабоокультуренной почве дозу P₉₀, на окультуренной P₆₀, которые

обеспечивают практически равную окупаемость фосфорных удобрений (20,9 и 19,0 кгк/кг).

Факторы окультуренности почвы и возрастающих доз фосфорных удобрений также отразились и на урожайности соломы ярового ячменя (табл.10), которая находилась в прямой зависимости от урожайности зерна.

Таблица 10

Урожайность соломы ярового ячменя, ц/га

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Контроль	26,2	16,2	28,6	31,8	19,0	36,9
N ₆₀ K ₆₀	28,6	19,6	30,9	33,1	21,9	42,2
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	35,0	22,8	36,6	41,6	25,0	48,6
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	37,9	27,1	44,8	46,4	28,2	52,0
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	52,5	32,4	49,0	54,7	30,9	54,2
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	60,0	33,2	55,8	60,8	31,4	53,8

При применении более высоких доз фосфорных удобрений средняя урожайность соломы увеличивалась по сравнению с контролем на слабоокультуренной почве более, чем в два раза, на окультуренной - в 1,7 раза (табл.11). Наибольшая масса соломы, как и зерна ячменя, получена в благоприятные для растений 2015 и 2017 годы.

Средняя урожайность соломы, ц/га (2015-2017 гг)

Вариант	Слабоокультуренная почва		Окультуренная почва	
	урожайность соломы, ц/га	соотношение зерно/солома	урожайность соломы, ц/га	соотношение зерно/солома
Контроль	23,7	1/0,85	29,2	1/0,84
N ₆₀ K ₆₀	26,4	1/0,78	32,4	1/0,71
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	31,5	1/0,75	38,4	1/0,74
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	36,6	1/0,75	42,2	1/0,74
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	47,6	1/0,86	48,6	1/0,84
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	49,7	1/0,90	48,8	1/0,84

Глава 3.1.3 Влияние фосфорных удобрений при различной степени окультуренности почвы на показатели структуры урожая ярового ячменя.

Увеличение урожайности зерна ярового ячменя тесно связано с изменением отдельных элементов его структуры.

Количество зерен в колосе и масса 1000 зерен, как известно во многом зависят от биологических особенностей ярового ячменя и метеорологических условий вегетационного периода. В наиболее благоприятных 2015 и 2017 г формировалось большее количество зерен в колосе и достигало при внесении высоких доз (P₉₀ и P₁₂₀) фосфорных удобрений 22,8 шт. на слабоокультуренной почве и 23,0 шт. – на окультуренной почве (прил.2,3,4). Применение фосфорных удобрений при высоких дозах увеличивало этот показатель структуры урожая в среднем за три года на слабоокультуренной

почве на 17%, на окультуренной – на 8%, по сравнению с фоном азотных и калийных удобрений (табл.12,13).

Таблица 12

Изменение структуры урожая ярового ячменя под влиянием фосфорных удобрений на слабоокультуренной почве (в среднем за 2015-2017 гг.).

Вариант	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	$K_{хоз}$
Контроль	17,4	43,3	580	0,54
$N_{60}K_{60}$	19,0	44,9	580	0,56
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	19,9	46,3	574	0,57
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	21,0	47,3	576	0,57
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	21,9	48,4	575	0,54
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	22,1	48,5	576	0,52

Таблица 13

Изменение структуры урожая ярового ячменя под влиянием фосфорных удобрений на окультуренной почве (в среднем за 2015-2017 гг.).

Вариант	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	$K_{хоз}$
Контроль	18,7	44,7	592	0,54
$N_{60}K_{60}$	20,7	46,7	593	0,57
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	21,4	48,1	589	0,57
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	22,1	48,9	585	0,57
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	22,5	49,2	586	0,56

$N_{60}K_{60} + P_{120}$	22,4	49,5	586	0,54
--------------------------	------	------	-----	------

Улучшение условий фосфорного питания растений ярового ячменя положительно сказалось и на формировании массы зерна. В условиях 2016-го года масса 1000 зерен на слабоокультуренной почве повысилась с 43,3 до 47,8 г или на 10%, в условиях наиболее благоприятного 2017-го года с 44,6 до 49,8 г или на 12%. На окультуренной почве повышение массы 1000 зерен от фосфорных удобрений составило соответственно на 8 и 7%.

В среднем за годы исследований масса 1000 зерен под влиянием фосфорных удобрений увеличилась с 43,3 до 48,5 г на слабоокультуренной почве и с 44,7 до 49,5 г – на окультуренной почве.

Под влиянием фосфорных удобрений наблюдалась тенденция к уменьшению натурной массы зерна, что обусловлено формированием более крупного зерна в результате применения удобрений.

Хозяйственный коэффициент ($K_{хоз}$) в урожае ярового ячменя (отношение массы зерна к общей массе (зерно+солома) изменялся в зависимости от изучаемых факторов от 0,52 до 0,57. Отмечалась тенденция к повышению этого показателя при внесении фосфорных удобрений, что было также отмечено в работе Гавриловой (2018). Однако, высокие дозы удобрений приводили к некоторому снижению хозяйственного коэффициента за счёт побочной продукции (солома).

Глава 4. Влияние фосфорных удобрений в зависимости от окультуренности дерново – подзолистой почвы на содержание и вынос элементов растениями ярового ячменя

Фосфорные удобрения и окультуренность почвы оказали положительное влияние на минеральное питание растений ячменя. Применение фосфорных удобрений повышало содержание азота в зерне на

слабоокультуренной почве: в 2015-м году с 1,47 до 1,67 %, в 2016-м с 1,51 до 1,75%, в 2017-м с 1,49 до 1,71%, на окультуренной почве соответственно: с 1,51 до 1,75%, с 1,52 до 1,76%, с 1,52% до 1,76% (прил.5-7).

В среднем за годы исследований содержание азота от применения фосфорных удобрений изменялось на слабоокультуренной почве с 1,49 до 1,72%, на окультуренной – с 1,52 до 1,76% (табл.14).

Таблица 14

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на содержание азота, фосфора и калия в зерне ярового ячменя,% (среднее за 2015-2017 гг.).

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%
Контроль	1,49	0,91	0,83	1,52	0,87	0,86
N ₆₀ K ₆₀	1,55	0,95	0,83	1,56	0,89	0,88
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	1,59	0,96	0,85	1,63	0,89	0,87
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	1,66	0,96	0,86	1,66	0,91	0,89
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	1,69	0,97	0,85	1,75	0,94	0,92
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	1,72	1,04	0,83	1,76	1,08	0,90

Отмечалась тенденция к повышению содержания азота в зерне за счёт окультуренности почвы. Повышение азота в зерне ярового ячменя при внесении фосфорных удобрений отмечено также а работах Никитишена (2003), Волкова (2012).

При внесении фосфорных удобрений наблюдалось повышение фосфора в зерне ярового ячменя на слабоокультуренной почве с 0,91 до 1,04%, на окультуренной – с 0,87 до 1,08%. Положительного влияния окультуренности почвы на содержание фосфора в зерне не наблюдалось при существенном повышении урожайности по сравнению со слабоокультуренной почвой (фактор разбавления).

Содержание калия в зерне практически не зависело от применения фосфорных удобрений и окультуренности почвы – оно составляло в зависимости от варианта 0,83-0,90%.

Содержание основных элементов питания в соломе ярового ячменя под влиянием изучаемых факторов изменялось незначительно (прил. 8-10, табл. 15).

Таблица 15

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на содержание азота, фосфора и калия в соломе ярового ячменя, % (среднее за 2015-2017 гг.).

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%
Контроль	0,81	0,24	1,15	0,85	0,22	1,23
N ₆₀ K ₆₀	0,84	0,24	1,21	0,87	0,23	1,25
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	0,84	0,25	1,22	0,93	0,23	1,30
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	0,85	0,26	1,25	0,93	0,23	1,33
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	0,81	0,26	1,28	0,92	0,24	1,33

$N_{60}K_{60} + P_{120}$	0,83	0,27	1,25	0,97	0,24	1,37
--------------------------	------	------	------	------	------	------

Отмечается тенденция к повышению содержания азота и калия под влиянием фосфорных удобрений на окультуренной почве.

Необходимо отметить, что при значительном повышении урожайности от фосфорных удобрений и окультуренности почвы, содержание элементов питания в соломе практически не уменьшалось.

Потребление (вынос) элементов питания находилось в прямой зависимости от урожайности ярового ячменя и в некоторой степени от их содержания в растениях.

Наибольшее потребление элементов питания наблюдалось в 2017-м году и достигало на слабоокультуренной почве: азота 153,5 кг/га, фосфора 81,5 кг/га и калия 125,6 кг/га при уровнях в менее благоприятном 2016-м году соответственно 103,6; 52,2 и 76,7 кг/га (табл.16-18)

Таблица 16

Вынос азота, фосфора и калия урожаем ярового ячменя (зерно+солома) в 2015-м году, кг/га

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	64,5	31,3	55,0	79,9	38,3	68,3
$N_{60}K_{60}$	87,4	42,6	69,7	102,6	52,5	79,9
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	109,1	52,4	84,5	122,2	60,5	101,9
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	121,6	58,8	94,3	134,0	62,9	111,4
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	144,6	65,1	114,2	154,2	73,4	126,0

$N_{60}K_{60} + P_{120}$	151,3	77,1	126,9	166,0	76,7	135,6
--------------------------	-------	------	-------	-------	------	-------

Таблица 17

Вынос азота, фосфора и калия урожаем ярового ячменя (зерно+солома)
в 2016-м году, кг/га

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	47,2	26,8	37,5	57,0	27,4	46,6
$N_{60}K_{60}$	56,5	31,2	45,2	75,3	36,6	59,3
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	66,9	36,0	54,6	89,4	41,0	67,3
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	83,7	43,3	64,2	101,4	46,9	77,7
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	95,9	46,7	76,5	107,4	47,8	84,1
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	103,6	52,2	76,7	109,8	56,7	86,4

Таблица 18

Вынос азота, фосфора и калия урожаем ярового ячменя (зерно+солома)
в 2017-м году, кг/га

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	70,1	37,4	60,0	93,1	43,0	81,5
$N_{60}K_{60}$	82,2	44,3	67,2	119,5	55,1	99,1
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	103,5	55,9	82,9	143,8	64,2	115,6

$N_{60}K_{60} + P_{60}$	130,3	68,6	104,6	159,5	72,3	129,9
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	144,1	76,1	118,3	169,6	73,2	135,9
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	153,5	81,5	125,6	170,6	86,9	137,9

На окультуренной почве вынос элементов питания во все годы был выше, чем на слабоокультуренной почве.

