

Государственное научное учреждение
Всероссийский научно – исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова

На правах рукописи

ШВЫРКИНА СВЕТЛАНА ВИКТОРОВНА

**ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТЫХ И СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД КАРТОФЕЛЬ**

Специальность: 06.01.04 – Агрохимия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель –
доктор сельскохозяйственных наук
Шафран Станислав Аронович

Москва – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
I. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых и серых лесных почв на эффективность применения минеральных удобрений	8
1.1. Влияние удобрений на урожайность картофеля	10
1.2. Влияние основных агрохимических свойств почв на урожай картофеля..	22
1.3. Связь эффективности минеральных удобрений под картофель с агрохимическими свойствами почв	34
II. Экспериментальная часть.	
Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых и серых лесных почв на эффективность применения минеральных удобрений под картофель в Центральном федеральном округе	40
2. Эффективность применения минеральных удобрений под картофель на дерново-подзолистых и серых лесных почвах Центрального федерального округа	40
2.1. Эффективность азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах....	40
2.2. Эффективность азотных удобрений на серых лесных почвах.....	58
2.3. Эффективность фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах.....	80
2.4. Эффективность калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах.....	93
III. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений на дерново-подзолистых и серых лесных почвах.....	116
Выводы	127
Предложения производству.....	130
Литература.....	131
Приложения	147

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

Одной из актуальных задач современного земледелия является снижение затрат питательных веществ удобрений на формирование единицы урожайности сельскохозяйственных культур.

К одному из способов достижения указанной цели относится дифференцированное применение питательных веществ в зависимости от агрохимических свойств почв.

Для выполнения поставленной задачи необходима соответствующая нормативно-справочная информация. К настоящему времени подобная нормативная база разработана только для зерновых культур.

В агрохимической науке накопилось много исследований по изучению эффективности минеральных удобрений в различных почвенно – климатических зонах. Однако при их обобщении не учитывалось взаимодействие агрохимических свойств почв и их влияние на эффективность минеральных удобрений.

На основании изложенного, работа по изучению влияния агрохимических свойств почв на эффективность применения минеральных удобрений под картофель является актуальной.

Цель исследований – изучить взаимодействие основных питательных веществ дерново-подзолистых и серых лесных почв на эффективность применения минеральных удобрений под картофель в Центральном федеральном округе.

Задачи исследований:

1. Выявить тесноту, форму и направление связи между прибавкой урожая картофеля и агрохимическими свойствами почвы (содержание подвижного калия, подвижного калия, легкогидролизуемого азота, реакции почвенной среды и гумуса).

2. Исследовать влияние возрастающих доз минеральных удобрений на прибавку урожая картофеля на дерново-подзолистых и серых лесных почвах в зависимости от основных агрохимических свойств почв.

3. Определить окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая картофеля в зависимости от основных агрохимических показателей почв.

4. Установить экономический эффект от применения минеральных удобрений под картофель при различных сочетаниях агрохимических свойств почв.

Научная новизна работы.

Впервые на базе обширного экспериментального материала изучено взаимодействие основных агрохимических свойств дерново-подзолистых и серых лесных почв на эффективность применения азотных, фосфорных и калийных удобрений, вносимых под картофель в Центральном федеральном округе. Установлено комплексное влияние реакции почвенной среды, содержания гумуса, легкогидролизуемого азота, подвижных форм фосфора и калия на прибавку урожая и окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая картофеля. Определена экономический эффект от применения минеральных удобрений под картофель в зависимости от сочетания основных агрохимических параметров дерново-подзолистых и серых лесных почв.

Практическая значимость работы.

Выявленные связи между основными факторами в системе «почва – удобрение – растение» могут быть использованы в качестве теоретического обоснования для разработки математических моделей прогноза прибавки урожая картофеля в зависимости от конкретной агрохимической ситуации и доз минеральных удобрений и нормативной базы.

Табличная интерпретация таких моделей, выполненная по дерново-подзолистым и серым лесным почвам, может быть использована для

дифференцированного применения минеральных удобрений под картофель с учётом содержания основных питательных веществ в почвах, что даёт возможность уменьшить расход минеральных удобрений на формирование единицы урожая картофеля.

Личный вклад автора.

Соискатель принимала непосредственное участие: в обработке обширной информации данных полевых опытов, проведённых агрохимической службой на дерново-подзолистых и серых лесных почвах Центрального федерального округа с картофелем, включающей статистический анализ данных, расчёт прибавок и окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая картофеля, а также определение экономической эффективности применения минеральных удобрений.

Апробация работы и публикации

Результаты исследований доложены на 46-й международной научной конференции молодых ученых, докторантов, аспирантов и соискателей учёных степеней доктора и кандидата наук «Эффективность применения средств химизации в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур» (ВНИИА, 2012) и 47-й международной научной конференции молодых учёных, специалистов – агрохимиков и экологов «Перспективы применения средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях» (ВНИИА, 2013). По результатам диссертации опубликовано 5 статей, в том числе 2 – в рецензируемом журнале, рекомендованном ВАК РФ для публикации результатов исследований соискателями учёных степеней.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В качестве объекта исследования выбран картофель сортов Белорусский, Белорусский ранний, Бинтье, Гатчинский, Детскосельский, Дружный, Лаймдота, Лорх, Лощицкий, Любимец золотой, Огонёк, Пензенский скороспелый, Сеянец 1555, Смена, Столовый-19, Темп, Уран, Фаленский, возделываемый на дерново-подзолистых и серых лесных почвах Центрального федерального округа.

Исходной информацией являлись полевые опыты, которые провела агрохимическая служба на дерново-подзолистых и серых лесных почвах Центрального федерального округа. Исследования проведены в соответствии с «Методикой разработки нормативов окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур» (2009). Данная методика основана на использовании метода математического моделирования, позволяющего установить форму, направление и тесноту связи между аргументами системы и результативными признаками и спрогнозировать прибавку урожая от удобрений и их окупаемость при различных сочетаниях изучаемых факторов.

В качестве исходной информации использованы парные значения урожая картофеля и агрохимических свойств почвы, полученные в полевых опытах, при которых схемой полевых опытов предусмотрено вычленение отдельно действие азота, фосфора и калия на фоне абсолютного контроля и на фоне соответствующих парных сочетаний (на фоне фосфорных и калийных удобрений для азотных удобрений, на фоне НК – для фосфорных удобрений и на фоне NP – для калийных удобрений).

В конечном итоге сформировалась выборка, в которой имеются сопряжённые данные «дозы питательных веществ – агрохимические свойства почвы – урожайность». Данная выборка использовалась для математического моделирования.

Содержание легкогидролизуемого азота определялось по методу Корнфилда, подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова, гумуса по методу Тюрина.

По результатам анализа определяли, какие именно аргументы системы в наибольшей степени влияли на формирование прибавки урожайности картофеля, для расчётов выбираются наиболее значимые из них.

Значения прибавок были сгруппированы по группам обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия – низкое, среднее, повышенное, высокое. Группировка доз азотных, фосфорных и калийных удобрений осуществлена по фактическим данным, представленным в выборке.

В результате проведённых расчётов получены данные по прибавке урожайности и окупаемости минеральных удобрений с учётом комплекса наиболее значимых агрохимических свойств почв.

I. ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ И СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД КАРТОФЕЛЬ

Картофель в России является одной из важнейших сельскохозяйственных культур. В мировом производстве продукции растениеводства он занимает одно из первых мест наряду с рисом, пшеницей и кукурузой. Клубни картофеля содержат около 25% сухих веществ, в том числе 14...22% крахмала, 1,4...3,0% белков, около 1% клетчатки, 0,2...0,3% жира и 0,8...1,0% зольных веществ. Картофель богат витаминами С, В₁, В₂, В₆, РР и минеральными веществами.

Картофель имеет широкое применение. В его клубнях содержится значительное количество крахмала, витаминов и высококачественного белка. По этой причине картофель имеет исключительное значение в питании человека. Картофель используют для переработки. Картофель применяют в животноводческих комплексах для корма скота.

Клубни картофеля служат сырьем для крахмалопаточной, глюкозной, спиртовой, каучуковой, декстриновой и других отраслей промышленности. Полученный из картофеля крахмал – незаменимый продукт в пищевой, текстильной и бумажной промышленности (Посыпанов Г.С., 2007).

В нашей стране основные площади посадок картофеля сосредоточены в Нечерноземной и Центрально-Черноземной зонах, наиболее благоприятных для его возделывания.

По данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, в общей структуре посевных площадей в 2012 г. картофель занимал 2,244 млн. га, из которых в Центральном федеральном округе – 668,4 тыс.га. При этом, в 2012 г. в Центральном федеральном округе основные посадки картофеля сосредоточены в Воронежской (99,9 тыс.га), Курской (63,7 тыс.га) и Брянской областях (55,5 тыс.га).

Картофель остается культурой, выращиваемой преимущественно в хозяйствах населения. В структуре посевных площадей эта категория занимает приблизительно 84% от всех посевных площадей. На долю сельскохозяйственных организаций приходится 10.4% посевной площади, на крестьянские фермерские хозяйства и хозяйства индивидуальных предпринимателей – около 5%.

Валовой сбор картофеля в 2012 году составил 29 млн. т, из которых в Центральном федеральном округе – 9 168,3 тыс.т. Среди областей Центрального федерального округа максимальный валовой сбор получен также в Воронежской (1 275,2 тыс.т), Брянской (988,8 тыс.т) и Курской областях (875,2 тыс.т).

Средняя урожайность картофеля в России в 2012 году составила 133 ц/га. При этом в Центральном федеральном округе средняя урожайность была выше – 139,9 ц/га. Среди областей Центрального федерального округа средняя урожайность варьировала в пределах от 84,3 ц/га в Белгородской области до 187,7 ц/га в Брянской области.

Согласно постановлению Совета Министров СССР от 09.04.1964 № 139 «Об организации государственной агрохимической службы в сельском хозяйстве», была создана единая государственная агрохимическая служба страны с целью осуществления государственной политики в области химизации сельского хозяйства и повышения плодородия почв.

За годы работы Агрохимической службы Российской Федерации накопился огромный материал по эффективности минеральных удобрений на урожай картофеля. Однако при обобщении данного материала не учитывались основные агрохимические свойства почв, а ведь именно дифференцированное применение удобрений с учетом агрохимических свойств почв будет способствовать сокращению денежных затрат на создание единицы продукции картофеля.

1.1. Влияние удобрений на урожайность картофеля

Основой получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур является применение минеральных удобрений. О необходимости внесения минеральных удобрений указывают многие ученые (Жежель Н.Г. и Пантелеева Е.И., 1972; Петербургский, 1979; Кулаковская, 1990; Державин, 1991; Сычѳв, 2000; Лапа, Босак, 2002; Босак, 2003; Кидин В.В., 2008 и др.).

В настоящее время общий объѳм вносимых в почву минеральных удобрений резко сократился. Так, по данным Шафрана С.А. (2004), в период 1996-2000 гг. было внесено только 16 кг NPK на 1 га пашни.

По данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации в 2011 году на 1 га посевной площади в среднем по России было внесено 223 кг NPK. В том же году количество вносимых удобрений в Центральном федеральном округе оказалось несколько больше – 336 кг NPK на 1 га посевной площади. «Лидерами» среди областей по количеству внесѳнных в 2011 году минеральных удобрений стали Московская, Тульская, Ярославская, Рязанская и Брянская области.

В 2012 году в среднем по России было внесено несколько больше минеральных удобрений на 1 га посевной площади по сравнению с 2011 годом – 244 кг NPK, а в Центральном федеральном округе – меньше (319 кг NPK на 1 га). Среди лидирующих областей Центрального федерального округа по количеству внесѳнных минеральных удобрений стали Липецкая, Брянская, Московская и Тульская области.

Вследствие длительного использования сельскохозяйственных земель при возделывании на них культур без возмещения питательных веществ, выносимых культурой в процессе её питания с урожаем, большинство почв России в значительной степени истощены и не могут обеспечить культуру необходимыми питательными веществами. Так, по данным Кидина В.В. (2008), в процессе минерализации высвобождается в 2-4 раза меньше питательных веществ, чем требуется для формирования урожая.

Именно научно обоснованное применение минеральных удобрений приведет к их рациональному использованию и сокращению затрат на создание единицы урожая сельскохозяйственной культуры и будет окупаться прибавкой урожая.

В настоящий момент накоплено значительное количество знаний об эффективности азотных, фосфорных и калийных удобрений на урожай картофеля во всех почвенно – климатических зонах нашей страны, включая Центральное Нечерноземье. Однако практически все они относятся к конкретным почвенно-климатическим условиям и не учитывают агрохимические свойства почв. По результатам исследований составлена и разработана система применения удобрений, включающая внесение как органических, так и минеральных удобрений.

Ягодин Б.А. (1989) указывает, что на дерново-подзолистых суглинистых и серых лесных почвах наибольший эффект обеспечивают азотные удобрения, затем фосфорные и в последнюю очередь калийные удобрения. На песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах, бедных питательными веществами, первое место по эффективности также принадлежит азотным, а второе – калийным удобрениям.

На необходимость оптимизации азотного питания растений указывал Кидин В.В. (2008), объясняя это тем, что растения наиболее чутко реагируют на недостаток и избыток именно этого элемента питания.

Картофель хорошо реагирует на внесение удобрений, что можно объяснить не только биологическими особенностями, связанными с высоким потреблением питательных веществ, но и состоянием почвы, где междурядное рыхление за вегетационный период усиливает проникновение воздуха и повышает действие удобрений (Гилиц М.Б., 1975).

Известно, что на 10 т клубней при соответствующем количестве ботвы разные сорта картофеля выносят 40-70 кг N (Ягодин Б.А., 1982; Ягодин Б.А., 1989; Гулякин И.В., 1970).

По результатам опытов Географической сети ВИУА, при внесении под картофель в Центральной Нечерноземной зоне от 30 до 90 кг/га азота удобрений, прибавки урожая картофеля варьировали от 19 до 66 ц/га. Наибольшие прибавки наблюдались при дозах N_{60} и N_{90} , где они достигали до 65 и 66 ц/га соответственно (Державин Л.М., 1992).

По данным результатов 435 полевых опытов агрохимической службы, обобщённых Державиным Л.М. (1992), наблюдается высокий эффект от действия азотных удобрений. Данные результаты показали достоверное действие азотных удобрений, которое в большинстве случаев носило линейный характер.

Так, при внесении азотных удобрений на светло-серых и серых лесных почвах Предуральской провинции прибавки урожая клубней при внесении 60-150 кг/га азота составили 29,9-74,8 ц/га, а при внесении 60-150 кг/га азота на дерново-подзолистых почвах Средне-Русской провинции прибавки урожая клубней составили 25,5-46,6 ц/га.

В опытах Бразджюте В. (1987) в среднем за 3 года (1978-1980) наибольшую прибавку урожая (35 ц/га) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве обеспечивала доза N_{90} , на супесчаных почвах – N_{120} (на фоне $P_{90}K_{90} + 40$ т/га навоза).

Casper H (1989) для достижения урожая картофеля 400 ц/га рекомендует вносить около N_{160} . При повышенных дозах азота наблюдается снижение крахмалистости клубней, содержания сухого вещества, аскорбиновой и лимонной кислот.

Об ухудшении качества клубней крахмала свидетельствуют также такие авторы, как Широков Е.П., Полегаев В.И., 1982; Пшеченков К.А., 1998; Прокошев В.В., Дерюгин И.П., 2000; Пшеченков К.А. и др., 2001; Молявко А.А., 2002.

MacMurdo W. и др (1988) показал, что урожай клубней семенной фракции сорта Атлантик был максимальным при дозе N_{99} , вносимой в

качестве основного удобрения, и составил 260 ц/га. Для сорта Себаго наиболее продуктивной оказалась доза N_{132} , урожай от которой составил 184 ц/га.

Snieg L. (1986) также отмечал, что наиболее оптимальной оказалась доза N_{130} , при увеличении которой в клубнях увеличивалось содержание общего белкового азота, нитратов, происходило снижение сухой массы и содержания крахмала. Однако наибольший урожай (430 ц/га) был получен в благоприятный год при дозе N_{150} .

Fischer D von; Lauten H. (1988) отмечают, что высокоурожайные сорта картофеля переносят без снижения качества урожая дозы N , составляющие вместе с почвенным запасом 180-200 кг/га. При этом для раннеспелых сортов перед посадкой оптимальной является доза $N_{140-160}$, для пищевого картофеля – N_{80-140} . Рекомендуют 80% дозы азота вносить перед посадкой, 20% – в виде подкормки.

Для обеспечения высокой продуктивности картофеля необходимы и фосфорные удобрения. На 10 т клубней при соответствующем количестве ботвы разные сорта картофеля выносят 15-20 кг P_2O_5 (Ягодин Б.А., 1982; Ягодин Б.А., 1989; Гулякин И.В., 1970).

Фосфорные удобрения обеспечивают хорошую урожайность при внесении их в оптимальных дозах на фоне навоза, а также азота и калия. Так, по результатам опытов Географической сети ВИУА, при внесении под картофель в Центральной Нечерноземной зоне 60-90 кг/га фосфора удобрений на фоне навоза и азотно-калийных удобрений прибавки урожая картофеля варьировали от 3 до 16 ц/га, а на фоне азотно-калийных удобрений без навоза прибавки составили от 8 до 28 ц/га (Державин Л.М., 1992).

По данным результатов 468 полевых опытов агрохимической службы, обобщённых Державиным Л.М. (1992), действие фосфорных удобрений было достоверно на всех почвах опытов. В большинстве случаев, зависимость

урожая картофеля от возрастающих доз фосфорных удобрений носила нелинейный характер.

О положительном влиянии фосфорных удобрений при оптимальном соотношении с азотом и калием на синтез крахмала в клубнях картофеля указала и Бобкова Л.П. (1978). Кроме того, повышенные нормы фосфорных удобрений к азотным снижают содержание нитратов в клубнях картофеля (Адрианов С.Н., 2000; Минеев В.Г. и др., 1988, Пугаев С.В. и др., 1990).

Так, при внесении фосфорных удобрений на светло-серых, серых и тёмно-серых лесных почвах Предуральской провинции прибавки урожая клубней при внесении 60-150 кг/га фосфора составили 33,3-80,6 ц/га, а при внесении фосфора в дозе 60-150 кг/га на дерново-подзолистых почвах Средне-Русской провинции прибавки урожая клубней картофеля составили 25,6-36,1 ц/га.

При разработке системы удобрений под картофель необходимо подобрать оптимальные дозы удобрений, поскольку повышенные дозы могут не только не оказать положительного влияния на урожай, но и снизить его качество. Так, Щенникова Т.Ф. (1991) показала, что в опытах с повышенными дозами фосфорных удобрений, проводимых в 1986-1989 годах на картофеле сорта Невский 1, применение высоких доз удобрений (в расчете на запрограммированный урожай 450 ц/га) нецелесообразно. На участках, где вносили повышенные дозы фосфорных удобрений, запаздывало интенсивное клубнеобразование (примерно на 7-10 дней), уменьшалось содержание крахмала в клубнях (на 0,1-0,6%), увеличивалась пораженность болезнями (на 0,5-1,6%) и не обеспечивался рост урожайности (в среднем за 4 года урожай увеличился на 2,3-6,9%). В опытах Бразджюте В. (1987) в среднем за 3 года (1978-1980) максимальная прибавка урожая (25 ц/га) на малообеспеченных фосфором почвах получена при дозе P_{90} (на фоне $N_{90}K_{90}$).

Fischer D von; Lauten H. (1988) также рекомендуют вносить фосфор в дозах P_{90-110} .

Сотрудники исследовательского центра в Кимберли, университета штата Айдахо (1986) считают оптимальной дозу фосфора P_{34} , внесённой перед посадкой картофеля. Однако авторы отмечают, что максимальный эффект от внесения фосфора может быть достигнут только при тщательной обработке почвы.

Кроме того, важно обратить внимание на способ внесения фосфорных удобрений. Suhtxeim L.; Matzel W. (1989) по результатам проведённых вегетационных и полевых опытов с дозами (P_{30} и P_{60}) и способами внесения фосфорных удобрений (вразброс, в рядки, в лунки) показали, что максимальный урожай получен при внесении P_{60} в лунки – 578 ц/га. По дозе фосфора P_{30} наибольший урожай также отмечен при внесении удобрения в лунки – 484 ц/га.

Основным показателем качества клубней картофеля является содержание в них крахмала. Картофель – типичное «калийное» растение. При недостаточном калийном питании ослабевает синтез крахмала. Это обуславливает повышенную потребность картофеля в калии (Прокошев В.В., Дерюгин И.П., 2000; Пчёлкин В.У., 1966). При недостатке калия урожай картофеля снижается сильнее, чем урожай зерновых культур (Державин Л.М., 1992). Особенно важное значение имеет калийное питание картофеля в период формирования ботвы, образования и роста клубней (Гулякин И.В., 1970), а при длительном возделывании картофеля в бессменном посеве прибавка урожая клубней бывает в 3-4 раза больше от калия, чем от азота (Егоров В.Е., Бычков Г.Н., 1973). Поэтому наибольшее положительное действие калия наблюдается при сочетании допосадочного внесения калийных удобрений и припосадочном в дозе $N_{20}P_{20}K_{20}$ (Прокошев В.В., Дерюгин И.П., 2000).

При этом в качестве калийного удобрения предпочтительнее вносить формы с отсутствием хлора, отрицательно действующего на урожай и качество картофеля в основном на почвах с низким содержанием калия

(Афанасьев А.Н., 1937; Магницкий К.П., 1964; Панников В.Д., Минеев В.Г., 1987).

О необходимости внесения повышенных доз калийных удобрений (по сравнению с азотными и фосфорными) указывает тот факт, что на 10 т клубней при соответствующем количестве ботвы разные сорта картофеля выносят 60-90 кг K_2O (Ягодин Б.А., 1982; Ягодин Б.А., 1989; Гулякин И.В., 1970).

По результатам опытов Географической сети ВИУА, при внесении под картофель на дерново-подзолистой почве 60-120 кг/га калия удобрений на фоне навоза и азотно-фосфорных удобрений прибавки урожая картофеля варьировали от 2 до 19 ц/га, а на фоне азотно-фосфорных удобрений без навоза прибавки составили от 5 до 31 ц/га (Державин Л.М., 1992).

По данным результатов 461 полевого опыта агрохимической службы, обобщённых Державиным Л.М. (1992), действие калийных удобрений было достоверно на всех почвах опытов. В большинстве случаев, зависимость урожая картофеля от возрастающих доз калийных удобрений носила нелинейный характер.

Так, при внесении калийных удобрений на светло-серых, серых и тёмно-серых лесных почвах Предуральской провинции прибавки урожая клубней при внесении 60-90 кг/га калия составили 27,7-28,6 ц/га.

В опытах Бразджюте В. (1987) в среднем за 3 года (1978-1980) наибольшую прибавку урожая (6-9%) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве обеспечивала доза K_{90} , на супесчаных почвах – K_{120} (на фоне $N_{90}P_{90}$).

В опытах Humadi F.M. (1986), проводимых на пылеватых суглинках, максимальная урожайность картофеля была получена при внесении K_{300} – 295,2 ц/га. Однако максимальное содержание крахмала в клубнях было достигнуто при внесении K_{120} и составило 16,1%. Урожай при данной дозе был получен в размере 204,8 ц/га.

Fischer D von; Lauten H. (1988) считают возможным внесение калийных удобрений в дозах до 200 кг/га.

С целью получения максимальных урожаев сельскохозяйственных культур высокого качества необходимо внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в оптимальных соотношениях и количествах, поскольку исключение одного из элементов минерального питания растений (азота, фосфора или калия) приведёт к снижению урожайности сельскохозяйственных культур (Прошкин В.А., Смирнов А.П., 1994), а также при совместном применении с органическими удобрениями. Многие исследователи закладывали опыты, чтобы понять, какие дозы удобрений наиболее эффективны при внесении под картофель.

Ягодин Б.А. (1989) отмечает, что по результатам опытов агрохимслужбы, при внесении минеральных удобрений в норме $N_{120}P_{120}K_{90-120}$ на дерново-подзолистых почвах урожайность картофеля составляет 195-226 ц/га (прибавка 72-85 ц/га). На светло-серых и серых лесных почвах минеральные удобрения в норме $N_{120}P_{90-120}K_{120}$ обеспечивают урожай клубней 172-199 ц/га (прибавка 62-82 ц/га). На тёмно-серых лесных почвах урожайность картофеля 165-209 ц/га (прибавка 29-67 ц/га) обеспечивается при норме минеральных удобрений $N_{60-120}P_{60-120}K_{90-120}$.

В нормативах прибавок урожая картофеля от применения возрастающих доз минеральных удобрений, приведённых авторами Муха В.Д., Кочетов И.С., Муха Д.В. (1994), показано, что наибольшие урожаи картофеля от фосфорно-калийных удобрений 242 ц/га были достигнуты при внесении минеральных удобрений в средних дозах $N_{109}P_{104}K_{115}$, $N_{102}P_{98}K_{111}$, в результате чего прибавки достигали 76 ц/га.

Brkovic M. (1985) при проведении опытов с картофелем сортов Домачи црвени, Драчевка, Елица и Дезире показал, что наиболее продуктивным оказался сорт картофеля Домачи црвени, урожайность которого в контрольном варианте (без удобрений) составила 66,2 ц/га, а при

максимальной дозе полного минерального удобрения ($N_{120}P_{96}K_{84}$) – 134,9 ц/га. Остальные сорта картофеля также показали максимальный эффект при указанной дозе, однако их урожайность оказалась ниже: сорт Драчевка – 87,2 ц/га, Елица – 108,9 ц/га, Дезире – 82,0 ц/га.

Различные сорта картофеля неодинаково реагируют на разные виды и дозы удобрений. Так, Крылова О.С. (1991) показала, что на опыте, заложенном на дерново-подзолистой почве с сортами Добро и Темп, картофель сорта Добро лучше отзывался на внесение повышенных доз азотных удобрений (наиболее высокие прибавки обеспечивало внесение $N_{120}P_{120}K_{200-240}$ – 27-30% по сравнению с контролем), а картофель сорта Темп лучше отзывался на внесение повышенных доз калийных удобрений (наиболее высокие прибавки обеспечивало внесение $N_{80}P_{80}K_{120}$ – 30-37% по сравнению с контролем).

Vokal B.; Novotny J. (1986) описывают результаты работы научно – исследовательского селекционного института картофелеводства (Гавличкув – Брод), который с 1979 по 1984 года провел 2 серии опытов с картофелем. Установлено, что в 1 серии опытов наиболее высокий средний за 3 года урожай клубней получен в варианте с внесением $N_{240}P_{150}K_{200}$: сорт Ресы дал 504,6 ц/га, Карин – 379,5 ц/га, Боубин – 425,5 ц/га. Минимальные урожаи получены в варианте с внесением $N_{60}P_{150}K_{200}$: Ресы – 366,6, Карин – 342, Боубин – 368,9 ц/га. Во 2 серии опытов из 5 очень ранних и ранних сортов наиболее высокий средний урожай по всем сортам за 3 года получен в варианте с внесением $N_{160}P_{52}K_{133}$ – 324,1 ц/га. Из 3 полуранных сортов наиболее высокий средний урожай (402,8 ц/га) получен в варианте $N_{160}P_{52}K_{130}$, группе поздних – с внесением $N_{120}P_{78}K_{133}$.

О необходимости внесения минеральных удобрений в оптимальных дозах указывают Баранчикова В.В. и Блинников В.И. (1988) отмечают увеличение урожая картофеля с повышением доз до $N_{90}P_{60}K_{150}$ – $N_{120}P_{80}K_{200}$, а затем её снижение при увеличении дозы до $N_{150}P_{100}K_{250}$.

Вильдфлуш И.Р.; Персикова Т.Ф.; Цыганов А.Р. (2008) в опытах с картофелем в зернотравяно–пропашном севообороте (яровая пшеница + клевер, клевер, картофель, озимая пшеница, люпин) установили, что локальное внесение $N_{30}P_{30}K_{45}$ при посадке картофеля обеспечило такой же урожай клубней, как разбросное внесение $N_{60}P_{60}K_{90}$.

При внесении минеральных удобрений следует помнить, что высокие дозы вносимых минеральных удобрений снижают сохранность клубней картофеля (Молякко А.А., 2002), а также снижают качество продукции (Сопильняк Н.Т., 1972; Толстоусов В.П., 1987).

Картофель очень хорошо отзывается на внесение органических удобрений. Ягодин Б.А. (1989) пишет, что с точки зрения окупаемости наиболее оптимальной дозой для дерново-подзолистых почв является 40 т/га. Кроме того, на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава наблюдается наиболее сильное его действие на урожайность картофеля. Некоторые авторы отмечают преимущество внесения только органического удобрения (Верецагин Ю.И., 2001).

Например, Кузьмина И.В. и Михеева Т.В. (1987) отмечают, что в опытах с органическими удобрениями, вносимыми под картофель, лучший результат был отмечен в варианте с внесением $N_{80}P_{80}K_{90}$ + навоз, 40 т/га (урожайность картофеля составила 368 ц/га), а также в варианте с внесением одного навоза в дозе 40 т/га (урожайность картофеля составила 341 ц/га) и одного торфа в дозе 40 т/га (урожайность картофеля составила 337 ц/га).

Панков Н.В.; Сакара В.Н. (1985) вносили полупревший навоз КРС весной 1981 г. в дозах 40, 80, 160 и 320 т/га с заделкой плугом. Установлено, что внесение 40 т/га навоза обеспечивает увеличение урожайности картофеля сорта Приекульский ранний в 1,6 раза, сорта Филатовский – в 1,5 раза в сравнении с контролем (без внесения навоза). Увеличение дозы с 40 до 80 т/га способствует приросту урожайности на 12,4-24,2 ц/га, дальнейшее увеличение доз навоза не приводило к повышению урожайности картофеля.

Чумак В.А. и Блоха А.Д. (1985) отмечают, что внесение на подзолистой среднесуглинистой почве 80 т/га навоза повышало урожайность картофеля на 95 ц/га и сбор крахмала – на 5,8 ц/га по сравнению с вариантом без навоза.

В качестве органического удобрения возможно внесение соломы. Комаревцева Л.Г. (2008) пишет, что с увеличением доз минеральных удобрений возрастает урожайность, но снижается качество продукции: уменьшается содержание сухого вещества, крахмала, возрастает содержание азота, фосфора, нитратов. Заделка даже высоких норм минеральных удобрений на фоне соломы приводит к сглаживанию их отрицательного действия и получению более качественной продукции.

Федотова Л.С. и соавторы (2007) отмечают, что восполнение запасов органического вещества в почвах должно происходить за счет расширения посевов сидератов, многолетних трав, интродукции высокопродуктивных бобовых культур, введения в севообороты промежуточных культур, рационального использования соломы и жнивья зерновых предшественников, наряду с внесением органических удобрений и компостов. Сидераты снижают засоренность полей, улучшают фитосанитарную ситуацию и водно-физические свойства почвы, повышают продуктивность севооборота и качество продукции.

Многие авторы обращают внимание, что наибольший эффект от внесения минеральных удобрений может быть достигнут при совместном их применении с органическими удобрениями.

Так, результаты опытов ВИУА, проведенные в Нечерноземной зоне, (Мерзлая Г.Е. с соавторами, 1989) установили, что действие органических удобрений на урожай культур зависит от доз, способов и сроков их внесения, а также их сочетания с минеральными удобрениями. На дерново-подзолистых окультуренных почвах Смоленской области наибольший эффект получен при совместном внесении под картофель N₄₅₋₉₀ и 20-40 т/га навоза.

Куровская Я.А.; Шостак И.И. (1985) в опытах, проводимых с сортами картофеля Пригожий, Новинка и Комсомолец 20 на дерново-подзолистой супесчаной почве, высоко обеспеченной подвижным фосфором и среднеобеспеченной обменным калием, показали, что получение максимальных урожаев обеспечивало совместное внесение 50 т/га органических удобрений в сочетании с минеральными в дозах $N_{120}P_{120}K_{180-240}$ для раннеспелого сорта Пригожий и $N_{60}P_{60}K_{90}$ для сортов: среднеспелого сорта Новинка и позднеспелого сорта Комсомолец 20.

По результатам опытов с картофелем сорта Темп Шугля З.М. (1990) отмечал, что наибольший урожай клубней (296 ц/га) получен в варианте с внесением 40 т/га соломистого навоза + $N_{180}P_{90}K_{90}$. Фосфорно – калийные удобрения в высоких дозах ($P_{180}K_{180}$) на фоне навоза и азотных удобрений не способствовали повышению урожая картофеля. Объяснялось это тем, что при длительном применении высоких доз фосфорных и калийных удобрений увеличивалось содержание подвижного фосфора и обменного калия в почве.

Шеремет Н.И. с соавторами (1986) также отмечают преимущество совместного применения органических и минеральных удобрений. Отзывчивость сорта картофеля Зарево на внесение минеральных удобрений изучали на дерново-среднеподзолистой супесчаной почве, средне обеспеченной доступными формами фосфора и калия. Удобрения в форме аммиачной селитры, гранулированного суперфосфата, калимагнезии и подстилочного навоза вносили под весеннюю вспашку. Варианты внесения удобрений: контроль (без удобрений), фон (50 т/га навоза), фон + $N_{60}P_{60}K_{90}$, фон + $N_{90}P_{90}K_{90}$, фон + $N_{120}P_{90}K_{150}$, фон + $N_{150}P_{120}K_{180}$. Наиболее эффективным был вариант фон + $N_{60}P_{60}K_{90}$. При такой норме минеральных удобрений урожай превышал контроль на 60 ц/га.

Постников А.Н., Ключев Н.В., Полегаев В.И. (1992) пишут, что наибольший эффект от минеральных удобрений был достигнут при совместном их применении с органическими удобрениями. Так, внесение

30 т/га навоза и $N_{60}P_{90}K_{120}$ дало наибольший урожай картофеля – 322 ц/га. По сравнению с контролем без удобрений прибавка составила 133 ц/га, с внесением только минеральных удобрений в норме $N_{60}P_{90}K_{120}$ прибавка составила 69 ц/га и 61 ц/га по сравнению с вариантом, где вносили только 30 т/га навоза.

Завалин А.А.; Гремицких О.А. (1994) также отмечают улучшение продуктивности картофеля с внесением азотных, калийных и органических удобрений (в виде торфонавозного компоста).

1.2. Влияние основных агрохимических свойств почв на урожай картофеля

Почвы Центральной Нечерноземной зоны представлены в основном дерново-подзолистыми и серыми лесными типами почв.

Дерново-подзолистые почвы

Дерново-подзолистые почвы формируются в результате подзолообразовательного и дернового процессов, из которых под воздействием последнего в почвах происходит накопление гумуса, увеличения содержания питательных веществ и формирование структуры.

Для данных почв особенно преимущественно весной и осенью характерно периодическое избыточное увлажнение (Анспек П.И., 1981).

Дерново-подзолистые почвы имеют кислую реакцию (рН 4-5,5), значительную обменную кислотность (1-2 мг-экв/100 г почвы), большая часть которой в тяжелой почве обусловлена обменным алюминием, а также гидролитическую кислотность (3-6 мг-экв). Большая часть почв нуждается в известковании (Муравин Э.А., 2009; Ягодин Б.А., 1989).

Агрохимические свойства почв варьируют в зависимости от гранулометрического состава.