В среднем за 2015-2017 гг. (табл.19) вынос азота в варианте контроля за счёт окультуренности почвы повысился с 60,6 до 76,7 кг/га или на 28%, в варианте фона ($N_{60}K_{60}$) – на 32%. При внесении фосфорных удобрений, особенно высоких доз (90 и 120 кг/га P_2O_5) различие между вариантами почв в выносе азота сглаживалось. Особенно эта закономерность наблюдалась в отношении выноса фосфора, в то время как в вариантах P_{90} и P_{120} вынос фосфора растениями ячменя на изучаемых вариантах почв был практически одинаковым.

Таблица 19

Вынос азота, фосфора и калия урожаем ярового ячменя, кг/га (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Контроль	60,6	31,9	50,8	76,7	37,0	65,5
$N_{60}K_{60}$	75,4	38,9	60,7	99,1	49,5	79,4
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	93,2	48,1	74,0	115,0	56,4	94,9
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	111,8	57,5	87,7	131,6	62,0	106,3
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	128,2	62,7	103,0	143,7	66,4	115,3

$N_{60}K_{60} + P_{120}$	136,0	68,5	109,7	148,8	69,9	119,8
--------------------------	-------	------	-------	-------	------	-------

Баланс и использование фосфора растениями ячменя зависит от дозы фосфорных удобрений и окультуренности почвы (табл.20).

Таблица 20

Баланс и использование фосфора при внесении фосфорных удобрений, среднее за 2015-2017 гг.

Вариант	Слабоокультуренная почва		Окультуренная почва	
	баланс, кг/га	КИФ, %	баланс, кг/га	КИФ, %
Контроль	-31,9	-	-37,0	-
$N_{60}K_{60}$	-38,9	-	-49,5	-
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	-18,1	30,8	-26,4	23,0
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	+2,5	30,1	-2,0	20,8
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	+27,3	26,2	+23,6	18,8
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	+51,5	24,6	+50,1	17,0

Примечание: КИФ – коэффициент использования фосфора (по разности)

Отрицательный баланс фосфора сложился при внесении небольшой дозы фосфорных удобрений (P_{30}), как на слабоокультуренной, так и на окультуренной почвах, а слабоотрицательный (-2 кг/га) – на окультуренной почве.

Положительный баланс фосфора с преимуществом на слабоокультуренной почве обеспечивался при внесении высоких доз фосфорных удобрений (P_{90} и P_{120}). С повышением дозы фосфора

коэффициент его использования снижался на слабоокультуренной почве с 30,8 до 24,6%, на окультуренной – с 23,0 до 17,0%. Фосфорное питание растений во втором случае обеспечивалось за счёт остаточных фосфатов удобрения.

Следует отметить, что коэффициент использования фосфора из удобрений в обеих почвах, особенно слабоокультуренной, был относительно высоким (25-30%), что значительно выше установленного ранее (Минеев и др., 1993).

Важным показателем является удельный вынос элементов питания, который используется практически во всех балансовых расчётах годовых доз удобрений на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур. В справочной литературе приводятся только обобщённые их величины (Нормативы, 1991,2016; Рекомендации, 2010). Вынос основных элементов минерального питания на единицу продукции может существенно меняться в зависимости от почвенно – климатических условий, условий минерального питания, сортовых особенностей растений и других факторов (Дерюгин, Кирпичников и др., 1995; Прокошев, Дерюгин, 2000; Сычёв, 2005; Варламов и др., 2012).

Учет факторов, оказывающих наибольшее влияние на величину выноса элементов питания растениями особенно важен в интенсивных технологиях, когда затраты на удобрения особенно велики.

Как показали результаты исследований нашего опыта, фосфорные удобрения в зависимости от окультуренности дерново – подзолистой почвы оказывают влияние на удельный вынос элементов питания (табл.21,22,23).

Таблица 21

Вынос азота, фосфора и калия для формирования 1 тонны зерна ярового ячменя в 2015-м году, кг/га

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	22,1	10,8	18,9	22,7	10,9	19,4
N ₆₀ K ₆₀	21,5	10,5	17,2	21,7	11,1	17,2
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	21,8	10,5	17,0	23,4	11,6	19,6
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	21,6	10,8	17,4	23,1	11,6	19,3
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	24,0	11,5	17,0	25,0	12,0	20,0
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	25,4	12,9	19,3	27,0	12,4	22,0

НСР 0,5: по фактору удобрения N – 2,0; P₂O₅ – 1,8; K₂O – 1,1 кг/га, по фактору почва N – 1,7; P₂O₅ – 1,3; K₂O – 2,6 кг/га

Таблица 22

Вынос азота, фосфора и калия для формирования 1 тонны зерна ярового ячменя в 2016-м году, кг/га

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	20,6	11,7	16,4	21,1	10,2	17,3
N ₆₀ K ₆₀	21,6	11,9	17,9	21,7	10,2	16,3
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	21,1	11,7	18,0	22,3	10,3	16,8
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	22,9	11,9	18,0	22,8	10,5	17,5
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	23,7	11,7	19,1	23,4	10,6	18,5

$N_{60}K_{60} + P_{120}$	23,9	12,2	18,7	24,5	12,0	19,3
--------------------------	------	------	------	------	------	------

НСР 0,5: по фактору удобрения N – 2,6; P₂O₅ – 0,9; K₂O – 2,0 кг/га , по фактору почва N – 2,0; P₂O₅ – 1,3; K₂O – 0,9 кг/га

Таблица 23

Вынос азота, фосфора и калия для формирования 1 тонны зерна ярового ячменя в 2017-м году, кг/га

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	22,2	11,8	18,1	22,9	10,5	20,0
$N_{60}K_{60}$	22,6	12,2	18,2	22,7	10,6	19,1
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	22,6	12,2	18,4	23,8	10,8	19,2
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	23,3	12,3	18,9	24,0	10,9	19,6
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	23,8	12,6	19,5	25,1	11,2	20,1
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	24,8	13,2	20,3	25,3	12,6	20,4

НСР 0,5: по фактору удобрения N – 2,2; P₂O₅ – 1,7; K₂O – 2,0 кг/га , по фактору почва N – 1,9; P₂O₅ – 1,5; K₂O – 0,9 кг/га

Величины их в зависимости от года исследований несколько отличались. В условиях 2016 г. удельный вынос азота и калия заметно меньше, чем в другие годы. Вынос фосфора на единицу продукции в 2016 и 2017 гг. отличался в сторону повышения по сравнению с 2015 годом. По мере повышения доз фосфорных удобрений затраты азота, фосфора и калия на формирование одной тонны зерна увеличивались.

По сравнению с фоном ($N_{60}K_{60}$) вынос повысился в среднем за 2015-2017 гг. (табл.24) на слабоокультуренной почве: азота на 15%, фосфора на

13%, калия на 11%, на окультуренной почве соответственно на 14,9, 12,2 и 10,6%.

Таблица 24

Вынос азота, фосфора и калия для формирования 1 тонны зерна ярового ячменя, кг/га (среднее за 2015-2017 гг.).

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	21,6	11,4	18,2	22,3	10,5	18,8
N ₆₀ K ₆₀	21,9	11,5	18,0	22,0	10,6	18,0
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	21,9	11,5	17,9	22,6	10,8	18,5
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	22,3	11,7	18,0	23,0	11,0	18,8
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	24,0	11,9	19,3	24,8	11,3	19,5
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	24,8	12,8	20,0	25,7	11,8	20,6

НСР 0,5: по фактору удобрения N – 2,2 – 2,6; P₂O₅ – 0,9 – 1,8; K₂O – 1,1 – 2,0 кг/га, по фактору почва N – 1,7 – 2,0; P₂O₅ – 1,3 – 1,5; K₂O – 0,9 – 2,6 кг/га

Повышение удельного выноса элементов питания при внесении удобрений отмечалось также в других работах (Чухина, 1999; Варламов и др., 2012; Смирнов и др., 2010).

В условиях нашего опыта фактический вынос фосфора 1 т зерна ячменя в вариантах с внесением фосфорных удобрений, особенно в дозах P₉₀ и P₁₂₀ превышал плановые (11 кг) и достигал на слабоокультуренной почве 12,8 кг, на окультуренной 11,8 кг.

Удельный вынос азота и калия несколько ниже плановых показателей, что свидетельствует о недостатке этих элементов для растений, особенно при

внесении высоких доз фосфорных удобрений, когда формируется и высокая доза урожайность ярового ячменя.

Глава 5. Влияние фосфорных удобрений при различной окультуренности почвы на качество зерна ярового ячменя.

Фосфорные удобрения, как было отмечено в обзоре литературы, оказывают различное влияние на качество зерна ярового ячменя. Оно во многом зависит от сорта, почвенно – климатических условий, уровня минерального питания и др. факторов. Данные, опубликованные в научной литературе, о содержании, например, белка, противоречивы и во многом зависят от обеспеченности растений азотом.

В условиях 2016 г содержание белка было несколько выше, чем в условиях 2015 года и составляло на слабоокультуренной почве в варианте контроля 8,60 и 8,40% соответственно (табл.25-27).