Для данных почв характерно низкое содержание гумуса. По данным разных авторов в пахотном слое дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв содержится 0,5-1,0% гумуса (Ягодин Б.А., 2004), суглинистых и глинистых почв – от 0,8-2,5% до 3-4% гумуса (Жежель Н.Г., Пантелеева Е.И., 1966; Панников В.Д., 1976; Ягодин Б.А., 1982).

Дерново-подзолистые почвы бедны элементами питания. Песчаные и супесчаные почвы содержат от 0,003-0,08% до 0,08-0,15% азота, от 0,03-0,06% до 0,03-0,6% фосфора и от 0,5-0,7% до 1,0% калия (Ягодин Б.А., 1982; Смирнов П.М., 1977; Ягодин Б.А., 2004; Панников В.Д., 1976).

Суглинистые и глинистые разности гораздо богаче по содержанию азота: от 0,05 до 0,1-0,2%, фосфора: от 0,04% до 0,07-0,12% и калия 1,5-2,5% (Ягодин Б.А., 1982; Ягодин Б.А., 2004; Смирнов П.М., 1977; Анспок П.И. и соавт., 1981; Жежель Н.Г. и соавт., 1966; Панников В.Д. и соавт., 1976).

С улучшением окультуренности дерново-подзолистых почв снижается кислотность, увеличивается почвенное плодородие, содержание гумуса и общего азота, а также подвижных форм фосфора и калия.

Вследствие достаточного увлажнения на дерново-подзолистых почвах высокоэффективно применение органических и минеральных удобрений. Среди минеральных удобрений лучший результат дают азотные, а на слабоокультуренных – и фосфорные. На песчаных и супесчаных почвах эффективны калийные удобрения (Муравин Э.А., 2009; Ягодин Б.А., 1989).

Серые лесные почвы

Серые лесные почвы характеризуются слабокислой реакцией (рН 4,8-6,0), невысокой обменной (до 1 мг-экв), но значительной гидролитической кислотностью (2-6 мг-экв/100 г почвы) (Муравин Э.А., 2009; Ягодин Б.А., 1989).

В отличие от дерново-подзолистых почв серые лесные почвы характеризуются большим содержанием гумуса и более мощным гумусовым

горизонтом. Серые лесные почвы содержат от 2-3% (Муравин Э.А., 2009; Ягодин Б.А., 1989) до 4-6% (Ягодин Б.А., 1982; Панников В.Д., 1976) и даже до 7% гумуса в тёмно-серой лесной почве (Ягодин Б.А., 2004).

В зависимости от мощности гумусового горизонта, содержания гумуса и развития признаков оподзоливания эти почвы подразделяют на светло-серые, серые и темно-серые, различающиеся по агрохимическим свойствам.

От светло-серых к темно-серым увеличивается мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, сумма обменных оснований и степень насыщенности основаниями, уменьшается кислотность. Серые лесные почвы обычно имеют невысокое содержание усвояемых форм азота, подвижного фосфора и калия, но оно может сильно колебаться в зависимости от степени окультуренности (Муравин Э.А., 2009; Ягодин Б.А., 1989).

С целью повышения плодородия серых лесных почв рекомендована борьба с эрозией, накопление и сохранение влаги, увеличение пахотного слоя с систематическим внесением органических и минеральных удобрений, а на светло-серых почвах с кислой реакцией – также известкование (Муравин Э.А., 2009; Ягодин Б.А., 1989; Анспок П.И., 1981).

Существенная роль для увеличения урожаев культур принадлежит азотным удобрениям, затем фосфорным удобрениям и слабее действующим калийным удобрениям, которые, однако необходимы картофелю (Муравин Э.А., 2009; Ягодин Б.А., 1989).

К основным агрохимическим показателям почвы, характеризующим питание растений и определяющим величину урожая, относят: реакцию почвенной среды, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия (Юхнин А.А., 1996; Ступаков А.Г., 2006; Аникст Д.М., 1988). При оценке и разработке мероприятий по увеличению плодородия почв необходимо учитывать тесную связь значений показателей плодородия почв.

Реакция почвенной среды

Дерново-подзолистые и серые лесные почвы имеют кислую и слабокислую реакцию почвенной среды, которая обусловлена почвообразовательным процессом. Важнейшая роль в данном процессе принадлежит почвообразовательным породам, выщелачиванию оснований из верхних слоёв почвы при промывном водном режиме, деятельности микроорганизмов, в результате которой происходит выделение в почву органических и минеральных кислот, растениям и микроорганизмам, которые в процессе своей жизнедеятельности выделяют углекислый газ, который, растворяясь в воде, образует угольную кислоту, физиологически кислым минеральным удобрениям, вносимым в почву, а также наличие в почве органических и неорганических коллоидов (Анспек П.И. и др, 1981).

Наличие в поглощённом состоянии большого количества ионов водорода и алюминия ухудшает физические, физико-химические и биологические свойства почв (Ягодин Б.А., 1982). Кроме того, кислотность почвы определяет уровень минерального питания культур, поскольку повышенное содержание в почвенном растворе алюминия и марганца в высоких концентрациях токсичны для растений. При избыточном количестве этих элементов замедляется рост корней и снижается поглощение растениями питательных веществ и воды (Державин Л.М., 1992).

Систематическое внесение фосфорных удобрений способствует ослаблению отрицательного действия повышенной почвенной кислотности, поскольку происходит снижение содержания подвижных форм железа и алюминия, которые при взаимодействии с фосфорной кислотой образуют нерастворимые соединения (Смирнов П.М., Петербургский А.В., 1975).

Наиболее благоприятной для питания растений фосфором является слабокислая реакция (рН 6), поскольку растворение трёхзамещённых фосфатов кальция и магния происходит при рН 6,5 и 10 соответственно

(Петербургский А.В., 1971). При рН ниже 5,8 фосфаты превращаются в менее доступные для растений формы.

Разные сельскохозяйственные культуры предъявляют разные требования к реакции почвенной среды. Картофель нуждается в известковании только на сильнокислых почвах. Он малочувствителен к кислой реакции и хорошо растёт на кислых почвах. Оптимальные значения рН почвы для картофеля находятся в интервале 4,5-6,3 (Ягодин Б.А., 1989; Державин Л.М., 1992).

Поскольку картофель, как правило, выращивается в севообороте, проводить известкование необходимо.

При известковании повышается обменное поглощение калия вследствие насыщения почвенного раствора кальцием, в результате чего содержание доступного для растений калия снижается. При известковании следует вносить повышенные нормы калийных удобрений, эффективность таких удобрений резко возрастает (Ягодин Б.А., 1989; Державин Л.М., 1992).

Zrust J.; Daniel J. (1985) пишут, что наибольшие урожаи картофеля получены на легких и средних почвах с рН -5,5-6,5, при температуре воздуха в наиболее теплые месяцы не более 18,5⁰С и количестве осадков 700-800 мм/год, равномерно распределенных в период вегетации. Для образования корневой системы во время вегетации необходимы слегка засушливые условия, но в период роста клубней нужна достаточная влажность, что подтверждено опытами, где урожай клубней был 440-576 ц/га.

К сожалению, исследований по изучению зависимости урожая картофеля от величины рН и её взаимодействия с другими агрохимическими показателями на дерново-подзолистых и серых лесных почвах проведено крайне недостаточно, несмотря на то, что результаты этих исследований помогут правильно разработать систему удобрений под картофель с учетом

реакции почвы в совокупности с содержанием основных элементов питания (подвижного фосфора и калия), находящихся в почве.

В опытах, проведённых на дерново-слабоподзолистой почве с рН 4,2-4,5 (Шорин В.М., 1984) известкование ухудшало калийное питание картофеля, но улучшало – гороха, овса и озимой пшеницы.

Однако в опытах на выщелоченном чернозёме (Муфзалова Р.М., 1992) систематическое применение известкования повышало эффективность минеральных удобрений, урожайность и общую продуктивность севооборота. Картофель в севообороте оказался одной из наиболее отзывчивых культур на применение повышенного фона удобрений ($N_{60}P_{80}K_{70}+6,6$ т навоза) с известью, прибавки составили 43,1%.

В опытах, описываемых Голубом С.Н. (1992), проводимых в 8-польном севообороте на кислых дерново-среднеподзолистых связно-песчаных почвах, изучали дозы внесения извести с внесением обычной и двойной доз минеральных удобрений. Установлено, что наиболее рациональной комплексной системой удобрений, обеспечивающей стабильную высокую продуктивность в полевом севообороте, насыщенном 38% зерновыми, 38% кормовыми, по 12% картофелем и льном, оказалась 1,5 нормы извести по гидролитической кислотности в сочетании с обычной дозой минеральных удобрений ($N_{55}P_{68}K_{75}$) на фоне 16 т/га навоза.

Известно, что избыточное известкование почв вызывает образование парши на клубнях.

Так, в опытах с картофелем сортов Эба и Камык (Fryscera I., 1988) рН 6,35-7,48 на легких почвах способствовал сильному поражению клубней паршой. В 1987 г. сорт Эба был высажен в 2 местах на легкой почве. На одном из участков клубни были сильно, а на другом – слабо поражены болезнью, при этом участок с сильным поражением клубней был произвесткован в 1985 г. и имел рН=6,6-7,2, участок со слабым поражением произвесткован в 1984 г., и рН его составлял 4,8-6,0. Отмечают, что при

повышении pH почвы увеличивается поражение паршой и устойчивых сортов картофеля – Остара, Сватана, Радка. Известкование после посадки картофеля не влияло на уровень поражения.

Также проводили полевой опыт с повторным известкованием (Колосова А.Ф., Удалова Л.П., 1987). Перед повторным известкованием pH почвы составлял 5,3-5,5. Картофель сорта Лошицкий выращивали на 7-й год после повторного известкования. В благоприятный год максимальный урожай картофеля при внесении извести из расчета 1,5 гидролитические кислотности составил 452 ц/га. Отмечено отрицательное действие повторного известкования на количество сильно и средне поражаемых паршой клубней.

Отмечается положительное влияние известкования на качество картофеля.

Так, в опытах Mercik S.; Stepien W. (1994) показано, что внесение по 1,6 т/га CaO раз в 4 года для поддержания оптимального pH 5,8-6,0 приводило к увеличению содержания в растениях молибдена и снижению содержания марганца, цинка, меди, алюминия и железа. За период проведения опытов прибавка урожая картофеля от известкования составила 28%.

Также известкование положительно сказалось на качестве картофеля в опытах, описываемых Pestova O.; Vedrna Z. (1990). В клубнях увеличилось содержание крахмала и витаминов C, однако повысился уровень нитратов.

Содержание подвижных форм фосфора и калия в почве

На содержание подвижных форм фосфора в почве прежде всего оказывает влияние внесение фосфорных удобрений. На урожай сельскохозяйственных культур и уровень плодородия почв оказывает примерно одинаковое действие внесение фосфорных удобрений

систематически, но в небольших количествах либо внесение удобрений в запас (Сдобникова О.В., 1971; Фрей П.И., 1972).

Высокий уровень содержания в почве подвижного фосфора особенно важен в ранние фазы развития растений. Недостаток фосфора в начальный период вегетации особенно сильно проявляется при неблагоприятных погодных условиях.

Накоплено достаточно значительное количество исследований по влиянию содержания подвижного фосфора на урожай различных сельскохозяйственных культур (Барашенко В.В., 1991; Дозорцева Н.В., 1991; Базильжанов Е.К.; Иванов А.Л., 1987; Гутиев И.О.; Хавкин Э.Е., 1989; Карастан Д.И.; Бабушкин Ю.В., 1989; Синявский И.В., 1999; Диброва М.А.). Однако связь урожая с уровнем содержания подвижных форм фосфора изучена недостаточно.

Державин Л.М. (1992) проанализировал зависимость урожая сельскохозяйственных культур от содержания в почве подвижного фосфора, а также связь между содержанием подвижных форм фосфора в почве с другими агрохимическими свойствами почв и климатическими условиями в опытах, проведённых агрохимической службой.

Оценка уравнений зависимости урожая озимой пшеницы от содержания подвижного фосфора в различных почвах основных природно-сельскохозяйственных зон и провинций по t -критерию говорила об их высокой достоверности.

Одним из важнейших показателей почвенного плодородия является также содержание обменного калия в почве.

Несмотря на большое количество исследований, связь урожая различных сельскохозяйственных культур с содержанием в различных почвах подвижных форм калия изучена недостаточно

С целью выявления зависимости между урожайностью культур и содержания в почве обменного калия, а также связи между содержанием

подвижного калия в почве с другими агрохимическими свойствами почв. Державин Л.М. (1992) обобщил результаты полевых опытов, проведённых агрохимической службой.

Анализ полученных данных показал наличие положительной связи урожайности культур с содержанием обменного калия в большинстве почв, по которым проведены исследования, которая выражалась достоверными коэффициентами регрессии.

На опытах с озимой пшеницей наибольшее влияние обменного калия установлено на дерново-подзолистой супесчаной почве Белорусской провинции.

Сычев В.Г. (2003) пишет, что изучать влияние таких факторов, как климатические условия и плодородие почвы на урожайность сельскохозяйственных культур можно только в совокупности друг с другом. Анализ данных по влиянию агрохимических свойств почв на урожайность картофеля, проведённый на основании результатов полевых опытов Агрохимслужбы, показал тесную корреляционную зависимость продуктивности со степенью окультуренности почв. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах получены высокие ($r = 0,68-0,77$) коэффициенты корреляции между урожаем картофеля и содержанием обменного калия.

О влиянии климатического фактора на урожай сельскохозяйственных культур отмечено и другими авторами (Богдевич И.М., Шаталова Р.В., 1985; Донос А.И., 1984; Абрамова Л.И., 1984).

В результате статистического анализа полевых опытов удобрениями (Кирикой Я.Т.; Платонова Л.С., 1985) установлена тесная связь между урожаем ранних сортов картофеля и содержанием подвижных форм фосфора и калия в почве (по Кирсанову). Значение коэффициента корреляции для содержания в почве подвижного фосфора составляет 0,869, для содержания подвижного калия – 0,871. Связь между урожаем поздних сортов картофеля и

содержанием подвижных форм питательных веществ в почве оказалась менее значимой.

Также проведены исследования (Кирикой Я.Т.; Диброва М.А.; Жукова Л.М.; Платонова Л.С. , 1988) по выявлению количественных связей между продуктивностью севооборотов, урожайностью отдельных сельскохозяйственных культур и содержанием подвижных форм фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах Европейской части страны. Массив опытных данных включал результаты исследований 15 учреждений Географической сети опытов с удобрениями. Корреляционный анализ показал, что на тяжело- и среднесуглинистых почвах обнаруживается достаточно тесная связь продуктивности севооборотов с содержанием подвижного фосфора ($r=0,66-0,79$) и менее тесная – с содержанием калия ($r=0,41-0,53$). На почвах легкого гранулометрического состава связь между продуктивностью севооборотов и содержанием подвижного фосфора не обнаружена, достоверная прямая зависимость продуктивности найдена от содержания обменного калия ($r=0,46-0,65$). Связь между урожаем картофеля с содержанием подвижного фосфора на тяжело- и среднесуглинистых почвах составила $r=0,56-0,70$. Получены достоверные коэффициенты корреляции между урожаями картофеля и содержанием обменного калия в почве.

Драгунов О.А. (1986) пишет, что в проведенных исследованиях заметное положительное влияние подвижного фосфора на урожайность различных сортов картофеля наблюдается при увеличении его содержания до 220-280 мг/кг. Существенный рост урожайности картофеля отмечается при увеличении содержания K_2O до 300-350 мг/кг, в особенности это относится к сорту Приекульский. Применение метода прямого учета урожая одновременным отбором почвенных проб на малых площадках в производственных и опытных посевах дает возможность всесторонне изучать характер зависимости продуктивности картофеля от свойств почв. На

дерново-подзолистой легкосуглинистой почве лучшими для роста и развития картофеля разных сортов являются следующие интервалы показателей: содержание гумуса – 3-4%, pH_{KCl} – 4,8-5,5, P_2O_5 – 200-300 и K_2O – 250-350 мг/кг почвы.

Войтович Н.В. (1996) в качестве оптимальных агрохимических показателей для дерново-подзолистых почв рекомендует следующие характеристики: pH_{KCl} – 5,6-6,4; содержание гумуса – 2,2-2,5%; содержание подвижного фосфора – 150-215 мг/кг почвы; содержание обменного калия – 160-209 мг/кг. Модели агрохимических показателей дерново-подзолистых почв разработаны на основе 165 опытов с удобрениями, проведенными с картофелем агрохимической службой в Нечерноземной зоне. Установлена тесная связь между агрохимическими показателями почв по величине комплексного балла и урожайностью картофеля: при оценке плодородия почвы в 17-21 балл урожайность картофеля составляла 120-130 ц/га; при оценке плодородия почвы в 80-86 баллов – 167 ц/га. Рост урожайности обусловлен увеличением более чем в 3 раза запасов подвижных форм фосфора и калия, увеличением содержания гумуса в 1,6-2 раза и снижением кислотности почвы.

Интересные исследования проведены Payton F.V.; Rhue R.D.; Hensel D.R. (1989) по изучению влияния доломитовой извести на доступность остаточных количеств фосфора в почве для картофеля. Варианты внесения извести соответствовали показателям pH 4,8, 5,8, 6,2 и 6,5 в условиях песчаной почвы. При pH 5,8 по мере увеличения доступного для растений фосфора в почве с 15 до 90 мг/кг урожай клубней картофеля увеличивался со 100 до 300 ц/га, а в дальнейшем темпы прироста урожая ослаблялись, и при увеличении содержания доступного фосфора в почве до 165 мг/кг урожай клубней картофеля составлял 350 ц/га. В варианте с pH 6,2 увеличение урожая клубней картофеля происходило по мере возрастания в почве доступного фосфора и достигало уровня 350 ц/га уже

при содержании фосфора порядка 90-95 мг/кг, при содержании фосфора 165 мг/кг почвы, урожай клубней составлял 400 ц/га. При удвоении дозы вносимой извести темпы нарастания урожая картофеля существенно не изменялись по сравнению с предыдущим вариантом, достигая уровня 350 ц/га при содержании фосфора 100 мг/кг почвы, на фоне уменьшения относительных приростов урожая при достижении рН 6,5.