Таблица 25

Содержание и выход сырого белка в 2015-м году

Вариант	Слабоокультуренная почва		Окультуренная почва	
	Сырой белок, %	Выход белка, кг/га	Сырой белок, %	Выход белка, кг/га
Контроль	8,40	244	8,60	303
N ₆₀ K ₆₀	8,80	359	8,90	421
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	9,10	455	9,30	484
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	9,40	509	9,30	504
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	9,50	559	10,0	589
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	9,50	567	10,0	597

Таблица 26

Содержание и выход сырого белка в 2016-м году

Вариант	Слабоокультуренная почва		Окультуренная почва	
	Сырой белок, %	Выход белка, кг/га	Сырой белок, %	Выход белка, кг/га
Контроль	8,60	197	8,64	233
N ₆₀ K ₆₀	8,82	230	8,72	318
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	8,96	275	9,32	373
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	9,44	344	9,56	424
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	9,72	389	9,83	448
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	9,95	427	10,04	449

Таблица 27

Содержание и выход сырого белка в 2017-м году

Вариант	Слабоокультуренная почва		Окультуренная почва	
	Сырой белок, %	Выход белка, кг/га	Сырой белок, %	Выход белка, кг/га
Контроль	8,47	267	8,66	352
N ₆₀ K ₆₀	8,81	320	8,93	471
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	9,03	414	9,28	559
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	9,41	526	9,44	626
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	9,64	584	9,97	673
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	9,77	603	10,05	676

Фосфорные удобрения в условиях полевого опыта повышали содержание сырого белка на слабоокультуренной почве: в 2015 г на 1,10%, в 2016 г на 1,35%, в 2017 г на 1,30%. На окультуренной дерново – подзолистой

почве превышение этого показателя качества составило соответственно 1,40; 1,44 и 1,39%. Наблюдалась тенденция к повышению эффективности фосфорных удобрений на окультуренной почве по сравнению со слабоокультуренной.

Фосфорные удобрения повышали содержание сырого белка в среднем за 2015-2017 гг с 8,47 до 9,75 или на 1,28% на слабоокультуренной почве и с 8,63 до 10,03% или на 1,40% на окультуренной почве (табл.28).

Повышение содержания сырого белка от применения фосфорных удобрений, очевидно, связано с улучшением использования азота при поступлении фосфора в растения (Воллейдт,1978; Завалин и др., 2013). То есть наблюдалась прямая связь урожайности ярового ячменя и содержания сырого белка в зерне. Эту закономерность отмечали также другие исследователи (Бабицкий, 2008; Никитишен, 2002).

Выход белка на единицу площади напрямую зависит от величины полученного урожая. В 2016-м году из-за низкого урожая получены наиболее низкие показатели. В зависимости от степени окультуренности почвы выход белка во все годы исследований увеличивался. Максимальный выход белка на окультуренной почве получен в 2017-м году на варианте P_{120} и составил 676 кг/га. На слабоокультуренной почве в том же варианте 2017-го года его выход составил 603 кг/га, что также является наилучшим результатом на слабоокультуренной почве за годы исследования. При внесении фосфорных удобрений (P_{120}) выход сырого белка увеличился в среднем по сравнению с фоном $N_{60}K_{60}$ на слабоокультуренной почве в среднем в 1,6-1,9, на окультуренной почве в среднем в 1,4 раза.

Содержание крахмала в зерне от изучаемых в опыте факторов практически не изменялось и составило 46,0 – 47,4%. Такое содержание крахмала не отвечает требованиям к пивоваренному зерну, которое должно составлять не менее 60%.

Таблица 28

Влияние фосфорных удобрений в зависимости от степени окультуренности почвы на качество зерна ярового ячменя сорта Нур, среднее за 2015-2017 гг.

Вариант	Слабоокультуренная почва				Окультуренная почва			
	сырой белок, %	выход белка, кг/га	крахмал, %	экстракт, %	сырой белок, %	выход белка, кг/га	крахмал, %	экстракт, %
Контроль	8,47	236	47,5	69,1	8,63	296	46,0	68,7
N ₆₀ K ₆₀	8,81	303	46,4	68,8	9,19	403	45,9	68,7
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	9,03	381	47,1	68,4	9,30	472	47,7	68,1
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	9,41	460	45,1	68,0	9,44	518	47,0	67,9
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	9,64	511	46,2	67,7	9,63	570	46,5	67,5
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	9,75	532	46,5	67,5	10,03	574	47,2	67,2

НСР₀₅ по содержанию белка: удобрения 1,15, почва 0,8

по содержанию крахмала: удобрения 1,20, почва 1,7

Экстрактивность зерна зависит от содержания белка и массы 1000 зерен. По формуле Бишоп экстрактивность выращенного зерна составляет около 67-69%. То есть по содержанию крахмала (менее 60%) и экстрактивности (менее 80-82%), выращенное в опыте зерно по ГОСТу относится к зернофуражному, но не к пивоваренному. Содержание сырой клетчатки, сырой золы, сырого жира в зерне по варианта опыта практически не изменялись (прил.10).

То же относится и к содержанию тяжелых металлов в зерне ярового ячменя, как на слабоокультуренной почве, так и на окультуренной. Их

уровень был значительно ниже предельно допустимых концентраций (табл.29).

Таблица 29

Содержание ТМ в зерне ярового ячменя, мг/кг (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	Слабоокультуренная почва				Окультуренная почва			
	Cu	Cd	Pb	Zn	Cu	Cd	Pb	Zn
Контроль	0,35	0,014	0,15	2,48	0,36	0,012	0,17	2,11
N ₆₀ K ₆₀	0,38	0,013	0,18	2,05	0,39	0,010	0,12	2,34
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	0,34	0,015	0,10	2,06	0,35	0,016	0,16	2,21
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	0,32	0,015	0,14	2,17	0,42	0,014	0,14	2,17
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	0,34	0,014	0,16	2,10	0,33	0,011	0,14	2,26
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	0,36	0,016	0,18	2,28	0,37	0,015	0,16	2,17
ПДК	10,0	0,03	0,3	50,0	10,0	0,03	0,3	50,0

Хотя фосфорные удобрения являются источниками загрязнения почвы тяжелыми металлами, но их применение в таких дозах не оказывает влияние на величину накопления в растениях. Даже длительное применение высоких доз фосфорных удобрений, как было отмечено в литературном обзоре, не приводит к существенному повышению содержания тяжелых металлов в зерне.

Содержание сырой клетчатки, сырой золы, сырого жира по вариантам опыта практически не изменялось (прил.11).

Глава 6. Влияние фосфорных удобрений на степень разложения и фосфатный режим дерново-подзолистой почвы при различной её окультуренности.

Особенностью целлюлозоразлагающих микроорганизмов является высокая их потребность в источниках азотного и фосфорного питания. Их активность зависит от наличия в почве доступных элементов питания, а степень разложения клетчатки отражает направленность хода микробиологических процессов – биологическую активность почвы (Минеев и др., 1993; Титова, Козлов, 2012).

В литературе есть данные полевых опытов, свидетельствующие о положительном влиянии фосфорных удобрений на биологическую активность дерново – подзолистых почв (Киселев, 2012; Волков, 2012). В нашем опыте биологическую активность определяли по разложению льняного полотна, которые закапывали в почву весной на глубину пахотного слоя (0-20см). Через 3 месяца полотна откапывали и определяли степень их разложения (по потере массы). Данные определения показали, что фосфорные удобрения по сравнению с фоном $N_{60}K_{60}$ повышали степень разложения льняного полотна на слабоокультуренной почве с 18% до 49%, на окультуренной почве с 20% до 58%. При этом сказалось положительное влияние на этот показатель окультуренности почвы при всех вариантах по фосфору (табл.30).

Таблица 30

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности дерново – подзолистой почвы на степень разложения льняного полотна (слой 0-20 см), среднее за 2015-2017 гг.

Вариант	Слабоокультуренная почва		Окультуренная почва	
	масса, г	степень	масса, г	степень

		разложения, %		разложения, %
N ₆₀ K ₆₀	3,72	18,5	3,70	20,0
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	2,20	41,0	2,10	43,0
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	2,00	49,0	1,75	58,0

Фосфатное состояние дерново – подзолистой тяжелосуглинистой почвы зависело от применения фосфорных удобрений и окультуренности почвы. В опыте изучали фосфатный режим почвы по показателям подвижного фосфора по Кирсанову (фактор емкости) и степени подвижности фосфатов по Карпинскому и Замятиной (фактор интенсивности).

Образцы почвы отбирали после уборки урожая ярового ячменя. Результаты исследований показали (табл.31, прил.12,13), что содержание подвижного фосфора в слабоокультуренной почве оставалось на уровне слабообеспеченной (57-78 мг/кг), в окультуренной – на уровне повышенного содержания (102-120 мг/кг). В первом случае фосфорные удобрения повышали содержание подвижного фосфора на 37%, во втором – на 19% при положительном балансе фосфора 51,5 и 50,1 кг/га соответственно. При отрицательном балансе фосфора в варианте P₃₀ содержание подвижного фосфора в почве практически не изменялось.

Таблица 31

Влияние фосфорных удобрений на фосфатный режим дерново – подзолистой тяжелосуглинистой почвы (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	баланс, кг/га	P ₂ O ₅ в почве		баланс, кг/га	P ₂ O ₅ в почве	
		мг/кг (по Кирсанову)	мг/л (по Карпинс кому)		мг/кг (по Кирсанову)	мг/л (по Карпинс кому)

Контроль	-31,9	57	0,117	-37,0	102	0,155
N ₆₀ K ₆₀	-38,9	55	0,130	-49,5	104	0,168
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	-18,1	56	0,137	-26,4	106	0,180
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	+2,5	60	0,150	-2,0	109	0,186
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	+27,3	67	0,186	+23,6	111	0,246
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	+51,5	78	0,210	+50,1	120	0,280

НСП 0,5: по Кирсанову : удобрения – 14,0 ; почва - 26,0 мг/кг;

По Карпинскому : удобрения – 0,035; почва – 0,023 мг/л

Степень подвижности фосфатов (фактор интенсивности) несколько повышалась и при внесении небольшой дозы фосфорных удобрений (P₃₀), когда складывался и отрицательный баланс фосфора. При внесении максимальной дозы фосфорных удобрений (P₁₂₀) этот показатель по сравнению с фоном N₆₀K₆₀ повысился на 60% в слабоокультуренной почве и на 18% в окультуренной.

Следует отметить и тот факт, что степень подвижности фосфатов на слабоокультуренной почве повышалась в большей мере, чем содержание подвижного фосфора. Такая закономерность в действии фосфорных удобрений на фосфатный режим дерново – подзолистой почвы отмечалась и в других работах (Адрианов, 2004; Кирпичников, 1993, 2016; Митрофанова, 2017).

Таким образом, действие фосфорных удобрений на фосфатный режим зависит не только от дозы, но и окультуренности дерново – подзолистой почвы. На слабоокультуренной почве темпы повышения фосфатного состояния почвы от фосфорных удобрений выше, чем на окультуренной почве. Во втором случае почва не пришла в равновесное состояние – наблюдался процесс закрепления внесённых фосфатов почвой.

Полученные результаты исследования дают основания полагать об эффективности различных элементов технологии возделывания ярового ячменя путём регулирования не только фосфатного режима почвы, но и биологической её активности, как интегрированного показателя плодородия и экологического благополучия в конкретном агроценозе.

Глава 7. Влияние агрохимических свойств дерново – подзолистой почвы на агроэкономическую эффективность фосфорных удобрений при возделывании ярового ячменя.

В результате проведённых исследований в полевом опыте установлено, что агроэкономическая эффективность применения фосфорных удобрений на слабоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве (pH_{KCl} 3,9-4,2; P_2O_5 35-60 мг/кг) с низким содержанием подвижного алюминия (40-48 мг/кг) высокая. На окультуренной почве (pH_{KCl} 5,1-5,7; P_2O_5 95-140 мг/кг) и также с низким содержанием подвижного алюминия (13-19 мг/кг) наибольшие агроэкономические показатели достигаются при меньшей дозе фосфорных удобрений, чем на слабоокультуренной (табл.32,33).

Таблица 32

Зависимость агроэкономической эффективности применения фосфорных удобрений от дозы фосфора при выращивании ярового ячменя на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка от P_2O_5 , т/га	Окупаемость P_2O_5 зерном, кг/кг	Стоимость прибавки, руб/га	Затраты от применения P_2O_5 на получение прибавки, руб/га	Условный чистый доход, тыс. руб./га	Окупаемость P_2O_5 , руб/руб
Контроль	2,77	-	-	-	-	-	-
$N_{60}K_{60}$	3,44	-	-	-	-	-	-

N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	4,23	0,79	26,3	6794	1554	5,2	3,37
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	4,88	1,41	23,5	12126	3108	9,0	2,90
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	5,32	1,83	20,3	15738	4662	11,1	2,37
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	5,48	2,04	17,0	17544	6216	11,3	1,82

Окупаемость 1 кг P₂O₅ прибавкой зерна по мере увеличения дозы фосфорных удобрений на слабоокультуренной почве снижалась при существенном (более, чем в 2 раза) повышении условно – чистого дохода в расчете на единицу площади. С увеличением дозы фосфорных удобрений окупаемость затрат, выраженная в рублях, на прибавку урожая ярового ячменя снижалась в 1,8 раза.

На окультуренной почве фосфорные удобрения проявили меньшую агроэкономическую эффективность, чем на слабоокультуренной почве.

Таблица 33

Зависимость агроэкономической эффективности применения фосфорных удобрений от дозы фосфора при выращивании ярового ячменя на окультуренной дерново-подзолистой почве (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка от P ₂ O ₅ , т/га	Окупаемость P ₂ O ₅ зерном, кг/кг	Стоимость прибавки, руб/га	Затраты от применения P ₂ O ₅ на получение прибавки, руб/га	Условный чистый доход, тыс. руб./га	Окупаемость P ₂ O ₅ , руб/руб
Контроль	3,43	-	-	-	-	-	-
N ₆₀ K ₆₀	4,55	-	-	-	-	-	-
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	5,07	0,52	17,3	4472	1554	2,9	1,87
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	5,70	1,15	19,2	9890	3108	6,8	2,18
N ₆₀ K ₆₀ +	5,77	1,22	13,5	10492	4662	5,8	1,25

P_{90}							
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	5,78	1,23	10,2	10578	6216	4,4	0,70

В данном случае существенно снижалась окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожая ярового ячменя, а также условно – чистый доход в расчете на единицу площади.

Если на окультуренной почве наибольшая окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожая и окупаемость затрат достигались при внесении небольшой дозы (P_{60}), то на слабоокультуренной почве примерно такие же показатели экономической эффективности фосфорных удобрений были при внесении более высокой дозы (P_{90}).

При выращивании ярового ячменя на слабоокультуренной почве условно – чистый доход повышался с увеличением дозы фосфорных удобрений, на окультуренной почве наблюдалось снижение этого показателя при внесении высоких доз фосфора (P_{90} и P_{120}) по сравнению с дозой P_{60} .

Выводы

1. Применение возрастающих доз фосфорных удобрений способствовало повышению урожайности ячменя ярового на 7,9 – 20,4 ц/га на слабоокультуренной почве, на окультуренной на 5,2 – 12,3 ц/га.

2. Повышение урожайности ярового ячменя обусловлено планомерным увеличением надземной фитомассы растений по фазам роста и развития, а также структурой урожая. Количество зерен в колосе при этом изменялось с 17,4 до 22,4 шт на слабоокультуренной почве и с 18,7 до 22,5 шт. на окультуренной, масса 1000 зерен с 43,3 до 48,5 и с 44,7 до 49,5 г соответственно.

3. Под влиянием фосфорных удобрений вынос фосфора урожаем ярового ячменя повышался на слабоокультуренной почве с 38,9 до 68,5 кг/га, на окультуренной почве – с 49,5 до 69,9 кг/га. Отмечалось также некоторое повышение содержания азота и фосфора в зерне ярового ячменя при внесении высоких доз фосфорных удобрений. Удельный вынос азота, фосфора и калия на почвах различной степени окультуренности был примерно одинаковый и составлял: азота с 21,9 до 24,8 кг, фосфора с 11 до 12,8 кг и калия с 18 до 20 кг.

4. При увеличении дозы фосфорных удобрений несколько повышалось содержание сырого белка в зерне: на слабоокультуренной почве с 8,81 до 9,75%, на окультуренной с 9,91 до 10,03%. Содержание крахмала в зерне и экстрактивность при этом практически не изменялись и составляли соответственно 45,1 – 46,5% и 67,5 – 68,7%. Содержание сырой золы, клетчатки и сырого жира по вариантам опыта не изменилось.

5. Улучшение фосфатного режима почвы происходило при внесении больших доз фосфорных удобрений (P_{90} и P_{120}), которые обеспечивали положительный баланс фосфора (150 и 180%) и повышение содержания подвижного фосфора в почве на слабоокультуренной почве на 40%, на

окультуренной – на 19%. При этом степень подвижности фосфатов (фактор интенсивности) повышалась в большей мере (на 62-66%), чем содержание подвижного фосфора (фактор емкости).

6. Фосфорные удобрения повышали степень разложения льняного полотна на слабоокультуренной почве с 18% до 49%, на окультуренной с 20 до 58 % по сравнению с фоном.

7. Экономическая эффективность применения фосфорных удобрений зависела от дозы, а также окультуренности дерново-подзолистой почвы. Условно-чистый доход при выращивании ярового ячменя на слабоокультуренной почве повышался с увеличением дозы P_2O_5 с 5,2 до 11,3 тыс. руб/га, на окультуренной почве он был максимальным (6,8 тыс.руб./га) при внесении небольшой дозы P_2O_5 (60 кг/га). Окупаемость затрат во втором случае составила 2,18 руб/руб, а на слабоокультуренной почве примерно такой же уровень отмечался при внесении высоких доз фосфорных удобрений (P_{90} и P_{120}).

Предложения производству

Для получения высокой урожайности ярового ячменя интенсивного типа порядка 50-60 ц/га на слабоокультуренной дерново – подзолистой суглинистой почве требуется внесение фосфорных удобрений в количестве 90-120 кг/га P_2O_5 на фоне азотных и калийных с использованием средств защиты растений. При этом обеспечивается окупаемость 1 кг P_2O_5 прибавкой зерна около 20 кг и условно-чистый доход 11,1 – 11,3 тыс. руб./га. Интенсивность баланса фосфора составляла 130-150%.

На окультуренной дерново – подзолистой суглинистой почве обеспечивается урожайность ярового ячменя 61-65 ц/га при меньшей дозе фосфорных удобрений (60 кг/га P_2O_5) с окупаемостью 1 кг P_2O_5 прибавкой зерна 19 кг. При этом содержание подвижного фосфора в почве поддерживается на исходном повышенном уровне.

Список литературы

1. Авдонин Н.С. Алюминий в дерново-подзолистых почвах.//Агрохимия.-1971.-№7.с. 94-103
2. Авдонин Н.С. Вопросы земледелия на кислых почвах. М.: Сельхозиздат. – 1957. – с.111-173
3. Авдонин Н.С. Известкование кислых почв. М.: Колос. – 1976. – 220 с.
4. Авдонин Н.С. Почвы, удобрения и качество растениеводческой продукции. М.: Колос. 1979.-132с.
5. Авдонин Н.С., Графская Г.А. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистых почв и длительного применения удобрений на качество ярового ячменя. В кн.: Влияние свойств почв на качество растений. МГУ, 1982.-С.15-26.
6. Адрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрений. – М.: ВНИИА, 2004. – 296с.
7. Адрианов С.Н., Воробьев Г.Т. Закономерности действия удобрений на урожай и качество ячменя., М. МГУ, 2002, с. 288 – 296.
8. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях .Л.:Агропромиздат, 1987.- 142 с.
9. Алексеева Д.М. Влияние известкования почв на усвоение растениями фосфора.//Почвоведение. – 1958. – №10. – С.38-45.
10. Алметов Н.С. Урожайность ячменя на дерново-подзолистых почвах в зависимости от доз и соотношений минеральных удобрений//Агрохимия, 1996, №1.с.41-52.
11. Алметов Н.С., Чернова Л.С., Завалин А.А. Продуктивность ячменя при использовании минеральных удобрений на дерново – слабоподзолистых почвах.// Плодородие, 2012, №3, - с. 2 – 4.
12. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. М.ЦИНАО, 2000.-524с.
13. Аристархов А.Н. Эколого – агрохимическое обоснование оптимизации питания растений и комплексного применения макро – и микроудобрений в агроэкосистемах. Дисс. докт. биол. Наук. М., 2000, 88 с.