Содержание гумуса в почве

К одному из важнейших факторов, влияющих на урожай сельскохозяйственных культур, относится гумус (Фрис В.А., 1987; Минина Т.Н., 1987), являющийся основным компонентом органического вещества почвы.

Гумус влияет на агрохимические, физико-химические, физико-механические и биологические свойства почв, а также на режимы питания и режимы свойств (Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., 1997).

Органическое вещество является необходимым источником содержащихся в нём элементов питания растений. Оно содержит почти весь запас азота, большую часть фосфора и незначительное количество калия (Смирнов П.М., Петербургский А.В., 1975).

Державин Л.М. (1992) осуществил комбинационную группировку результатов полевых опытов, проведённых агрохимической службой, для установления влияния на урожай озимой пшеницы гумусированности и обеспеченности почв подвижным фосфором и установил количественную связь урожая озимой пшеницы с содержанием гумуса и определил взаимодействие этого показателя с содержанием подвижного фосфора на почвах лесостепной и степной зон.

Проведенные Мининой Т.Н. и Ждановой В.В. (1989) опыты по изучению влияния параметров гумусового состояния дерново-карбонатной почвы на урожайность картофеля сорта Невский показали, что имеющиеся

связи между показателями хорошо аппроксимируются уравнениями параболы, при этом теснота связи урожайности возрастает с ростом устойчивости фракций гумусовых веществ. Наиболее тесная связь с урожайностью выявлена для органических веществ, переходящих в вытяжку 0,1 н NaOH.

1.3. Связь эффективности минеральных удобрений под картофель с агрохимическими свойствами почв

Изменение свойств почв связано с природной неоднородностью почвенного покрова (Докучаев В.В., 1983). Для каждого типа почв характерна своя система агрохимических показателей, которые указывают на почвообразовательный процесс, присущий именно этому типу почвы. В этой связи в каждой зоне урожай сельскохозяйственных культур связан, прежде всего, именно с этими свойствами почвы (Гаврилюк Ф.Я., 1967; Зубенко В.Ф., 1986; Кулаковская Т.Н., 1965).

Известно многостороннее действие агрохимических свойств почв на культуры. На разных по происхождению почвах сельскохозяйственные культуры по-разному относятся к агрохимическим свойствам почв даже при одинаковом их содержании (Петербургский А.В., 1955; Прянишников Д.Н., 1931). Важную роль играют биологические особенности культур (Авдонин Н.С., 1965; Лупинович И.С. и соавт., 1968; Петербургский А.В., 1955; Прянишников Д.Н., 1931; 166,82,95, Cociulescu G., 1971).

В литературе известно множество случаев, описываемых влияние агрохимических свойств почв на эффективность применения минеральных удобрений на типичных зональных почвах при высокой пестроте почвенного плодородия (Балтинь А.Э., 1970; Барбалис П.Д., 1970а; 1970б; 1970в; Вехов П.И., Хлыстовский А.Д., 1976; Доманов Н.М., 1995; Ельников Н.И., 1971; Ельников Н.И., 1973; Ильинский В.В., 1967).

Для посевных площадей России характерно широкое разнообразие природно-климатических зон. Причём в пределах каждой зоны встречаются поля, в которых в заметной степени варьируют агрохимические показатели почвы, которые необходимо учитывать при внесении минеральных удобрений (Кулаковская Т.Н., 1971; Мальцев В.Г., 2000; Почвенная и растительная диагностика.... 1986; Прошляков А.А., 1972; Милашенко Н.З.. 1993; Салмин Л.Н.. 1969; Чуб М.П., 1989; Шафран С.А., 2000).

Эффективность минеральных удобрений в данном случае может быть повышена как за счёт тщательного распределения структуры посевных площадей, так и за счёт применения точечного земледелия (Зверева Е.А., 1988; Попова М.В.; Сокорев Н.С., 1988; Сдобникова О.В., 1988; Черненко В.Г., 1987; Грицких В.П., 1987; Чуб М.П., 1986; Дозорцева Н.В., 1991; Пискунов А.С.; Дербенева Л.В., 1989).

В опытах с картофелем сортов Детскосельский, Лощицкий, Темп (Кирикой Я.Т. и соавторы, 1988) по изучению влияния комплекса факторов на урожай картофеля наибольший эффект был достигнут при внесении азотных удобрений в дозе $N_{100-200}$ и повышении содержания подвижного фосфора в почве с 50 до 80 мг/кг: урожай картофеля возрастал со 170 до 250 ц/га. На неудобренных дерново-подзолистых почвах с низким содержанием подвижных форм фосфора и калия (80-100 мг/кг) урожай картофеля колебался от 54 до 164 ц/га.

По данным результатов 468 полевых опытов агрохимической службы, обобщённых Державиным Л.М. (1992), при внесении фосфорных удобрений установлена количественная зависимость прибавок урожая картофеля от содержания в почве подвижного фосфора, реакции почвенной среды, количества осадков и суммы активных температур.

Так, на светло-серых и серых лесных почвах Средне-Русской провинции лесостепной зоны действие фосфорных удобрений находилось в прямой зависимости от количества осадков за вегетационный период и в

обратной – от величины рН. С увеличением количества осадков за вегетационный период с 200 до 300 мм наблюдалось увеличение прибавки урожая картофеля от внесения фосфорных удобрений в дозе P_{120} на 8,7 ц/га. А вот с увеличением рН 0,5 действие фосфорных удобрений (P_{120}) снижалось: с увеличением величины рН на 0,5 наблюдалось снижение прибавки урожая на 8,3-8,4 ц/га.

Также изучалась зависимость прибавок урожая картофеля при внесении фосфорных удобрений (в дозах 60, 90 и 120 кг/га) от суммы активных температур за вегетационный период и содержания подвижного фосфора в тёмно-серой лесной почве и оподзоленном чернозёме Предуральской провинции лесостепной зоны.

Выяснили, что при повышении суммы активных температур за вегетационный период на 50°C с увеличением вносимых доз фосфорных удобрений наблюдалось увеличение прибавок урожая картофеля на 3,6-5,1 ц/га. При увеличении содержания в почве подвижного фосфора на 25 мг/кг (по Кирсанову) прибавки урожая картофеля снижались: при внесении P_{60} – на 9,1 ц/га, P_{90} – 12,0-12,1 ц/га, P_{120} – 13,4-14,6 ц/га.

Обработка многолетних полевых опытов (Листова М.П. с соавт., 1988) показала, что фактором, лимитирующим урожай картофеля на естественном фоне явился уровень содержания питательных элементов в почве и режимом влагообеспеченности, на фоне навоза урожай ограничивался содержанием подвижного фосфора и обменного калия, а на минеральном и органо-минеральном фоне – содержанием обменного калия.

На основе данных полевых опытов, анализов почвенных и растительных проб и проведенного почвенного картирования разработаны рекомендации по применению фосфорных удобрений (Nilsson L.G., 1989). На почвах с низким содержанием подвижных форм фосфора (<20 мг/кг почвы) дозы фосфорных удобрений варьируют в пределах $P_{100-120}$. На почвах с

высоким содержанием фосфора (40-80 и 80-160 мг/кг почвы) дозы фосфорных удобрений уменьшаются в 1,5-2 раза.

Результаты многолетних опытов, проводимых на Ротамстедской опытной станции (Johnston A.E.; Lane P.W.; Mattingly G.E.G., 1986), показали влияние удобрения суперфосфатом на урожай картофеля. Показано, что средний урожай картофеля 430 ц/га получен при содержании в почве растворимого фосфора 25 мг/кг. Удобрение суперфосфатом влияло на урожай картофеля при трех уровнях растворимого фосфора в почве: 9, 15 и 25 мг/кг. Так, прибавка урожая клубней картофеля от внесения P_{55} составила соответственно уровням фосфора 39, 21 и 18 ц/га. На почве с содержанием растворимого P 210 мг/кг даже высокие дозы суперфосфата не обеспечивают урожай, который получен на почвах с содержанием подвижного фосфора 25 мг/кг без удобрения.

По данным результатов 461 полевого опыта агрохимической службы, обобщённых Державиным Л.М. (1992), при внесении калийных удобрений установлена количественная зависимость прибавок урожая картофеля от содержания в почве обменного калия и количества осадков за вегетационный период на дерново-подзолистой почве Белорусской провинции.

Действие калийных удобрений находилось в прямой связи с количеством осадков за вегетационный период и в обратной зависимости от содержания обменного калия в почве.

Наибольшая прибавка урожая картофеля (56 ц/га) наблюдалась при максимальном количестве осадков за вегетационный период (350 мм), минимальном содержании обменного калия в почве (50 мг/кг) и при максимальной дозе калийного удобрения – K_{120} .

При увеличении количества осадков за вегетационный период на 50 мм прибавки урожая картофеля повышались на 11 ц/га. Увеличение содержания обменного калия в почве с 50 до 150 мг/кг (по Кирсанову) снижало прибавки урожая клубней от внесения K_{120} на 22 ц/га.

В опытах с картофелем сортов Детскосельский, Лощицкий, Темп (Кирикой Я.Т. и соавторами, 1988) установлен линейный характер действия калийных удобрений на урожай картофеля.

В опытах, проведённых на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (Авдонин Н.С., Соловьёв Г.А., 1978), изучалась связь степени окультуренности почв (слабоокультуренная, среднеокультуренная и хорошоокультуренная почва) с урожайностью картофеля сорта Лорх. В течение трёх лет проведения опыта выявлена прямая зависимость величины урожая от степени окультуренности. Так, средний урожай по опыту на слабоокультуренной почве составил 121,4 ц/га, на среднеокультуренной – 178,6 ц/га, а на хорошоокультуренной – 258,5 ц/га. Прибавка урожая от полного минерального удобрения ($N_{100}P_{80}K_{120}$) на слабоокультуренной почве составила 48,1 ц/га, на среднеокультуренной – 76,1 ц/га, на хорошоокультуренной – 83,8 ц/га.

Соловьёв Г.А., Тимохина Л.М., Лебедев В.Н. (1978) в условиях описанного выше опыта также определяли связь степени окультуренности почв и применяемых удобрений на содержание витамина С в клубнях картофеля. Показано, что с понижением уровня окультуренности почвы содержание витамина С в урожае несколько повышается, но выход его с урожаем снижается. На почвах, слабообеспеченных азотом, азотные удобрения благоприятствуют синтезу этого витамина, а на хорошообеспеченных – снижают. Внесения калия и фосфора вместе с азотом повышало содержание и накопление витамина картофелем на всех почвах по сравнению с одним азотом. Наибольшее накопление витамина С отмечено на хорошо- и среднеокультуренной почвах. Полное минеральное удобрение ($N_{100}P_{80}K_{120}$) на всех почвах способствовало максимальному накоплению витамина в клубнях.

В многолетних опытах с выращиванием озимой пшеницы, картофеля, ячменя и вико-овсяной смеси (Коровяковский О.П. и др., 1994) различия в

действии сложных NPK-удобрений обнаруживались на фоне с очень низким содержанием подвижного фосфора в почве. Оптимальное содержание фосфора в почве составило 100-150 мг/кг.

В настоящее время одной из важнейших задач в сельскохозяйственном производстве является поддержание и постепенное увеличение объема производимой продукции. Однако в связи со снижением количества вносимых минеральных удобрений необходимо более полно использовать имеющийся почвенный потенциал. Определив эффективность минеральных удобрений от основных агрохимических свойств почв, можно снизить затраты на применение минеральных удобрений и вносить их с учетом данных агрохимической оценки почвы конкретного поля.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2. Эффективность применения минеральных удобрений под картофель на дерново-подзолистых и серых лесных почвах Центрального федерального округа

2.1. Эффективность азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах

В ходе исследований было обработано около 140 наблюдений на дерново-подзолистых почвах с различным гранулометрическим составом. Характеристика выборок почв, по которым выполнены расчеты, приведена в таблице 2.1.

Полученные данные характеризуются широким диапазоном значений по каждому агрохимическому показателю.

Таблица 2.1

Характеристика выборок дерново-подзолистых почв на опытах с внесением азотных удобрений

Почва	Число наблюдений, n	Гумус, %	pH _{KCl}	N л.г. по Корнфилду	P ₂ O ₅	K ₂ O	Доза азота, кг/га	Прибавка урожайности, ц/га	Окупаемость, кг/кг
Супесчаная	48	1,9... 2,2	4,1... 6,4	56... 123	50... 241	30... 205	60... 150	13... 25	11... 36
Средне- и тяжело суглинистая	90	1,6... 2,0	3,0... 6,5	13... 140	34... 325	38... 252	60... 150	6... 74	10... 108

При изучении общих закономерностей влияния агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений необходимо установить меру влияния вариации агрохимических свойств почв на

величину прибавки урожая. Это связано с тем, что на отдельных типах почв степень варьирования агрохимических свойств проявляется по-разному (Прошкин В.А., Швыркина С.В., 2013).

Результаты статистического анализа зависимости эффективности азотных удобрений под картофель от агрохимических свойств дерново-подзолистых почв приведены в таблице 2.2 (Доспехов Б.А., 1985).

Таблица 2.2
Связь прибавки урожая картофеля от азотных удобрений
с агрохимическими свойствами дерново-подзолистых почв

Аргументы системы	Корреляция						Критерий линейности корреляции	
	Линейная			Криволинейная			Fф	Fт
	коэффициенты		уровень значимости	корреляционное отношение	индекс детерминации	уровень значимости		
	корреляции	детерминации						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Супесчаные								
Гумус	0,23	0,05	0,200	0,63	0,40	0,001	25,7	251
pH	-0,31	0,10	0,050	0,33	0,11	0,001	0,6	251
N л.г.	-0,25	0,06	0,100	0,66	0,44	0,001	3,0	3,8
P ₂ O ₅	0,29	0,08	0,100	0,56	0,31	0,001	2,1	3,8
K ₂ O	0,44	0,19	0,010	0,52	0,27	0,001	0,9	4,5
Дозы	0,15	0,02	0,400	0,73	0,53	0,001	9,0	4,5
Средне- и тяжелосуглинистые								
Гумус	0,17	0,03	0,100	0,32	0,10	0,001	7,6	253
pH	-0,37	0,14	0,001	0,35	0,12	0,001	-	-
N л.г.	-0,67	0,45	0,001	0,85	0,72	0,001	8,0	2,6
P ₂ O ₅	0,43	0,18	0,001	0,58	0,34	0,001	1,8	2,6
K ₂ O	0,34	0,12	0,001	0,47	0,22	0,001	6,1	19,5
Дозы	0,32	0,10	0,010	0,52	0,27	0,001	4,8	5,7

Влияние вариации содержания гумуса в почве на изменчивость величины прибавки урожая картофеля от азотных удобрений при возделывании на дерново-подзолистых почвах незначительно (табл. 2.2). Связь между признаками проявляется как линейная по форме и слабая по тесноте: $r = 0,23$ (дерново-подзолистые супесчаные почвы) и $r = 0,17$ (дерново-подзолистые средне- и тяжелосуглинистые почвы).

Криволинейная корреляция в данном случае характеризуется как средняя по тесноте – значения корреляционного отношения составили на дерново-подзолистых супесчаных почвах 0,63, на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах 0,32.

Вместе с тем, определение степени приближения криволинейной зависимости к прямолинейной по критерию линейности корреляции указывает на то, что гипотеза криволинейности корреляции отвергается – F_f и в том, и другом случае меньше F_t . Линейность значима на 5%-ном уровне.

Таким образом, исходя из весьма низких значений коэффициентов детерминации и невысокого уровня значимости связи, можно констатировать отсутствие зависимости между вариацией содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах и эффективностью азотных удобрений под картофель.

Статистический анализ зависимости эффективности удобрений под картофель от реакции почвенной среды (табл. 2.2) свидетельствует, что на дерново-подзолистых почвах влияние данного фактора на изменчивость величины прибавки урожая картофеля, как правило, незначительно. Так, значения коэффициентов детерминации в этом случае не превышало 0,10-0,14, индекса детерминации 0,11-0,12. Другими словами, 86-90% вариации величины прибавки урожая картофеля определяются изменчивостью прочих факторов системы, а не реакцией почвенной среды.

Результаты корреляционной зависимости (табл. 2.2), характеризующей влияние обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом на эффективность азотных удобрений под картофель на дерново-подзолистых почвах, показали наличие обратной по направлению ($r = -0,25...-0,67$), криволинейной по форме, сильной по тесноте ($\eta = 0,66...0,85$) и достоверной по значимости ($t = 0,001$) связи. Графическая интерпретация указанной зависимости иллюстрируется рисунками 1,2.

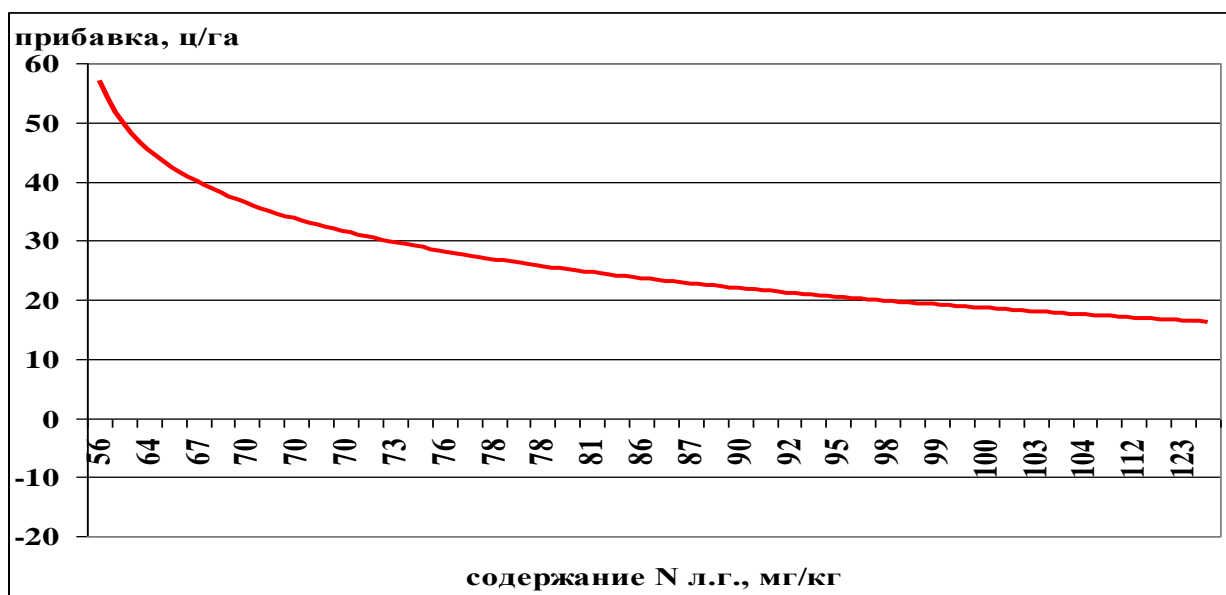


Рисунок 1

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от содержания легкогидролизуемого азота в дерново-подзолистых супесчаных почвах

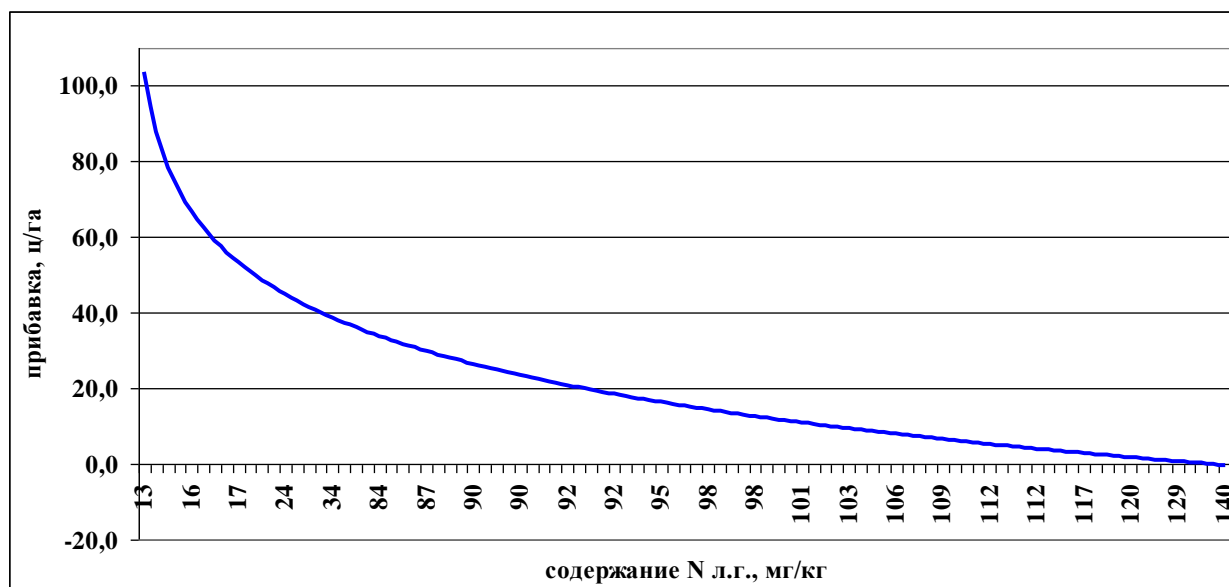


Рисунок 2

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от содержания легкогидролизуемого азота в дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах

Зависимость эффективности азотных удобрений под картофель на дерново-подзолистых почвах от степени обеспеченности почв подвижным фосфором (табл. 2.2) проявляется как средняя по тесноте связь между изучаемыми признаками (значения корреляционного отношения составляют 0,29...0,43). При этом можно отметить довольно высокие значения индексов детерминации, которые свидетельствуют, что более трети изменчивости прибавки урожая картофеля (31-34%) обусловлены вариацией содержания подвижного фосфора в почве. По направлению связь прямая ($r = 0,29...0,43$). Графическая интерпретация указанной зависимости иллюстрируется следующими рисунками 3,4.

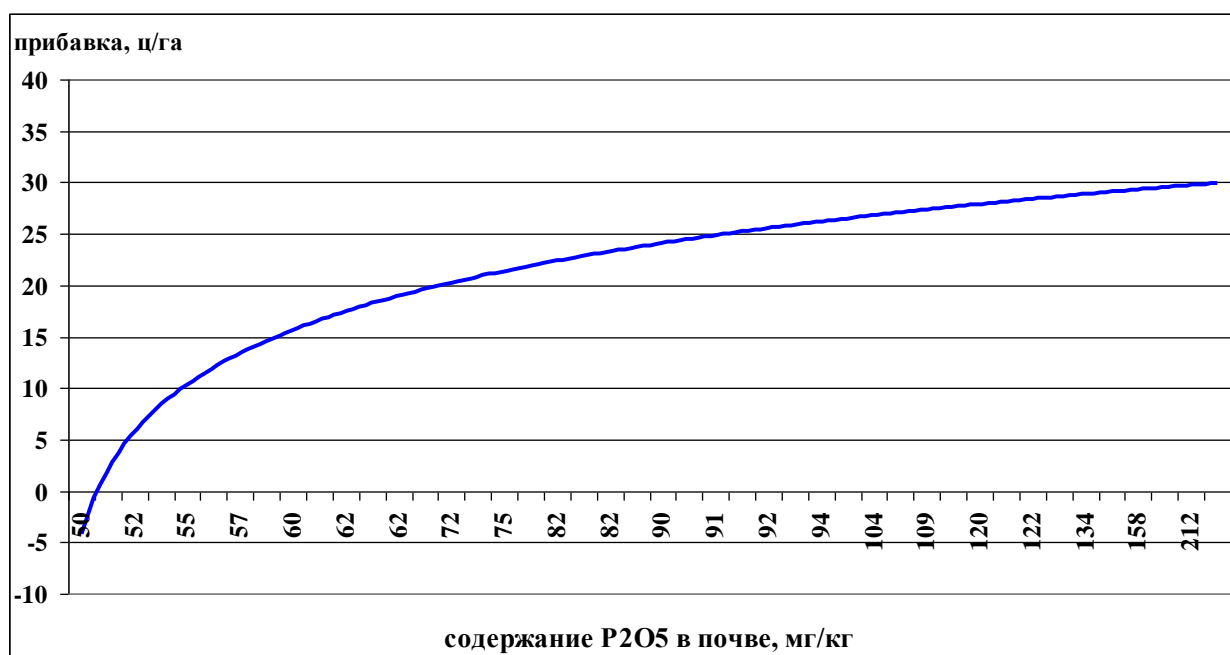


Рисунок 3

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости
от содержания подвижного фосфора
в дерново-подзолистых супесчаных почвах

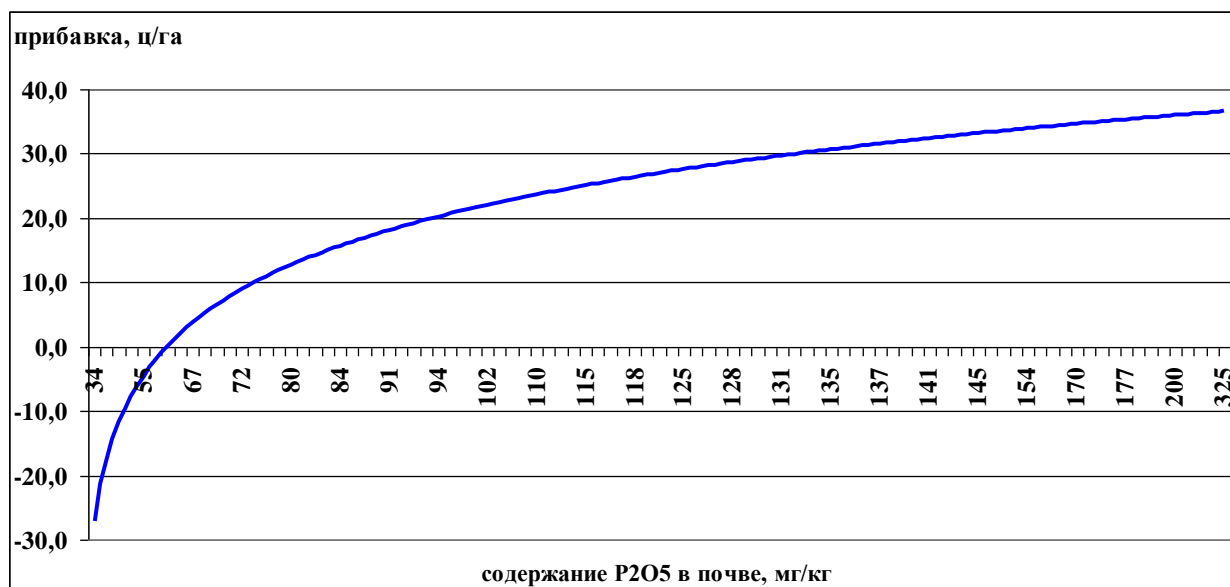


Рисунок 4

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах

Зависимость эффективности азотных удобрений, вносимых под картофель на дерново-подзолистых почвах, от содержания подвижного калия в почве (табл. 2.2), проявляется как средняя по тесноте, прямая по направлению. Так, коэффициенты корреляции колеблются в интервале 0,34...0,44, а корреляционных отношений – 0,47...0,52 при уровне значимости 0,010...0,001. Оценка степени приближения криволинейной зависимости к прямолинейной свидетельствует о преимуществе последней для описания связи между признаками. В обоих случаях (супесчаные почвы, средне- и тяжелосуглинистые почвы) $F_f < F_t$ (рис. 5,6).

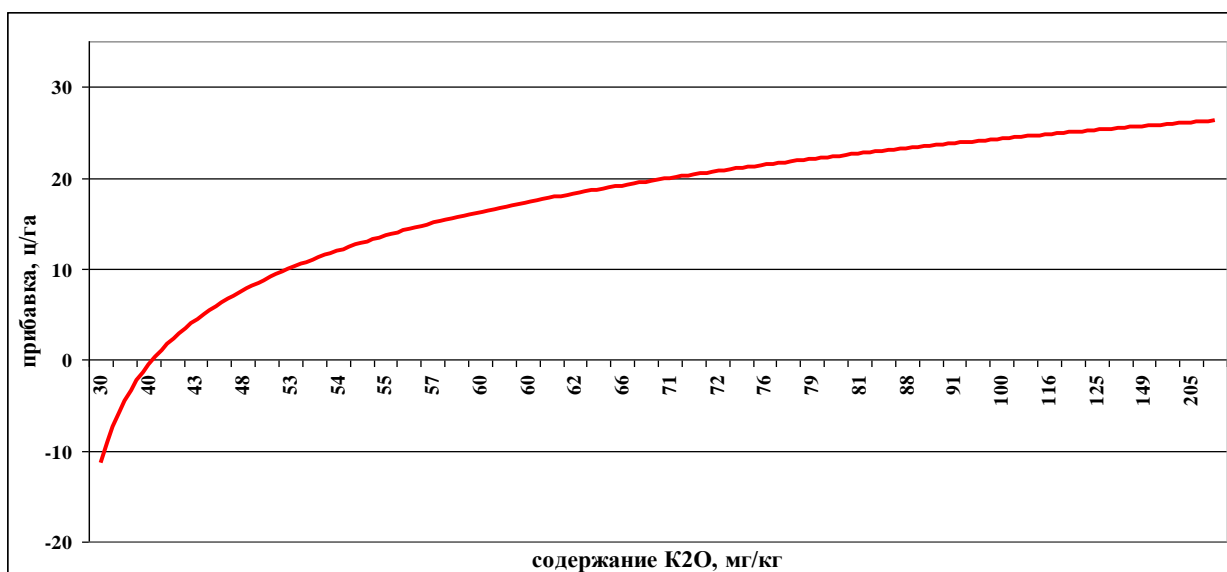


Рисунок 5

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах

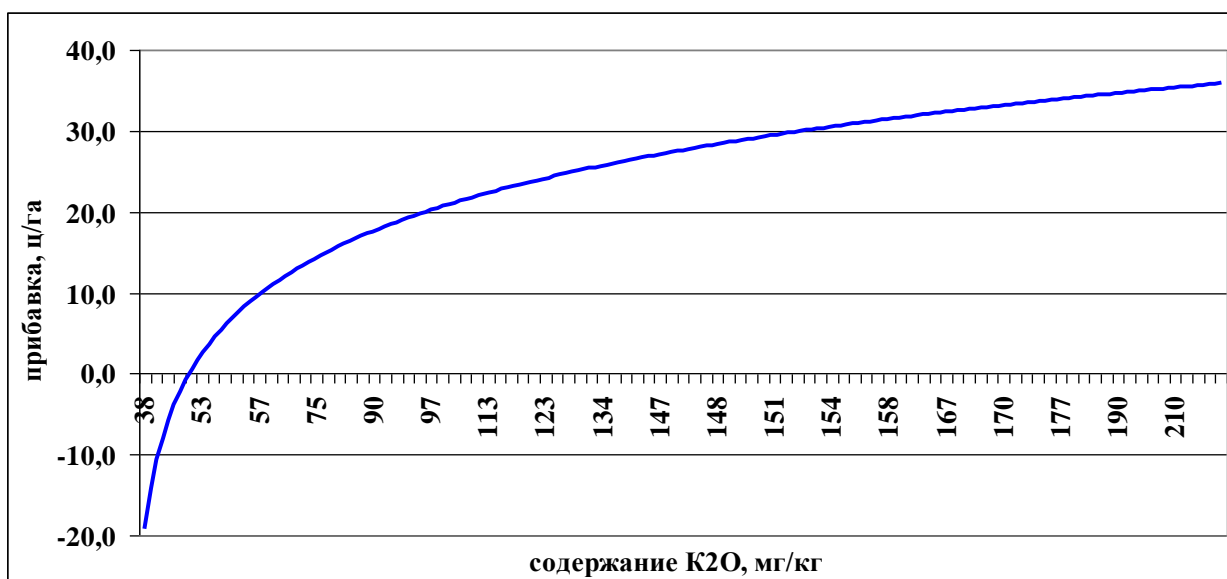


Рисунок 6

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах

Зависимость между дозами азота и величиной прибавки урожая от азотных удобрений при возделывании картофеля на дерново-подзолистых почвах во всех случаях проявляется как прямая по направлению,

криволинейная по форме. Этот факт подтверждается оценкой связи по критерию линейности корреляции ($F_f > F_t$) и графической интерпретацией связи между признаками (рисунки 7,8)

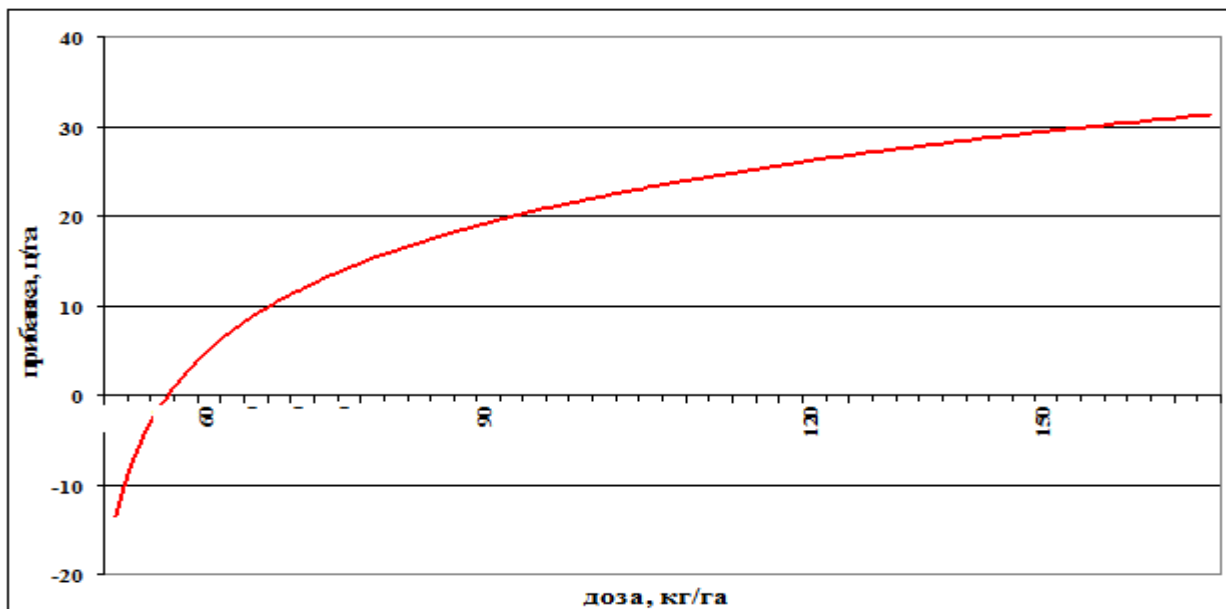


Рисунок 7

Прибавка урожая картофеля в зависимости от доз азотных удобрений в дерново-подзолистых супесчаных почвах