14. Аристархов А.Н., Аристархова Г.Г., Праздников С.С. Оценка состояния и прогноз содержания тяжелых металлов в почвах Московской области. // Плодородие почвы и качество продукции при биологизации земледелия. – М.: Колос, 1996. – с. 294 – 305.

15. Аристархов А.Н., Малышев И.С.. Влияние доз азотных удобрений на урожай ячменя в зависимости от содержания в почве фосфора и калия. Сб.Применение фосфорных удобрений. Тр.ВИУА, вып.57, 1979, с.85-91.

16. Аристархов А.Н., Харитонов А.Ф. Баланс тяжелых металлов – основа эколого – агрохимического прогнозирования загрязнения дерново – подзолистых почв //Юбилейный сборник науч. Трудов ЦИНАО. – М., 1999. – с. 261 – 293.

17. Аристархов А.Н., Харитонов А.Ф. Характеристика состояния и подходы к прогнозированию загрязнения агроэкосистем тяжелыми металлами // Докл. II Межд. Научно – практ. Конф. «Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы – биофилы в окружающей среде». Казахстан, Семипалатинск. 2002. Т.1.С. 193 – 200.

18. Асаров Х.К. Эффективность применения на дерново-подзолистой почве минеральных удобрений в сочетании с известкованием. // Докл. ТСХА, – 1972, – Вып. 188. – С.91-98.

19. Асаров Х.К. Эффективность фосфорных удобрений в условиях известкования // Докл.ТСХА. – 1974. – вып. 243. – С.14.

20. Аскинази Д.Л. О формах поглощения P_2O_5 в почвах в связи с ее доступностью растениям // Химизация соц. земледелия. – 1941. –№1. – С.38-46.

21. Бабарина Э.А. Формы фосфорных соединений в почвах разного типа при длительном применении суперфосфата и фосфоритной муки //Агрохимия. – 1968. - №4. – с.33-40

22. Бабарина Э.А., Благовещенская З.К. Фосфатный режим почв // Сельское хозяйство за рубежом. – 1981. – №9. – 12 с.

- 23.** Бабицкий В.Н. Взаимосвязь между урожаем и содержанием белка в зерне пшеницы.// Плодородие, 2008. №4.-с.31-34
- 24.** Безуглая Ю.М. Формы фосфорных соединений в дерново-подзолистой почве в длительных опытах //Агрохимия. – 1969.-№9. – с.8-12
- 25.** Безуглая Ю.М., Кожемячко З.В., Рябизина Г.Е. Эффективность форм фосфорных удобрений в многолетнем опыте // Агрохимия. – 1984. - №1. – с. 17-23
- 26.** Брагин А.М., Вильдфлуш И.Р. Влияние известкования на формы фосфатов в дерново-подзолистой почве и превращение фосфорных удобрений // Агрохимия. – 1973. – №12. – С.37-42.
- 27.** Варламов В.А., Алиев А.М., Ваулина Г.И. Вынос NPK пшеницей и ячменем на дерново – подзолистой тяжелосуглинистой почве ЦРНЗ РФ.// Плодородие, 2012, №2, с.12-14.
- 28.** Ваулин А.В. Эффективность комплексного применения средств химизации в технологиях возделывания ярового ячменя в Центральном районе Нечерноземной зоны России. Автореф дисс.докт.с-х наук. М.1994, 42с.
- 29.** Ваулина Г.И., Алиев А.М., Самойлов Л.Н. – Роль комплексного применения средств химизации в повышении урожайности зерновых культур и окупаемости удобрений. //Плодородие, 2016, №5, - с. 47-49
- 30.** Виноградова Я.Г. Влияние алюминиевой токсичности на проницаемость мембран у трёх сортов ячменя. Материалы международной научной конференции. М. ВНИИА, 2005, с. 91 – 93.
- 31.** Волков А.Н. Агрохимическая эффективность форм фосфорных удобрений при известковании. Автореф.дисс.к.с-х.н. М. 2012.,18 с.
- 32.** Войтович Н.В., Сушеница Б.А. Копранов В.Н. Фосфориты России и ближнего Зарубежья. М.: ВНИИА,- 2005.-448 с.
- 33.** Воллейдт Л.П. Фосфорное и азотное питание озимой пшеницы и формирование качества зерна. Автореф.дисс. докт. с-х наук.М.,1978.-36с.
- 34.** Гаврилов К.А. Агрохимическая характеристика почв Северо-Западной и Центральной частей Нечерноземной зоны РСФСР. Кн.

Агрохимическая характеристика почв СССР. – М.: Изд-во Наука. – 1972. – с.30-35

35. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. – М.: Наука. – 1981. – с. 123-192.

36. Глазунова Н.М. Действие фосфора и извести на урожай растений в микрополевом опыте с дерново-подзолистой почвой. Бюлл. ВИУА. – 1971. – №1. – С.10-16.

37. Глазунова Н.М. Действие фосфора и извести на фосфатный режим сильноокислых дерново-подзолистых почв и урожай растений // Агрохимия. – 1983. – №10. – С.70-78.

38. Глазунова Н.М., Кирпичников Н.А. Действие извести на фосфатный режим дерново-подзолистых почв. Сб. Известкование и применение минеральных удобрений в интенсивных системах земледелия. Горки, 1985. – С. 55-88

39. Глазунова Н.М., Плешкова А.П., Похлебкина Л.П. Изучение доступности остаточных фосфатов на дерново-подзолистой почве в условиях микрополевого опыта. Бюлл. ВИУА. – 1976. – №28. – С.36-42.

40. Головина Л.П., Лысенко М.Н., Барнаш З.С., Котвицкий Б.Б. Биологический круговорот микроэлементов под сельскохозяйственными культурами на дерново – подзолистых почвах в Полесье УССР // Химия в сел. Хоз-ве. 1984. №2. С. 20-25

41. Головина Л.П., Рыбалкина А.В., Лысенко М.Н., Кисель Т.И. Баланс микроэлементов в системе почва – удобрение – растение в условиях дерново – подзолистых почв Левобережья полесья УССР // Агрохимия. 1985. №2. С. 82 – 90

42. Голубев Б.А. Кислые почвы и их улучшение. М.: Сельхозиздат. – 1954. – с.30-92

43. Гомонова Н.Ф. Влияние 30-летнего применения минеральных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические

показатели дерново-подзолистой почвы // Химия в сельском хозяйстве. – 1984. - №1. – с.8-11

44. Гомонова Н.Ф. Влияние длительного применения агрохимических средств на дерново-подзолистых почвах на трансформацию тяжелых металлов в системе почва – растения. Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах. М.1994.С. 180-186.

45. Гомонова Н.Ф., Овчинникова М.Ф. Влияние длительного применения минеральных удобрений и известкования на химические свойства, групповой и фракционный состав гумуса дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. – 1986. – №1. – С.85-90.

46. Гребенщиков В.Ю. Зависимость качественных показателей зерна ячменя от обеспеченности элементов минерального питания по фазам развития. Материалы Международной научной конференции. М.:ВНИИА,2005,-с.93-97.

47. Гусейнов Б.Х. Сортвые особенности питания калием ячменя в Центральном Нечерноземье. Автореф. дисс. канд. биол. Наук, М. 2000, 24 с.

48. Гырбучев И. Зависимость между подвижными фосфатами, определяемыми различными методами и фракционным составом неорганических фосфатов. // Агрохимия. – 1970. – №2. – С.23-29.

49. Дышко В.Н. Эффективность фосфорных удобрений на ячмене в зависимости от обеспеченности почвы подвижными фосфатами. Материалы международной научной конференции «Агрохимические аспекты повышения продуктивности с-х культур.» Бюлл. ВИУА. 2002, №116. – с. 225-227.

50. Державин Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. М.: Колос, 1992, - 272 с.

51. Дерюгин И.П., Кирпичников Н.А., Прокошев В.В. Агрохимическое обоснование оптимальных параметров содержания в почве подвижных форм фосфора и калия на дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. – 1995. – №2. – С.3-11.

52. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Влияние систем удобрения на урожайность культур и качество урожая в длительном опыте. Сб. Результаты

длительных исследований в системе Геосети опытов с удобрениями РФ. М.: ВНИИА, 2012, - вып. 2, - с. 125 – 136.

53. Доспехов Б.А. Фосфатный режим длительно удобрявшихся почв // Изв. ТСХА. – 1963. – №6. – С.104-112.

54. Егоров В.Е., Доспехов Б.А. Известкование длительно удобрявшихся почв в севообороте и при монокультуре.// Изв. ТСХА. – 1963. - №6. – с.125-137

55. Ельников И.И., Пивоварова И.О. О варьировании относительного оптимума содержания подвижного фосфора в почве в условиях Нечерноземной зоны // Агрoхимия. – 1985. – №2. – С.113-124.

56. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М., Адрианов С.Н., Карпова Д.В., Кирпичников Н.А. Агробиогeoхимический цикл фосфора. М.: 2012. – 511с.

57. Иванов С.Н., Столярова Т.Ф. Влияние известкования на содержание в почве усвояемых фосфатов и их доступность растениям. Труды Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии. – Минск. – 1972. – вып.3. – С.116-120.