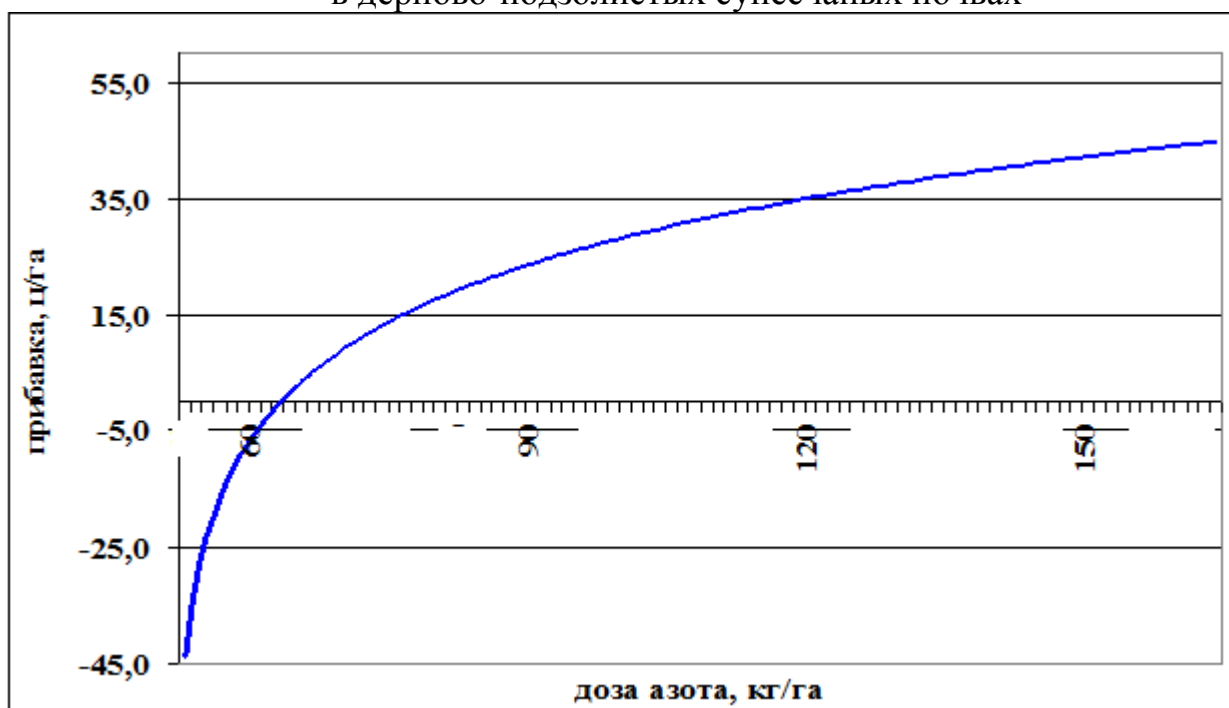


Рисунок 8

Прибавка урожая картофеля в зависимости от доз азотных удобрений в дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах

Выявленные особенности между аргументами системы и результивным признаком, могут быть использованы как теоретическое обоснование для разработки математических моделей прогноза прибавки урожая в зависимости от конкретной агрохимической ситуации и доз минеральных удобрений (Адрианов С.Н. и соавт., 2012; Прошкин В.А.. 2012; Прошкин В.А. и соавт., 2011).

Таким образом, по результатам корреляционного анализа обработанного материала можно констатировать, что модель прогноза эффективности азотных удобрений под картофель на дерново-подзолистых почвах должна учитывать сведения о влиянии вариации таких факторов, как:

- содержание легкогидролизуемого азота в почве;
- содержание подвижных форм фосфора в почве;
- содержание подвижных форм калия в почве;
- дозы азота.

Согласно литературным данным (Прошкин В.А., 2012), учет влияния указанных факторов системы может быть реализован при использовании концептуальной динамической модели. При этом при разработке модели могут быть использованы уравнения регрессии. Поэтому в самом общем виде алгебраически модель может быть представлена алгоритмом последовательности расчета, учитывающим выявленные особенности корреляционных связей факторов системы.

В качестве примера показана формула прогноза эффективности азотных удобрений при возделывании картофеля на дерново-подзолистых почвах:

$$Y = (A + b/X_1) + (A + b/X_2) + (A + b/X_3) + (A + b/X_4), \text{ где}$$

X_1 – обеспеченность почв легкогидролизуемым азотом,

X_2 – содержание в почве подвижного фосфора,

X_3 – содержание в почве подвижного калия и

X_4 – дозы азота.

Указанная модель позволила определить долю участия каждого из аргументов системы и их взаимодействие в формировании прибавки урожая картофеля.

Отправной точкой в расчетах явилась прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в интервале низкого содержания легкогидролизуемого азота в почве (<50 мг/кг). В нашей выборке она составила 25 ц/га для дерново-подзолистых супесчаных почв и 74 ц/га для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв.

Принимая указанную величину прибавки урожая картофеля за 100%, в соответствии с предлагаемым Т.Н. Кулаковской методом комплексной оценки (Кулаковская Т.Н., 1978), рассчитали вклад каждого из них в формирование прибавки урожая.

Расчет вклада факторов осуществлялся по следующей формуле:

$$ОВФ1 = \eta\Phi1 * 100 / \sum (\eta\Phi1 + \eta\Phi2 + \eta\Phi3 + \eta\Phi4), \text{ где}$$

ОВ – относительный вклад фактора, %;

η – индекс детерминации

$\Phi1 \dots \Phi4$ – изучаемые факторы.

Количественный вклад изучаемых факторов определялся по величине их относительного вклада и прибавке урожая по формуле:

$$КВ = П * ОВ, \text{ где}$$

КВ – количественный вклад, ц/га;

П – прибавка урожая, ц/га.

Расчеты по определению относительного и количественного вкладов в формирование прибавки урожая картофеля выполнялись отдельно по каждому фактору. В таблице 2.3 приведены результаты расчетов.

Таблица 2.3

Факторы модели и их вклад в формирование
прибавки урожая картофеля

Факторы	Корреляционное отношение	Относительный вклад, %	Прибавка урожая, ц/га	Количественный вклад, ц/га
супесчаные почвы				
Содержание легкогидролизуемого азота	0,62	26	25,0	6,54
Содержание P ₂ O ₅ в почве	0,50	21		5,27
Содержание K ₂ O в почве	0,52	22		5,49
Дозы азота	0,73	31		7,70
Σ	2,37	100		25,00
средне- и тяжелосуглинистые почвы				
Содержание легкогидролизуемого азота	0,85	35	74,0	25,90
Содержание P ₂ O ₅ в почве	0,58	25		18,50
Содержание K ₂ O в почве	0,47	19		14,06
Дозы азота	0,52	21		15,54
Σ	2,42	100		74,00

Следующим этапом явился учет и количественная оценка изучаемых факторов системы в формировании прибавки урожая картофеля. Для этого в соответствии с приведенным выше алгоритмом выводились уравнения регрессии отдельно для каждого фактора системы.

Уравнения регрессии, используемые в моделях прогноза эффективности азотных удобрений под картофель при возделывании его на дерново-подзолистых почвах приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Уравнения регрессии. Дерново-подзолистые почвы

Аргументы системы	супесчаные почвы	средне- и тяжелосуглинистые почвы
Легкогидролизуемый азот	$Y=783,2444/X - 3,5654$	$Y = 34,1744 + 0,0024X^2 - 0,5487X$
P_2O_5	$Y= 10,7443 - 427,9866/X$	$Y = 0,276X - 0,00056X^2 - 15,03834$
K_2O	$Y = 10,2286 - 413,7099/X$	$Y = 0,2233X - 0,0005X^2 - 10,2757$
Дозы азота	$Y = 14,9384 - 511,8162/X$	$Y = 0,1212X - 0,0000689X^2$

По уравнениям регрессии последовательно рассчитывался вклад отдельных факторов изучаемой системы с учетом их вариации в пределах общепринятых градаций (таблица 2.5).

Таблица 2.5

Вклад факторов в формирование прибавки урожая картофеля от азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах

Факторы	Градация	супесчаные почвы	средне- и тяжело-суглинистые почвы
Легкогидролизуемый азот (X_1), мг/кг	<50	–	26,0096
	50-75	6,5405	9,2557
	76-100	4,6264	4,5382
	>100	3,2692	4,3964
P_2O_5 (X_2), мг/кг	<50	3,2487	-5,359
	51-100	4,0587	2,5117
	101-150	4,6463	10,7117
	>150	5,2743	17,7617
K_2O (X_3), мг/кг	<80	2,2269	0,6611
	81-120	4,0695	7,0543
	120-170	4,9273	11,5903
	170	5,4852	14,6333
Доза азота (X_4), кг/га	60	4,2812	6,2683
	90	6,1808	9,5943
	120	7,1306	12,7962
	150	7,7005	15,8741

На основании прогнозируемого вклада факторов в формирование прибавки урожая картофеля выполнена табличная интерпретация модели. В данном случае табличная интерпретация модели может быть представлена как выходная информация. Такая информация, характеризующая

изменчивость прибавки урожая картофеля от азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах в зависимости от вариации значений агрохимических свойств почвы и доз азота, представлена в табл. 2.6-2.9, прил. 1-4

Таблица 2.6

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений
на дерново-подзолистых супесчаных почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O		60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота 51-75 мг/кг						
<50	<80	78	16	18	19	20
	>170	117	20	21	22	23
>150	<80	93	18	20	21	22
	>170	141	22	23	24	25
Содержание легкогидролизуемого азота 76-100 мг/кг						
<50	<80	95	14	16	17	18
	>170	143	18	20	20	21
>150	<80	114	16	18	19	20
	>170	172	20	22	23	23
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг						
<50	<80	109	13	15	16	16
	>170	164	16	18	19	20
>150	<80	130	15	17	18	18
	>170	197	18	20	21	22

Приведённые данные говорят о том, что по мере увеличения содержания в почве подвижных форм фосфора и калия возрастает прибавка урожая картофеля и окупаемость азотных удобрений. На дерново-подзолистых супесчаных почвах указанная закономерность менее выражена по сравнению с дерново-подзолистыми средне- и тяжелосуглинистыми почвами. Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия на супесчаных почвах способствовало приросту прибавки урожайности на 4-6 ц/га, а на средне- и тяжелосуглинистых почвах – на 37 ц/га. При этом увеличение содержания подвижного калия в почве приводят к более заметным изменениям величины прибавки урожая картофеля, чем при изменении содержания подвижного фосфора в почве (табл. 2.6).

Повышение дозы азота с 60 до 150 кг/га при содержании подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг способствует приросту прибавки урожая с 22 до 25 ц/га и снижению окупаемости с 36 до 17 кг/кг.

Увеличение степени обеспеченности почв легкогидролизуемого азота способствовало снижению эффективности азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах (табл. 2.6,2.7). Так, с увеличением содержания легкогидролизуемого азота в почве (при наибольшем содержании подвижных форм фосфора и калия) прибавка урожая картофеля снижается с 22 до 18 ц/га при дозе азота 60 кг/га и с 25 до 22 кг/га при дозе азота 150 кг/га.

Таблица 2.7

Окупаемость азотных удобрений
на дерново-подзолистых супесчаных почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅ ,	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота 51-75 мг/кг					
<50	<80	27	20	16	13
	>170	33	24	19	15
>150	<80	31	22	18	14
	>170	36	26	20	17
Содержание легкогидролизуемого азота 76-100 мг/кг					
<50	<80	24	18	14	12
	>170	29	22	17	14
>150	<80	27	20	16	13
	>170	33	24	19	15
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг					
<50	<80	22	17	13	11
	>170	27	20	16	13
>150	<80	25	19	15	12
	>170	31	22	18	14

Возрастание доз азотных удобрений приводило к снижению окупаемости удобрений. Так, при содержании подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и содержании легкогидролизующего азота <75 мг/кг окупаемость азотных удобрений снижалась с 36 до 17 кг/кг, а при содержании легкогидролизующего азота >100 мг/кг при прочих равных условиях окупаемость азотных удобрений снижалась с 31 до 14 кг/кг.

С увеличением содержания легкогидролизующего азота в почве также снижается окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая картофеля: при наибольшем содержании подвижных форм фосфора и калия при дозе азота 60 кг/га окупаемость снижалась с 36 до 31 кг/кг, а при дозе азота 150 кг/га – с 17 до 14 кг/кг.

Так, одновременное увеличение доз азотных удобрений и степени обеспеченности почв легкогидролизующим азотом способствовало снижению окупаемости азотных удобрений в 2,5-2,6 раз (табл. 2.7).

При этом, с увеличением содержания подвижных форм фосфора и калия в почве, а также степени обеспеченности почв легкогидролизующим азотом отмечался прирост урожая картофеля в контрольном варианте. При содержании в почве подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизующего азота >100 мг/кг при дозе азота N_{150} урожай картофеля достигал 219 ц/га (табл. 2.6). На дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах (табл. 2.8,2.9) эффективность азотных удобрений выше, чем на дерново-подзолистых супесчаных почвах (табл. 2.6,2.7). Это может быть связано с тем, что Нечернозёмная зона относится к зоне с промывным водным режимом (Анспек П.И., 1981), при котором нитратный азот удобрений на супесчаных и средне- и тяжелосуглинистых почвах теряется в результате вымывания, а аммонийный обменно закрепляется в почвенно-поглощающем комплексе дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв, имеющих большую по сравнению с супесчаными почвами ёмкость поглощения.

Таблица 2.8

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений
на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O		60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота <50 мг/кг						
<50	<80	102	28	31	34	37
	>170	107	42	45	48	51
>150	<80	107	51	54	57	60
	>170	112	65	68	71	74
Содержание легкогидролизуемого азота 51-75 мг/кг						
<50	<80	119	11	14	17	20
	>170	126	25	28	31	34
>150	<80	125	34	37	40	44
	>170	131	48	51	54	58
Содержание легкогидролизуемого азота 76-100 мг/кг						
<50	<80	136	6	9	13	16
	>170	144	20	23	27	30
>150	<80	143	29	33	36	39
	>170	151	43	47	50	53
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг						
<50	<80	145	6	9	12	16
	>170	153	20	23	26	30
>150	<80	152	29	32	36	39
	>170	160	43	46	50	53

Так, на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах одновременное увеличение степени обеспеченности почв P₂O₅ и K₂O также как и на дерново-подзолистых супесчаных способствовало приросту прибавки урожайности и окупаемости азотных удобрений (табл. 2.8). Однако величины прибавок в данном случае гораздо выше – прибавка урожайности картофеля, как указывалось выше, увеличивалась на 37 ц/га, или в 1,3-1,8 раз.

Повышение дозы азота с 60 до 150 кг/га при содержании в почве подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизуемого азота <50 мг/кг способствует приросту прибавки урожая с 65 до 74 ц/га.

Увеличение степени обеспеченности дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв легкогидролизующего азота также, как и на супесчаных, способствовало снижению эффективности азотных удобрений (табл. 2.8,2.9). Так, с увеличением содержания легкогидролизующего азота в почве (при наибольшем содержании подвижных форм фосфора и калия) прибавка урожая картофеля снижается с 65 до 43 ц/га при дозе азота 60 кг/га и с 74 до 53 кг/га при дозе азота 150 кг/га.

Возрастание доз азотных удобрений приводило к снижению окупаемости удобрений. Так, при содержании подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и содержании легкогидролизующего азота <50 мг/кг окупаемость азотных удобрений снижалась со 108 до 49 кг/кг, а при содержании легкогидролизующего азота >100 мг/кг при прочих равных условиях окупаемость азотных удобрений снижалась с 72 до 35 кг/кг.

С увеличением содержания легкогидролизующего азота в почве также снижается окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая картофеля: при наибольшем содержании подвижных форм фосфора и калия при дозе азота 60 кг/га окупаемость снижалась со 108 до 72 кг/кг, а при дозе азота 150 кг/га – с 49 до 35 кг/кг.

Так, одновременное увеличение доз азотных удобрений и степени обеспеченности почв легкогидролизующим азотом способствовало снижению окупаемости азотных удобрений в 3,1-4,3 раз (табл. 2.9).

При этом, с увеличением содержания подвижных форм фосфора и калия в почве, а также степени обеспеченности почв легкогидролизующим азотом отмечался прирост урожая картофеля в контрольном варианте. На почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг, легкогидролизующего азота >100 мг/кг и дозе азота N₁₅₀ суммарная урожайность картофеля, полученная за счёт улучшения степени обеспеченности дерново-подзолистых почв питательными веществами и за счёт внесения азотных удобрений, достигала 213 ц/га (табл. 2.8).

Таблица 2.9

Окупаемость азотных удобрений
на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅ ,	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота <50 мг/кг					
<50	<80	47	34	28	25
	>170	70	50	40	34
>150	<80	85	60	48	40
	>170	108	76	59	49
Содержание легкогидролизуемого азота 51-75 мг/кг					
<50	<80	18	16	14	13
	>170	42	31	26	23
>150	<80	57	41	33	29
	>170	80	57	45	39
Содержание легкогидролизуемого азота 76-100 мг/кг					
<50	<80	10	10	11	11
	>170	33	26	23	20
>150	<80	48	37	30	26
	>170	72	52	42	35
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг					
<50	<80	10	10	10	11
	>170	33	26	22	20
>150	<80	48	36	30	26
	>170	72	51	42	35

2.2. Эффективность азотных удобрений на серых лесных почвах

В ходе исследований было обработано около 1 000 наблюдений на почвах с различным гранулометрическим составом. Характеристика выборок почв, по которым выполнены расчеты, приведена в таблице 2.10.

Полученные данные характеризуются широким диапазоном значений по каждому агрохимическому показателю.

Таблица 2.10

Характеристика выборок серых лесных почв
на опытах с внесением азотных удобрений

Почва	Число наблюдений, n	Гумус, %	pH _{KCl}	N л.г. по Корнфилду	P ₂ O ₅	K ₂ O	Доза азота, кг/га	Прибавка урожайности, ц/га	Окупаемость, кг/кг
светло-серые лесные почвы	195	0,9... 2,6	4,6... 7,2	42... 217	2... 250	35... 223	30... 150	9...41	12...70
серые лесные почвы	602	1,4... 5,2	4,3... 6,0	5... 274	30... 355	32... 250	30... 150	7...45	9...72
темно-серые лесные почвы	183	1,9... 4,9	4,4... 6,0	102 ... 251	34... 138	47... 200	60... 150	11...41	19...27

Результаты корреляционного анализа изменчивости прибавки урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от вариации агрохимических свойств серых лесных почв приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11
Связь прибавки урожая картофеля от азотных удобрений
с агрохимическими свойствами серых лесных почв

Аргументы системы	Корреляция						Критерий линейности корреляции	
	Линейная			Криволинейная			Fф	Fт
	коэффициенты		уровень значимости	корреляционное отношение	индекс детерминации	уровень значимости		
	корреляции	детерминации						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Светло-серые лесные								
Гумус	0,12	0,01	0,200	0,43	0,18	0,001	3,53	3,92
pH	0,31	0,10	0,001	0,51	0,26	0,001	3,07	3,89
N	-0,25	0,06	0,200	0,53	0,28	0,001	6,07	4,08
P ₂ O ₅	0,40	0,16	0,001	0,57	0,32	0,001	2,56	3,90
K ₂ O	0,31	0,10	0,001	0,54	0,29	0,001	2,70	3,90
Дозы	0,24	0,06	0,001	0,91	0,83	0,001	74,16	3,89
Серые лесные								
Гумус	0,20	0,04	0,001	0,51	0,26	0,001	7,41	3,86
pH	0,12	0,01	0,010	0,65	0,42	0,001	18,41	3,86
N	-0,41	0,17	0,001	0,59	0,35	0,001	2,37	3,94
P ₂ O ₅	0,16	0,03	0,002	0,37	0,14	0,001	2,42	3,86
K ₂ O	0,32	0,10	0,001	0,43	0,18	0,001	2,11	3,86
Дозы	0,26	0,07	0,001	0,93	0,86	0,001	289,18	3,86
Тёмно-серые лесные								
Гумус	0,41	0,17	0,001	0,43	0,18	0,001	3,67	3,89
pH	0,28	0,08	0,001	0,49	0,24	0,001	18,94	3,89
N	-0,39	0,15	0,001	0,57	0,32	0,001	2,69	3,95
P ₂ O ₅	0,47	0,22	0,001	0,55	0,30	0,001	1,31	3,92
K ₂ O	0,30	0,09	0,001	0,50	0,25	0,001	2,40	3,90
Дозы	0,45	0,20	0,001	0,74	0,55	0,001	26,85	3,89

Согласно приведенным данным (табл. 2.11), можно констатировать, что при возделывании картофеля на серых лесных почвах связь эффективности азотных удобрений с содержанием гумуса в почве характеризуется как криволинейная по форме ($Fф \geq Fт$), средняя по тесноте (значения корреляционного отношения варьируют в пределах 0,43-0,51) и прямая по направлению.

Зависимость эффективности азотных удобрений под картофель от реакции почвенной среды (табл. 2.11) для серых и тёмно-серых лесных почв проявляется как криволинейная по форме и средняя по тесноте (значения корреляционного отношения составляют 0,65 и 0,49 соответственно), поэтому с целью расчета прибавки урожая и окупаемости азотных удобрений прибавкой урожая картофеля целесообразно использовать данный показатель для указанных подтипов серых лесных почв. Для светло-серых лесных почв корреляция по форме связи проявляется как линейная ($F_f < F_t$). Связь слабая по тесноте ($r = 0,31$). Для всех подтипов серых лесных почв связь прямая по направлению ($r = 0,12...0,31$) (рис.9,10).

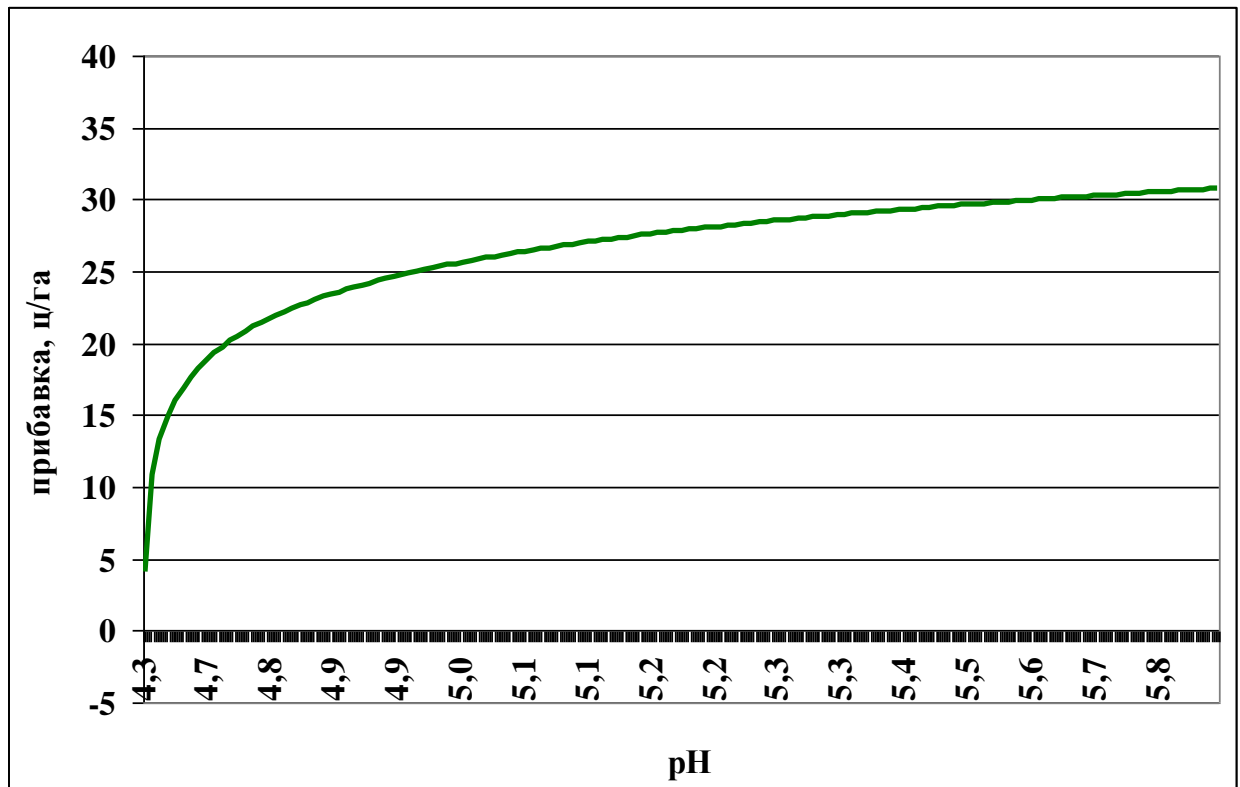


Рисунок 9

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от реакции почвенной среды в серой лесной почве

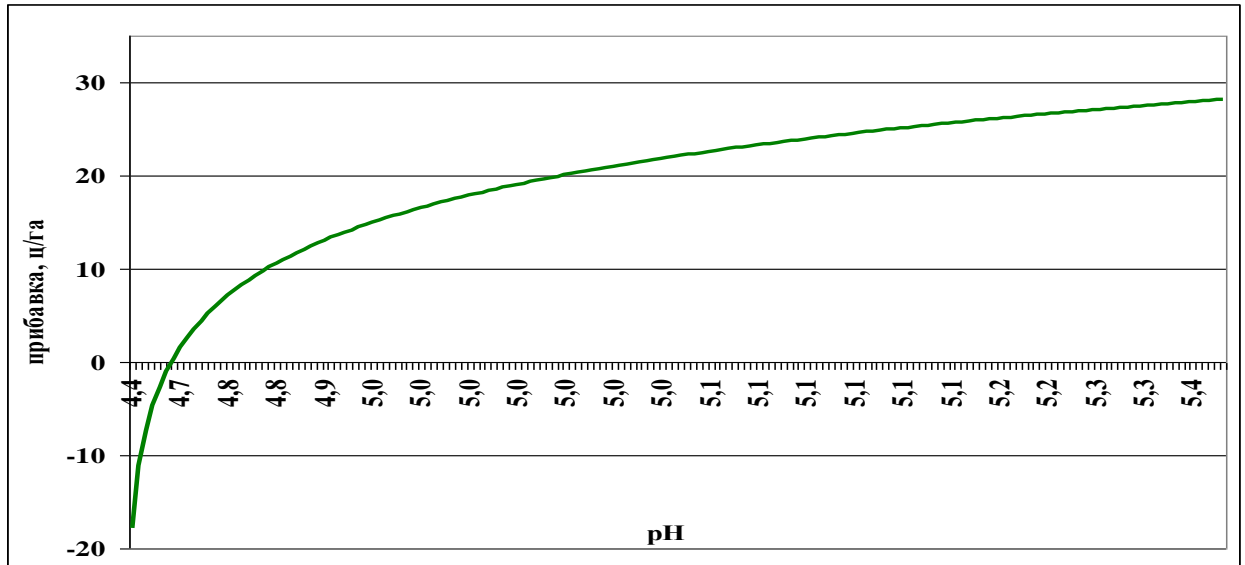


Рисунок 10

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от реакции почвенной среды в тёмно-серой лесной почве

Корреляционная зависимость, характеризующая влияние обеспеченности почв легкогидролизующим азотом на эффективность азотных удобрений на серых лесных почвах (табл. 2.11) показала наличие средней по тесноте, обратной по направлению связи. Для серых и тёмно-серых лесных почв $F_{\phi} < F_{\tau}$, что говорит о преимуществе использования линейной корреляции. Однако для светло-серых лесных почв $F_{\phi} > F_{\tau}$, что говорит о криволинейной форме связи. Графическая интерпретация зависимости показана на примере светло-серой лесной почвы рисунком 11.

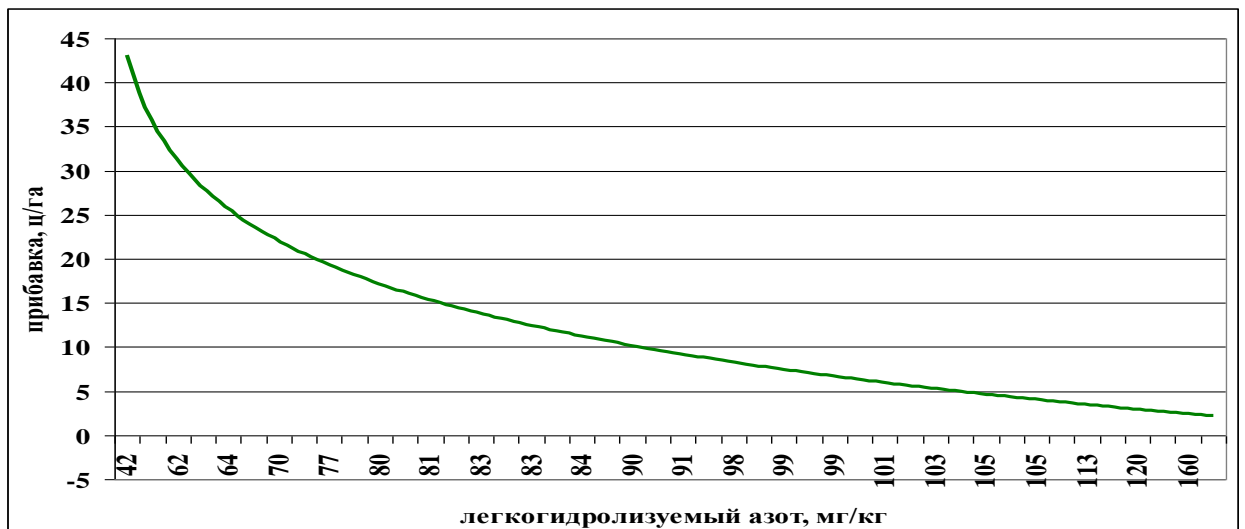


Рисунок 11

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от содержания легкогидролизующего азота в светло-серой лесной почве

Результаты корреляционной зависимости, характеризующей влияние обеспеченности почв подвижным фосфором на эффективность азотных удобрений под картофель на серых лесных почвах (табл. 2.11) показали наличие прямой по направлению связи, средней по тесноте для светло-серых и темно-серых лесных почв ($r = 0,40$ и $r = 0,47$ соответственно) и слабой по тесноте для серых лесных почв ($r = 0,16$). Корреляция проявляется как линейная (во всех случаях $F_f < F_t$). Графическая интерпретация зависимости показана на рисунках 12,13.

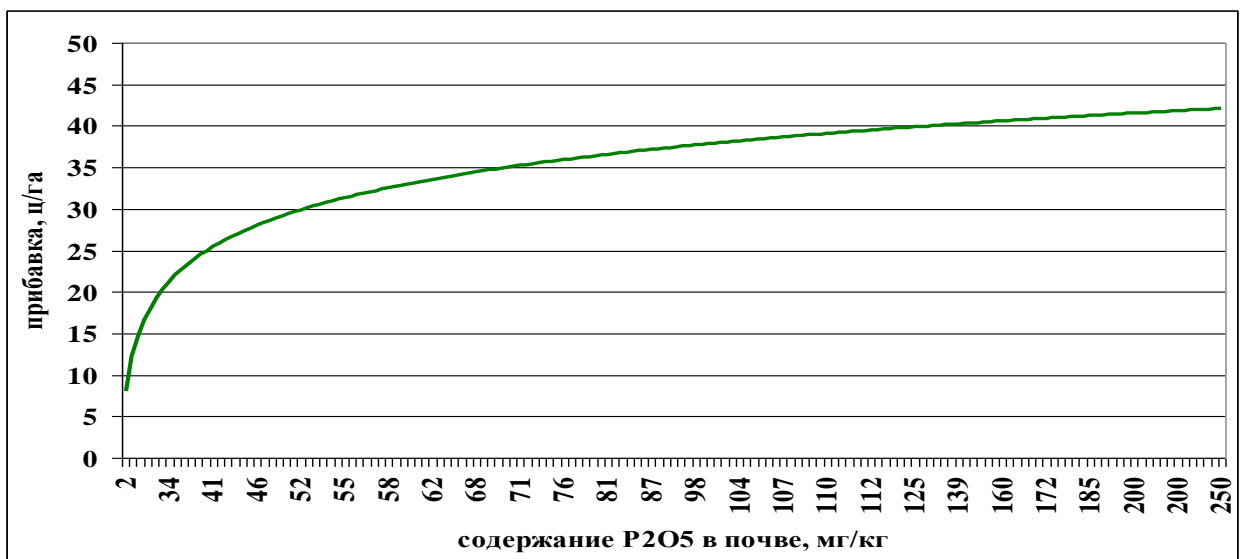


Рисунок 12

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора в светло-серой лесной почве

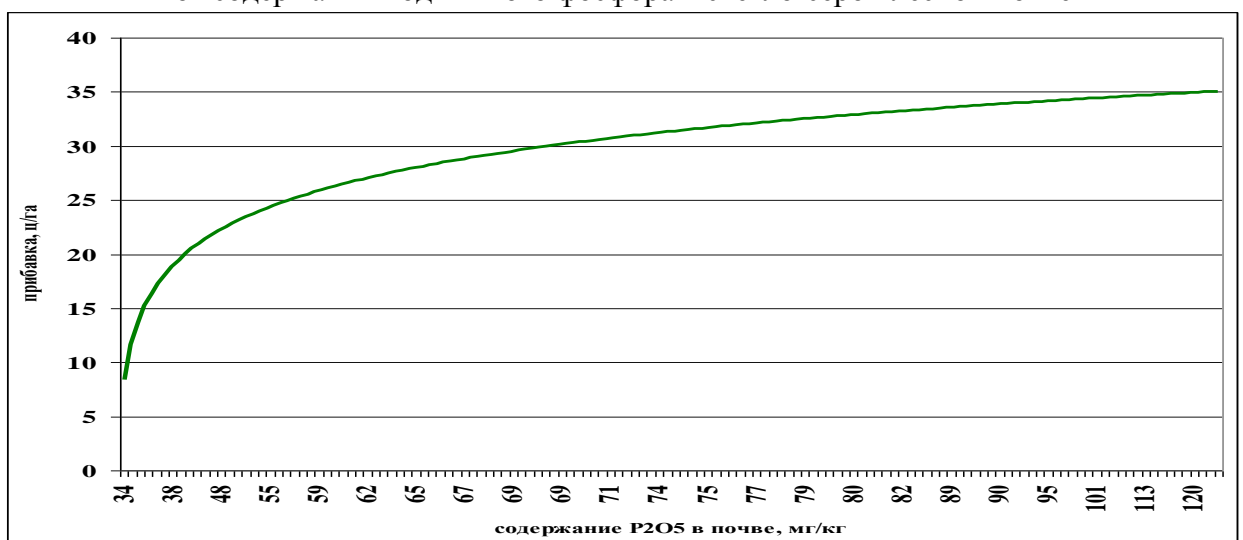


Рисунок 13

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора в темно-серой лесной почве

Зависимость эффективности азотных удобрений под картофель на серых лесных почвах от содержания подвижного калия в почве (табл. 2.11) проявляется как средняя по тесноте. Так, значения коэффициентов корреляции колеблются в интервале 0,30...0,32, значения корреляционного отношения – 0,43...0,54 при уровне значимости 0,001. Оценка степени приближения криволинейной зависимости к прямолинейной свидетельствует о преимуществе последней для описания связи между признаками. Во всех трех случаях (светло-серые, серые и темно – серые лесные почвы) $F_{\phi} < F_{\tau}$, (рис. 14).