58. Иванов С.Н., Столярова Т.Ф. Физико-химический режим фосфатов в дерново-подзолистых почвах различных по окультуренности и плодородию // Почвоведение. – 1973. – №2. – С.39-45.

59. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. М.В.О. Агропромиздат, 1989.- с.42-205.

60. Завалин А.А., Чернова Л.С., Гаврилова А.Ю. Изменение величины и качества урожая зерна ярового ячменя при внесении биомодифицированных минеральных удобрений.// Плодородие, 2013, №6, с.41-43.

61. Каплунова Е.В., Журавлева Е.Г. Поступление микроэлементов в растения на дерново – подзолистых среднесуглинистых почвах при использовании минеральных удобрений // Бюлл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1988. Вып. 42. С. 6 – 9.

- 62.** Карпинский Н.П. Автореферат д-ра с-х наук. М.: - 1951, - 47 с.
- 63.** Карпинский Н.П. Об эффективности удобрений на дерново – подзолистых почвах Центральной части Нечерноземной зоны, Кн. Агрохимическая характеристика почв СССР. М.: - 1972. С.120 – 144
- 64.** Карпинский Н.П., Замятина В.Б. Фосфатный уровень почвы // Почвоведение. – 1958. – №11. – С.27-39.
- 65.** Карпинский Н.П., Замятина В.Б., Глазунова Н.М. Подвижный фосфор и использование его растениями. Докл. Советских почвоведов к VII Международному конгрессу в США. М.: Изд-во АН СССР. // – 1960. – С.262-266.
- 66.** Касицкий Ю.И. Об оптимальном уровне обеспеченности почв подвижным фосфором Нечерноземной зоны СССР // Агрохимия. – 1991. – №6. – С.107-125.
- 67.** Касицкий Ю.И., Любомудрова Г.В., Айрумов Л.П., Литвинов В.С., Кулешова А.Н. Влияние фосфорных удобрений на плодородие дерново-подзолистых почв //Химия в сельском хозяйстве. – 1985. - №1. – с.26-30.
- 68.** Кедров – Зихман О.К. Известкование почв и применение микроэлементов. М.: 1957. – с.3-155
- 69.** Кидин В.В., Бельдяева К.Ю. Доступность растениям ячменя и овса фосфора и калия из подпахотных горизонтов дерново – подзолистых почв.// Плодородие. 2015, №5, - с. 24 – 26.
- 70.** Кидрун Е.А. Баланс микроэлементов (В, Cu, Mn, Co, Zn) в звене пятипольного севооборота // Агрохимия. 1978. №7. С. 114-118.
- 71.** Кирпичников Н.А. Влияние извести на фосфатный режим слабокультуренной дерново – подзолистой почвы при длительном применении удобрений //Агрохимия, 2016, №12. – с. 3 – 9.
- 72.** Кирпичников Н.А. Оптимизация фосфатного режима дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при сочетании фосфорных и известковых удобрений. Дисс д-ра с-х наук М.: 1989. – 47 с.

73. Кирпичников Н.А., Адрианов С.Н. Действие и последствие фосфорных удобрений на дерново-подзолистой почве при различной степени известкования //Агрохимия. – 2007. - №10. – с.1-11.

74. Кирпичников Н.А., Черных И.Н. К вопросу об оптимизации фосфатного режима дерново-подзолистых почв // Агрохимия. – 1993. – №8 – С.26-31.

75. Кирпичников Н.А., Шильников И.А. Эффективность фосфоритной муки при периодическом известковании дерново- подзолистой почвы. Сб. Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации. М.: ВНИИА, 2011, с.34-46.

76. Киселев М.В. Влияние сидератов на урожайность картофеля и биометрические показатели плодородия почвы в условиях Северо-Запада РФ. // Плодородие, 2012, №1, с.23-25.

77. Климашевский Э.Л., Маркова Ю.А., Лебедева И.К. Взаимодействие алюминия и фосфора на поверхности корней и в клеточных стенках// Докл. ВАСХНИЛ, №3, - с.6-8

78. Коданев И.М. Ячмень. М.: Колос, 1964, 239с.

79. Колянда Н.К. Формирование фосфатного фонда почвы при систематическом применении удобрений в севообороте и на бессменных посевах //Агрохимия. – 1971. - №6. – с.3-13

80. Конончук В.В. Оптимизация системы удобрений в зернокармном севообороте на светло-каштановой почве Поволжья при орошении. Автореф.дисс. докт.с-х наук.М.: 2003.-35с.

81. Кораблева Л.И. Влияние длительного последствия извести на фосфатный режим дерново-подзолистых почв // Сб. Памяти Д.Н. Прянишникова. М.: АН СССР. – 1950. – с.401-418

82. Кузнецова З.А., Човжик А.Д., Фетисова Н.Ф. Влияние минеральных удобрений, навоза, извести при длительном применении на урожай культур севооборота, качество продукции и плодородие дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. – 1984. - №10. – с.32-41

- 83.** Кузьмич М.А., Капранов В.Н., Орлова Т.Г. Влияние удобрений и реакции почвенной среды на урожай и качество зерна ярового ячменя селекции Московского НИИСХ (Немчиновка). // Плодородие, 2017, №3.с.1-3.
- 84.** Кук Дж. У. Регулирование плодородия почвы. Перевод с английского. М.: 1970. – с.142-285.
- 85.** Кук Дж. У. Факторы, лимитирующие урожай и их взаимодействие в системах земледелия // Вестник с-х науки. – 1976. - №2. – с.124-130
- 86.** Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: Агропромиздат, 1990, - 219 с.
- 87.** Кулаковская Т.Н., Детковская Л.П., Поздняк Т.В. Влияние известкования на фосфатный и калийный режимы дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Тезисы докладов, посвященные 100-летию со дня рождения О.К. Кедрова – Зихмана // Сб. Известкование и применение минеральных удобрений в интенсивных системах. Горки, 1985 – с.62-65.
- 88.** Кутровский В.Н., Сундухадзе Б.И., Кирдин В.Ф. Инновационные селекционные разработки – основы развития сельскохозяйственного производства. // Материалы научно-практической конференции. – М: Росинформагротех, 2007. – с. 56-58.
- 89.** Лебедева Л.А. Система применения удобрений в Нечернозёмной зоне РСФСР. М.: изд-во МГУ, 1989, 94 с.
- 90.** Лебедева Л.А., Гомонова Н.Ф. Влияние минеральных удобрений и извести при длительном применении на свойства дерново-подзолистой почвы и урожай растений. // Химия в сельском хозяйстве. – 1972. - №9. – С.2-7.
- 91.** Липкина Г.С. Свойства дерново-подзолистых почв на моренных и покровных суглинках // Почвоведение. – 1969. - №1. – с.3-13
- 92.** Литвинов В.С., Касицкий Ю.И., Айрумов Л.П. Действие и последствие фосфатов на урожай и качество с-х культур на

слабоокультуренной дерново-подзолистой почве.-Тр.ВИУА. М.,1980 вып.59,с.51-54.

93. Литвинцева Т.А. Качество зерна и продуктивность пивоваренного ячменя в зависимости от обеспеченности азотным и фосфорным питанием. Материалы Международной научной конференции М.: ВНИИА 2005, с.198-200.

94. Любарская Л.С., Шевцова Л.К., Гришина Н.П., Братерская А.Н. Накопление и превращение фосфора в различных почвах при длительном применении навоза и минеральных удобрений и доступность его растениям // Сб. Удобрения и плодородие почв. М.: 1966. – С.5-53.

95. Малеина А.А. Действие систематического внесения фосфорных удобрений и известкования на запас усвояемых фосфатов в почве // Почвоведение. – 1960. - №9. – С.71-75.

96. Милащенко Н.З., Кирпичников Н.А., Трофимов С.Н. Методология и прогноз изменения фосфатного состояния дерново-подзолистых суглинистых почв // Сб. докладов Научное обеспечение и совершенствование методологии агрохимического обследования. М.: ЦИНАО, 1999. – С.110-118.

97. Минеев В.Г., Егоров В.С., Баланс меди, цинка и марганца в дерново – подзолистых почвах с разными уровнями содержания подвижного фосфора // Агрохимия. 1997. №8. С. 5 – 9.

98. Минеев В.Г., Павлов А.Н. Значение основных минеральных элементов для накопления белков в зерне злаковых растений//Агрохимия, 1979, №8.-с.117-130.

99. Минеев, Дебрецени Б., Мазур Т. Биологическое земледелие и минеральные удобрения. М.: Колос, 1993, 415 с.

100. Митрофанова Е.М. Влияние длительного применения минеральных удобрений на подвижные формы фосфора дерново – подзолистой почвы Предуралья.// Плодородие, 2017, №3, с.3-7.

101. Можар К.Т., Барсуков С.С. Влияние известкования на свойства почвы и урожай культур в севообороте // Сб. Известкование и применение минеральных удобрений в интенсивных системах земледелия. Горки, 1985. – С.58-62.

102. Мосолов И.В. Физиологические основы применения минеральных удобрений. М.:Колос.1979.255с.

103. Мусаев Ф.А., Захарова О.А. Зависимость урожайности ячменя от ГТК и удобрений.// Успехи современного естествознания, 2016, №2.с. 89 – 97.

104. Наконечная М.А. Подвижность и доступность для растений фосфатов дерново-подзолистых почв в зависимости от их происхождения (природные и остаточные фосфаты). Бюлл. ВИУА. – 1971. - №11. – С.26-34.

105. Небольсин А.Н. токсичность алюминия, марганца и железа при различных уровнях фосфорного питания растений и реакции среды // Сб. трудов Северо-Западного НИИ сельского хозяйства. Л.: 1977. – С.3-14.

106. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. О некоторых аспектах известкования кислых почв. Научные труды Всероссийского НИИ сельскохозяйственного использования мелиорированных земель, 1983. – вып.5. – с.122-128

107. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. Санкт-Петербург, ЛНИИСХ. – 2005. – с.90-118

108. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Оптимальные интервалы реакции почв для сельскохозяйственных культур по данным длительных полевых опытов.// Плодородие, 2008, №4, с.2-4.

109. Никитишен В.И. Плодородие почвы и устойчивость функционирования агроэкосистемы. М.: Наука, 2002,-с. 17-237.

110. Нормативы «Эффективность отдельных видов минеральных удобрений в зависимости от условий влагообеспеченности и обеспеченности почвы фосфором. Материалы «75 лет Географической сети опытов с удобрениями». М.: ВНИИА, 2016, - с. 336 – 340.

111. Носовская И.И., Соловьев Г.А., Егоров В.С. Влияние длительного систематического применения различных форм минеральных удобрений и навоза на накопление в почве и хозяйственный баланс кадмия, свинца, никеля и хрома // Агрохимия. 2001. №1. С. 82 – 91.

112. Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растения-удобрение.М.:ЦИНАО, 1997-290с.

113. Овчаренко М.М., Бабкин В.В., Кирпичников Н.А. – Факторы почвенного плодородия и загрязнения продукции тяжелыми металлами. Агрохимический вестник, 1998, №3, с. 31 – 34.

114. Овчаренко М.М., Шильников И.А., Вендило Г.Г., Черных Н.А., Аканова Н.И., Графская Г.А., Сопельняк Т.Н., Аристархов А.Н., Кузнецов А.В., Никифорова М.В. Книга: Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение. М., 1997, 290 с.

115. Овчаренко М.М., Шильников И.А., Вендило Г.Г. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение. М.: 1997.- 288 с.

116. Орлов Д.С. Химия почв. Изд-во МГУ. – 1985. – 110 с.

117. Орлов П.В. Связь между содержанием в почве обменного алюминия и легкоподвижного фосфора.// Плодородие, 2013, №4, - с.13-15.

118. Палавеев Г., Тотев Т. Кислотность почвы и методы ее устранения М.: Колос. – 1983. – с.30-52

119. Парамонова Е.А. Биогенные и токсичные элементы в агроценозе при интенсивной химизации. Автореферат канд. дисс. к.биол.наук М., МГУ. 1991. 23 с.

120. Пасынков А.А. Агрохимические закономерности формирования продуктивности и качества зерновых культур Автореф. дисс. докт. Биологических наук М.: 2004.- 39 с.

121. Петрова Л.И. Микроэлементы дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений в льняном севообороте. Тяжелые металлы и радионуклеиды в агроэкосистемах.М.: 1994.с.167-173.

122. Пивоварова Л.Е. Совершенствование основных элементов технологий возделывания ярового ячменя в условиях Центрального Нечерноземья. Автор дисс.канд.с-х наук, Немчиновка 2009, 18 с.

123. Поддымкина Л.М. Содержание тяжелых металлов при длительном применении удобрений. Сб.Эффективность применения средств химизации в современных технологиях возделывания с-х культур. М.:ВНИИА, 2012,с.164-169.

124. Похлебкина Л.П. Влияние реакции почвенной среды на подвижность фосфатов в известкованной почве в условиях полевого опыта. Бюлл. ВИУА. – 1983, №63 – С.62-65.

125. Похлебкина Л.П. Действие извести, фосфора и биологических особенностей культур на урожай и фосфатный режим дерново-подзолистой почвы. Бюлл. ВИУА, 1979 - №47. – С.39-46.

126. Похлебкина Л.П. Использование зерновыми культурами остаточных фосфатов и баланс фосфора в микрополевым опыте. Бюллю ВИУА. – 1979. - №47. – С.39-46.

127. Похлебкина Л.П. Поглощенные фосфаты почвы и доступность их для растений. Тр. ВИУА, - 1968 вып.45. – С. 275-280.

128. Похлебкина Л.П., Игнатов В.Г. Влияние известкования на подвижность фосфатов и калия в дерново-подзолистой почве // Агрохимия. – 1984. - №10. – С.80-85.

129. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения (практическое руководство), М.: Ледум, 2000, - 185с.

130. Пухальская Н.В., Сычёв В.Г., Собачкин А.А. Особенности калийного питания с-х. растений в оптимальных и неблагоприятных условиях М.: ВНИИА, 2009. –92 с.

131. Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивноландшафтного земледелия. ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 464 с.

132. Смирнов А.П., Садовская Э.Н., Стокозов И.П. Изучение условий питания новых сортов ячменя.// Агрохимический вестник. 2010. - №3. – с. 19 – 22.

133. Соколов А.В. Агрохимия фосфора. М.: Наука. – 1950. – 164 с.

134. Соколов А.В. Запасы в почвах усвояемых фосфатов и их накопление при внесении фосфорных удобрений // Почвоведение. – 1958. - №2. – С.2-8.

135. Соколов А.В., Гладкова К.Ф. Накопление в почве остаточных фосфатов удобрений // Агрохимия. – 1979. - №9. – С.18-24.

- 136.** Соколов А.В., Гладкова К.Ф. Фосфорные удобрения. Справочная книга по химизации сельского хозяйства. М.: Колос, - 1980. – с. 82 – 95.
- 137.** Стребков И.М. Основные закономерности взаимодействия векторов почвенного плодородия, удобрений и погоды в условиях дерново – подзолистых почв Центрального района Нечернозёмной зоны РСФСР// Агрохимия, 1989, №2, - с. 36 – 41.
- 138.** Стрельников В.Н., Ерохина Е.Н. Эффективность известкования в длительном полевом опыте// Сб. известкование и применение удобрений в интенсивных системах земледелия. Горки, 1985. – с.32 – 36.
- 139.** Судаков Б.Д. Урожай зерна ячменя и качество в зависимости от удобрений, запасов фосфора и степени кислотности дерново-подзолистых почв Западной Белорусии//Агрохимия 1992,№8, с.57-69.
- 140.** Суров Н.Г. Действие доз и соотношений минеральных удобрений на урожай и качество пшеницы и ячменя в условиях Кировской области.Тр.ВИУА»Влияние удобрений на качество урожая основных с-х культур». М.: 1984, с. 83-93.
- 141.** Сычёв В.Г. и др. Эффективность фосфорных удобрений на почвах России и основные направления исследований Геосети по агрохимии фосфора. Бюлл. ВНИИА, М.: 2010, вып. 10, с. 25 -32.
- 142.** Сычёв В.Г. Применение удобрений в адаптивно – ландшафтном земледелии Нечерноземной зоны России, М.: ВНИИА, 2005, 160 с.
- 143.** Сычев В.Г., Кирпичников Н.А. Приемы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях. М.: ВНИИА. – 2009. – 176 с.
- 144.** Сычёв В.Г., Кирпичников Н.А. Эффективность известкования в связи с агрохимическими свойствами дерново – подзолистых суглинистых почв Центрального Нечерноземья. М.: ВНИИА, 2016. – 104 с.
- 145.** Сычёв В.Г., Кирпичников Н.А., Шильников И.А. Фосфатный режим при известковании дерново-подзолистых суглинистых почв. – М.: ВНИИА, 2014. – 152с.
- 146.** Сычев В.Г., Кирпичников Н.А., Шильников И.А. Эффективность фосфоритной муки при известковании дерново-подзолистых почв. М.:ВНИИА, 2015, С.138 с.

147. Сычев В.Г., Шафран С.А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений. М.: ВНИИА. -2012.-200 с.

148. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. Нижний Новгород, - 2012. – 64с.

149. Тихомирова В.Я. Хозяйственный баланс микроэлементов и тяжелых металлов в льняном севообороте // Агрохимия. 2004, №4. С. 40 – 44.

150. Толстоусов В.П. Удобрения и качество урожая. М.: Агропромиздат, 1987, 192 с.

151. Хлыстовский А.Д. Плодородие почвы при длительном применении удобрений и известии. М. Наука, 1992. – 192 с.

152. Хлыстовский А.Д., Князева К.Н. Превращение разных форм фосфорных удобрений и их эффективность на дерново – подзолистой почве. //Агрохимия, 1976. - №11. – с. 24 – 36.

153. Холопова Р.В. Состав и подвижность фосфатов дерново-подзолистых почв подтайги Средней Сибири // Агрохимия. – 1980. - №4. – с.40-46.

154. Черных Н.А., Ладонин В.Ф., Черных И.Н., Кирпичников Н.А., Ефремов В.Ф., Човжик В.П. Баланс тяжелых металлов в дерново – подзолистой почве при длительном применении средств химизации в районе интенсивного развития промышленного производства // Агрохимия. 1994. №5. С. 56 – 65.

155. Черных Н.А., Овчаренко М.М. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах. М.: Агроконсалт,- 2002,. 200 с.

156. Чуприков Ю.К. Влияние удобрений на накопление и превращение фосфора в дерново-подзолистой почве // Докл.ТСХА, 1985, вып.218. – с.118-123.

157. Чуприков Ю.К., Гулякин И.В. Влияние удобрений на накопление и превращение фосфора и калия в дерново-подзолистой почве.// Докл. ТСХА, 1974, вып. 203. – с.85-100.

- 158.** Чухина О.В. Продуктивность культур и обеспеченность дерново – подзолистой почвы питательными элементами при расчётных дозах удобрения в севообороте. Автореф.дисс.канд.с-х.наук.М., 1999, 17 с.
- 159.** Шильников И.А., Аканова Н.И. Проблема снижения подвижности тяжелых металлов при известковании.//Химия в с.-х., 1995, №4,с. 29-32.
- 160.** Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА. – 2008. – 340 с.
- 161.** Янишевский Ф.В., Дзикович К.А., Безуглая Ю.М. Влияние известкования на эффективность минеральных удобрений в многолетних полевых опытах //Химия в сельском хозяйстве. – 1985. - №11. – с.14 – 17.
- 162.** Amarasiri S.L., Olsen S.R. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. Soil. Sci. Soc. Am. Proc., 1973, v.37, №5, p.716-721
- 163.** Cooke G.W., Phosphorus and Potassium Problems in Plant Production and How to solve them. The IX Congress on Fertilizers, Budapest, 1984,1-39.
- 164.** Foy C.D. Effects of aluminium on plant growth In. «The plant root and its environment». Virginia, 1974, p.601
- 165.** Gerike S. Ergebnisse von Phosphat – Dungungsversuchen. Phosphorsaure, 1967, 27, №1-2, 47-48.
- 166.** Kamprath E.J. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. – Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1970, v. 34, №2. p. 252 – 254.
- 167.** Mendes Jose, Kamprath E.J. Liming of latosols and the Effect on phosphoreresponse. – Soil Sci, Soc. Am. J., 1978, v.42, №1, p. 86-88
- 168.** Mortvedt J.J., Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers, Fert. Res. 43 (1996) 55-61.
- 169.** Olsen S.R. Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous Soils. J. W.H. Pierre and A.G. Narman, ed Soil and fertilizer phosphorus in crop nutrition Academic Press., Inc., New York., Agronomy,1981, 4, 89-122.

170. Pfulb K., Wiechens E. Ertragsleistung von Phosphatsteigerungs und Nachwirkungsversuchen auf Boden mit hohen und Solchen mit niedrigen Phosphatgehalten und deren Beziehung zu den Ergebnissen verschiedener Bodenuntersuchungsmethoden landwirt..Forsch., 1971, 26/1,138-145.

171. Pfulb K., Wiechens E.E.E. rgebnisse von Phosphatdungunsversuchen auf Boden mit niedrigem und mit hohem Phosphatgehalt sowie Folgerungen fur die Dungung. «Die Phosphorsaure», 1970, B. 28, №2, 144-160.

172. Probert M. E., Winter W. H., Jones R. K. Effects of liming and placement on responses to applied phosphorus. – Aust. J. Exp. Agric Anim, Husb., 1979, 19, 583 – 589.

173. Schoield R.K. Can a precise meaning be given available soil phosphate. – Soil and Fertilizers, 1955, v. 18, № 5, p. 372-375.

174. Stanberry C.O., Fuller W.H., Grawford N.R. Comparison of phosphate sources for alfalfa on a calcareous soil. – Soil Sci Soc. Am. Proc., 1960, v. 24, №5, p. 364-366.

175. Warren R.G., Yonston A.E., Report of the Rothamsted exper. Sta.for, 1962, p. 227-247.

176. White R.E. The cnigma of PH-P solubility relationships in Soil. Jn. Proc. / Intern. Congr. On. Phosphorous Compounds, Brussel, 1983, S. 2-26

Приложение 1

Динамика нарастания надземной фитомассы ярового ячменя в 2017 г.
(г/м²)

Вариант	Слабоокультуренная почва	Окультуренная почва
Контроль	616	840
N ₆₀ K ₆₀	750	1000
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	840	1250
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	990	1300
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	1100	1450
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	1190	1410

Приложение 2

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на структуру урожая ячменя в 2015-м году

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л
Контроль	18,0	46,0	626	19,2	46,8	615
N ₆₀ K ₆₀	21,0	48,0	617	21,4	48,2	609
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	21,6	48,4	610	22,0	48,7	605
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	22,0	48,8	610	22,2	49,2	603
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	22,7	48,8	614	23,0	49,2	606
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	22,8	48,9	615	23,0	48,8	608

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на структуру урожая ячменя в 2016-м году

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л
Контроль	16,8	40,8	570	18,1	41,4	566
N ₆₀ K ₆₀	17,5	43,3	565	20,2	44,6	567
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	18,7	43,4	566	21,2	45,7	560
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	21,3	44,5	550	22,4	46,9	550
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	22,6	46,5	557	22,6	47,3	558
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	22,4	47,8	566	22,5	48,0	560

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на структуру урожая ячменя в 2017-м году

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л
Контроль	17,7	43,2	560	18,9	44,5	554
N ₆₀ K ₆₀	18,5	44,6	558	20,6	47,2	550
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	19,4	47,2	545	21,0	49,8	540

$N_{60}K_{60} + P_{60}$	19,8	48,8	548	21,6	50,8	546
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	20,6	49,9	550	21,8	51,0	555
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	21,0	49,8	546	21,7	50,9	548

Приложение 5

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на содержание азота, фосфора и калия в зерне ярового ячменя в 2015-м году, %

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N, %	P_2O_5 , %	K_2O , %	N, %	P_2O_5 , %	K_2O , %
Контроль	1,47	0,86	0,81	1,51	0,89	0,83
$N_{60}K_{60}$	1,54	0,87	0,84	1,56	0,95	0,85
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	1,60	0,88	0,85	1,63	0,98	0,88
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	1,65	0,91	0,83	1,63	0,90	0,88
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	1,67	0,90	0,87	1,75	1,0	0,91
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	1,67	1,06	0,87	1,75	1,01	0,90

Приложение 6

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на содержание азота, фосфора и калия в зерне ярового ячменя в 2016-м году, %

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%
Контроль	1,51	1,0	0,86	1,52	0,86	0,88
N ₆₀ K ₆₀	1,55	1,0	0,83	1,53	0,87	0,88
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	1,57	0,98	0,85	1,64	0,88	0,87
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	1,66	0,98	0,87	1,68	0,91	0,90
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	1,71	0,95	0,86	1,74	0,90	0,93
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	1,75	1,0	0,86	1,76	1,10	0,95

Приложение 7

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на содержание азота, фосфора и калия в зерне ярового ячменя в 2017-м году, %

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%
Контроль	1,49	0,96	0,86	1,52	0,86	0,88

$N_{60}K_{60}$	1,55	1,0	0,83	1,57	0,87	0,88
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	1,58	1,02	0,85	1,63	0,88	0,87
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	1,65	1,01	0,87	1,66	0,91	0,90
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	1,69	1,03	0,86	1,75	0,90	0,93
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	1,71	1,05	0,86	1,76	1,10	0,93

Приложение 8

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на содержание основных элементов в соломе ярового ячменя в 2015-м году, %

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N, %	P_2O_5 , %	K_2O , %	N, %	P_2O_5 , %	K_2O , %
Контроль	0,83	0,24	1,2	0,84	0,22	1,23
$N_{60}K_{60}$	0,86	0,25	1,24	0,87	0,23	1,2
$N_{60}K_{60} + P_{30}$	0,83	0,24	1,2	0,9	0,23	1,35
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	0,85	0,25	1,3	0,85	0,23	1,3
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	0,88	0,23	1,2	0,89	0,24	1,3
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	0,86	0,23	1,25	0,96	0,24	1,32

Приложение 9

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на содержание основных элементов в соломе ярового ячменя в 2016-м году, %

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%
Контроль	0,78	0,24	1,1	0,84	0,22	1,2
N ₆₀ K ₆₀	0,82	0,26	1,2	0,89	0,22	1,24
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	0,82	0,26	1,25	0,95	0,23	1,3
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	0,86	0,28	1,2	0,95	0,23	1,34
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	0,85	0,27	1,3	0,93	0,23	1,36
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	0,86	0,28	1,2	0,99	0,24	1,4

Приложение 10

Влияние фосфорных удобрений и окультуренности почвы на содержание основных элементов в соломе ярового ячменя в 2017-м году, %

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O,%
Контроль	0,81	0,25	1,15	0,85	0,22	1,24

N ₆₀ K ₆₀	0,84	0,26	1,2	0,87	0,22	1,25
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	0,85	0,25	1,2	0,94	0,23	1,3
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	0,85	0,27	1,25	0,95	0,23	1,35
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	0,85	0,28	1,35	0,95	0,23	1,35
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	0,86	0,3	1,3	0,97	0,24	1,4

Приложение 11

Содержание сырого жира, сырой клетчатки и сырой золы в зависимости от применения фосфорных удобрений, % (среднее за 2015-2017 гг.)

Вариант	сырой жир		сырая клетчатка		сырая зола	
	С	О	С	О	С	О
Контроль	3,1	3,0	4,51	4,38	2,18	2,12
N ₆₀ K ₆₀	3,5	3,0	5,03	4,41	2,41	2,20
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	2,97	3,0	4,46	4,24	2,23	2,15
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	2,95	2,68	4,21	4,13	2,03	2,06
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	3,12	3,04	4,24	4,10	2,10	2,20
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	3,24	3,11	4,26	3,38	2,27	2,00

Примечание: С- слабоокультуренная почва, О- окультуренная почва

Приложение 12

Содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) в дерново – подзолистой почве при внесении фосфорных удобрений, мг/кг

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	2015 г	2016 г	2017 г	2015 г	2016 г	2017 г
Контроль	60	46	65	102	100	104
N ₆₀ K ₆₀	58	47	60	100	104	108
N ₆₀ K ₆₀ + P ₃₀	66	40	70	105	107	106
N ₆₀ K ₆₀ + P ₆₀	72	40	70	114	110	103
N ₆₀ K ₆₀ + P ₉₀	75	54	72	118	112	105
N ₆₀ K ₆₀ + P ₁₂₀	77	60	67	125	115	120

Приложение 13

Степень подвижности фосфатов (по Карпинскому) в зависимости от применения фосфорных удобрений, мг/л

Вариант	Слабоокультуренная почва			Окультуренная почва		
	2015 г	2016 г	2017 г	2015 г	2016 г	2017 г
Контроль	0,127	0,107	0,116	0,160	0,151	0,156
N ₆₀ K ₆₀	0,132	0,128	0,129	0,174	0,162	0,167

$N_{60}K_{60} + P_{30}$	0,140	0,134	0,136	0,190	0,170	0,179
$N_{60}K_{60} + P_{60}$	0,160	0,140	0,151	0,200	0,172	0,185
$N_{60}K_{60} + P_{90}$	0,182	0,190	0,185	0,250	0,242	0,245
$N_{60}K_{60} + P_{120}$	0,205	0,215	0,209	0,290	0,271	0,279