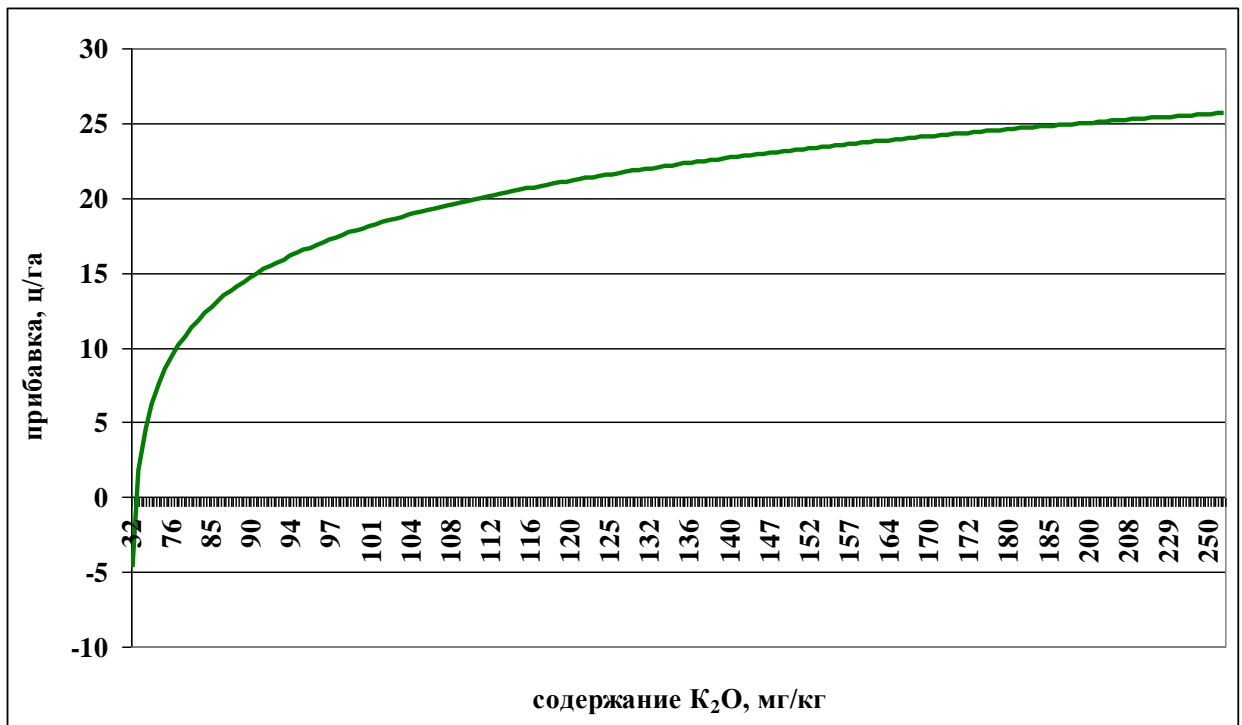


Рисунок 14

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в зависимости от содержания подвижного калия в серой лесной почве

Корреляционная зависимость между дозами азота и величиной прибавки урожая картофеля от азотных удобрений при возделывании его на серых лесных почвах во всех случаях проявляется как прямая по направлению, сильная по тесноте, криволинейная по форме. Этот факт подтверждается оценкой связи по критерию линейности корреляции ($F_{\phi} > F_{\tau}$) и графической интерпретацией связи между признаками (рис. 15,16)

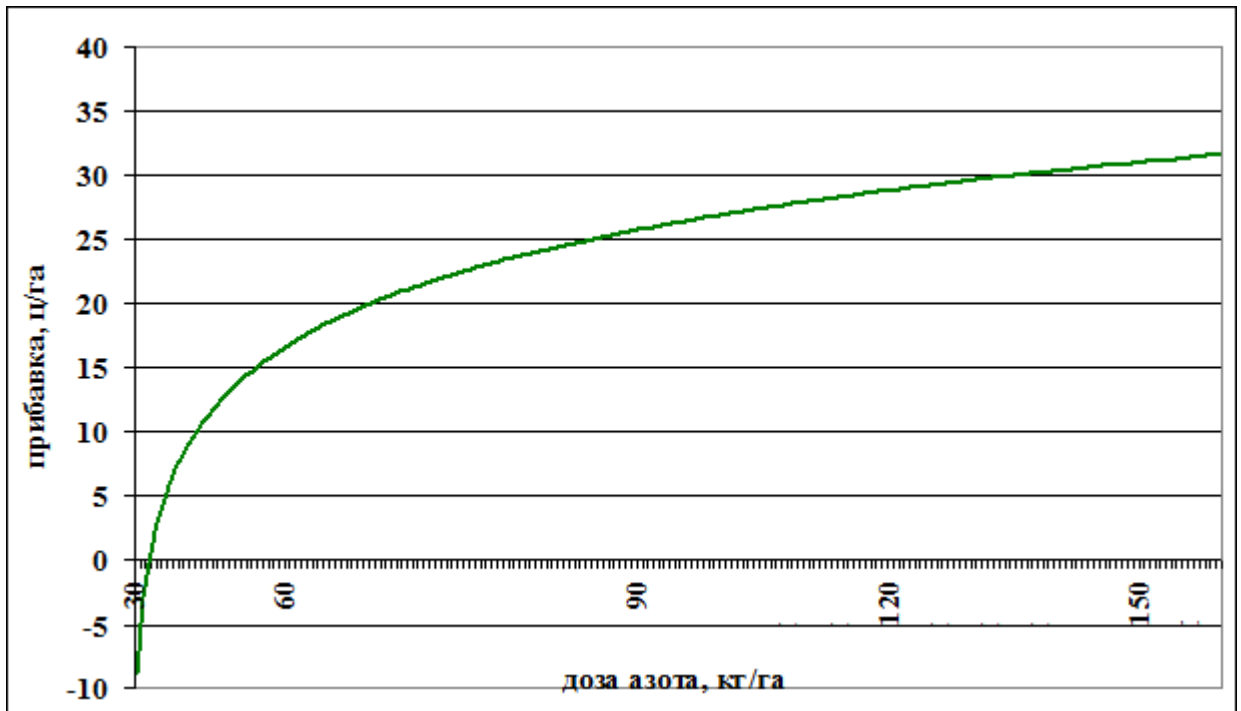


Рисунок 15

Прибавка урожая картофеля в зависимости от доз азотных удобрений
в светло-серой лесной почве

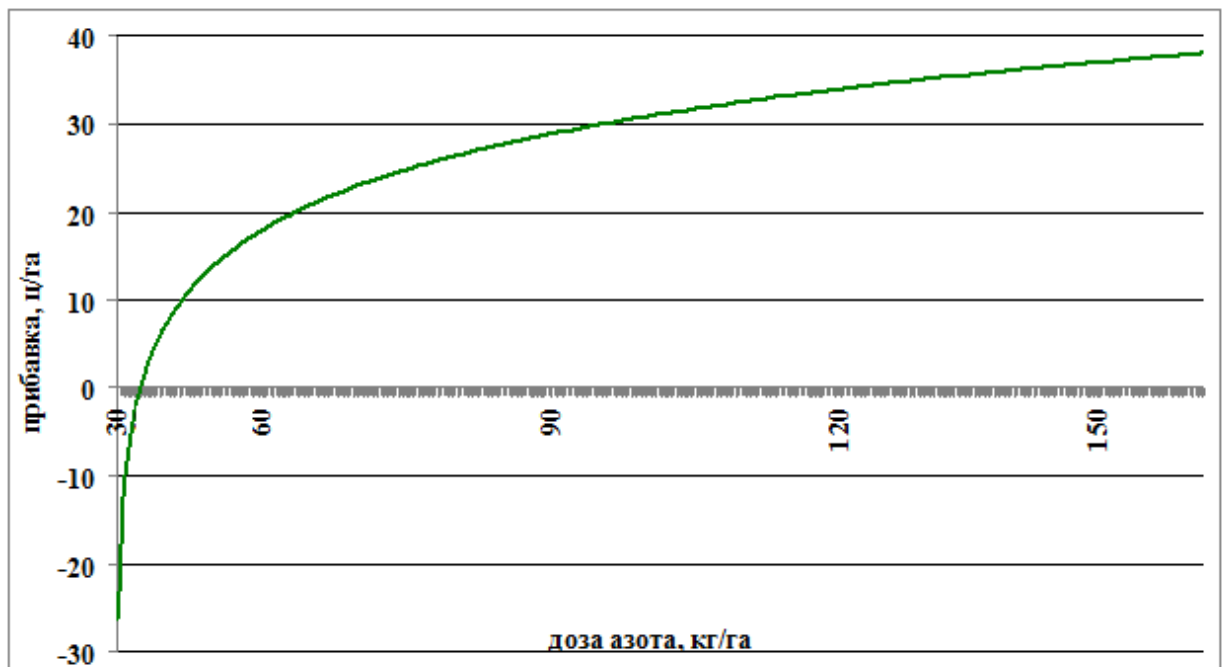


Рисунок 16

Прибавка урожая картофеля в зависимости от доз азотных удобрений
в серой лесной почве

Таким образом, статистический анализ данных, полученных на серых лесных почвах на опытах с внесением азотных удобрений (табл. 2.11) показал, что значимыми аргументами системы «почва – удобрение – растение» являются:

- содержание легкогидролизуемого азота;
- содержание подвижных форм фосфора;
- содержание подвижных форм калия;
- реакция почвенной среды;
- дозы азотных удобрений.

В расчётах на фоне различной обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия, а также возрастающими дозами азотных удобрений использовались уровни обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом и группы по значениям реакции почвенной среды.

При группировке почв по обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом отправной точкой в расчетах явилась прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в интервале низкого содержания легкогидролизуемого азота в почве (<50 мг/кг). В нашей выборке она составила 32,0 ц/га для светло-серых лесных почв, 34,0 ц/га для серых лесных и 23,0 ц/га для тёмно-серых лесных почв.

Далее, также как и в случае с моделированием эффективности азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах, были выполнены расчеты по определению относительного и количественного вкладов факторов в формировании прибавки урожая картофеля для светло-серых, серых и тёмно-серых лесных почв (прил. 5).

Уравнения регрессии, используемые под картофель в моделях прогноза эффективности азотных удобрений на серых лесных почвах, приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12

Уравнения регрессии. Серые лесные почвы

Аргументы системы	Светло-серые лесные почвы	Серые лесные почвы	Тёмно-серые лесные почвы
Содержание N л.г. в почве	$Y = 683,2018/X - 4,2802$	$Y = 7,8644 + 48,8841/X$	$Y = 0,3498 + 325,3311/X$
Содержание P ₂ O ₅ в почве	$Y = 7,2037 - 10,16/X$	$Y = 6,0388 - 123,27/X$	$Y = 6,1181 - 151,58/X$
Содержание K ₂ O в почве	$Y = 7,5471 - 161,84/X$	$Y = 8,2652 - 412,32/X$	$Y = 5,5083 - 133,44/X$
Дозы азота	$Y = 12,9495 - 229,48/X$	$Y = 16,6101 - 447,12/X$	$Y = 10,2708 - 458,84/X$

Следующим этапом явился учет и количественная оценка вклада изучаемых факторов в формирование прибавки урожая с учетом вариации их значений в пределах общепринятых градаций (прил. б).

Результаты расчетов, выполненные в соответствии с приведенным выше алгоритмом и представленные в виде выходной информации в зависимости от вариации признаков изучаемой системы, приведены в таблицах 2.13-2.18, прил. 7-12.

Данные, приведённые в таблицах, говорят о том, что по мере увеличения содержания в почве подвижных форм фосфора и калия наблюдается незначительное увеличение прибавки урожая картофеля и окупаемость азотных удобрений. Так, на светло-серых лесных почвах одновременное увеличение степени обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия приводило к росту прибавки всего на 2-3 ц/га.

Увеличение доз азотных удобрений с 60 до 150 кг/га также не приводило к существенным изменениям – прибавка возрастала на 2-4 ц/га.

Существенные колебания прибавки наблюдались при различной степени обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом.

Так, на светло-серых лесных почвах при содержании легкогидролизуемого азота <50 мг/кг по сравнению с повышенным содержанием легкогидролизуемого азота (>100 мг/кг) эффективность азотных удобрений была максимальной и при дозе азота N₁₅₀ прибавка

урожая картофеля составила 64 ц/га, в то время как при содержании легкогидролизуемого азота >100 мг/кг при той же дозе азота прибавка составила всего 26 ц/га, то есть в 2,5-2,8 раза меньше (табл. 2.13).

Таблица 2.13

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений
на светло-серых лесных почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O		60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота <50 мг/кг						
<50	<80	110	59	61	61	62
	>170	135	61	62	63	63
>150	<80	125	60	61	61	62
	>170	140	61	63	63	64
Содержание легкогидролизуемого азота 51-75 мг/кг						
<50	<80	113	27	29	29	30
	>170	138	29	31	31	32
>150	<80	133	28	29	30	30
	>170	162	30	31	32	32
Содержание легкогидролизуемого азота 76-100 мг/кг						
<50	<80	116	24	26	26	27
	>170	141	26	28	28	29
>150	<80	137	25	26	27	27
	>170	166	27	28	28	29
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг						
<50	<80	122	21	23	23	24
	>170	148	23	25	25	26
>150	<80	143	22	23	24	24
	>170	174	24	25	26	26

С увеличением степени обеспеченности почв питательными веществами наблюдается рост урожая картофеля в контрольном варианте.

Так, на почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизуемого азота <50 мг/кг суммарная урожайность картофеля достигала 204 ц/га (табл. 2.13).

Таблица 2.14

Окупаемость азотных удобрений на светло-серых лесных почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅ ,	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота <50 мг/кг					
<50	<80	99	67	51	41
	>170	102	69	53	42
>150	<80	99	68	51	41
	>170	102	70	53	42
Содержание легкогидролизуемого азота 51-75 мг/кг					
<50	<80	46	32	25	20
	>170	49	34	26	21
>150	<80	46	32	25	20
	>170	49	34	26	21
Содержание легкогидролизуемого азота 76-100 мг/кг					
<50	<80	41	28	22	18
	>170	44	31	24	19
>150	<80	41	29	22	18
	>170	44	31	24	19
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг					
<50	<80	36	25	19	16
	>170	39	27	21	17
>150	<80	36	26	20	16
	>170	39	28	21	17

В тенденции окупаемости азотных удобрений намечены те же закономерности, что с прибавкой. Наибольшие значения окупаемости отмечены для группы почв с содержанием легкогидролизуемого азота <50 мг/кг при дозе азота 60 кг/га, которые составляют 99-102 кг/кг.

С увеличением доз и содержания легкогидролизуемого азота окупаемость снижалась с 99-102 до 41-42 кг/кг при содержании легкогидролизуемого азота <50 мг/кг (в 2,4 раза) и с 36-39 до 16-17 кг/кг при содержании легкогидролизуемого азота >100 мг/кг (в 2,3 раза) (табл. 2.14).

На серых лесных почвах получены похожие тенденции, хотя и с явным отличием от светло-серых лесных почв (табл. 2.15, 2.16). Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия приводило к росту прибавки на 8 ц/га, что несколько больше значений, полученных при аналогичных условиях на светло-серых лесных почвах.

Увеличение доз азотных удобрений с 60 до 150 кг/га приводило к росту прибавки на 4-5 ц/га (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений
на серых лесных почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O		60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота <50 мг/кг						
<50	<80	91	23	26	27	28
	>170	109	28	31	32	33
>150	<80	114	26	29	30	31
	>170	136	31	34	35	36
Содержание легкогидролизуемого азота 51-75 мг/кг						
<50	<80	93	21	24	25	26
	>170	111	26	29	30	31
>150	<80	116	24	27	28	29
	>170	139	29	32	33	34
Содержание легкогидролизуемого азота 76-100 мг/кг						
<50	<80	119	21	23	25	25
	>170	142	26	28	30	30
>150	<80	149	24	26	28	28
	>170	177	29	31	33	33
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг						
<50	<80	167	21	23	24	25
	>170	199	26	28	29	30
>150	<80	208	24	26	28	28
	>170	248	29	31	32	33

Незначительные колебания прибавки наблюдались при различной степени обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом. Так, на серых лесных почвах с увеличением содержания легкогидролизуемого азота прибавка урожая картофеля увеличивалась на 2-3 ц/га (табл. 2.15).

С увеличением степени обеспеченности почв питательными веществами наблюдается рост урожая картофеля в контрольном варианте. Так, на серых лесных почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизующего азота >100 мг/кг суммарная урожайность картофеля достигала 281 ц/га (табл. 2.15).

Как видно из приведённых данных (табл. 2.16), окупаемость азотных удобрений на серых лесных почвах возрастала с улучшением степени обеспечения почв подвижными формами фосфора и калия. Так, одновременное увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия в почве приводило к увеличению окупаемости азотных удобрений на 5-14 кг/кг.

Таблица 2.16

Окупаемость азотных удобрений на серых лесных почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅ ,	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание легкогидролизующего азота <50 мг/кг					
<50	<80	39	29	23	19
	>170	47	34	27	22
>150	<80	44	32	25	21
	>170	52	38	29	24
Содержание легкогидролизующего азота 51-75 мг/кг					
<50	<80	35	26	21	17
	>170	43	32	25	20
>150	<80	40	30	23	19
	>170	49	35	27	22
Содержание легкогидролизующего азота 76-100 мг/кг					
<50	<80	35	26	21	17
	>170	43	31	25	20
>150	<80	40	29	23	19
	>170	48	35	27	22
Содержание легкогидролизующего азота >100 мг/кг					
<50	<80	34	26	20	17
	>170	43	31	24	20
>150	<80	40	29	23	19
	>170	48	35	27	22

При этом, при наименьшей дозе азотного удобрения (60 кг/га), разница в окупаемости была заметнее по сравнению с наибольшей (150 кг/га).

Напротив, возрастание доз азотных удобрений, а также улучшение степени обеспечения почв легкогидролизуемым азотом снижало окупаемость азотных удобрений. Так, увеличение дозы азота с 60 до 150 кг/га приводило к снижению окупаемости азотных удобрений на 20-28 кг/кг (в 2,1-2,2 раза), а увеличение содержания легкогидролизуемого азота снижало окупаемость на 2-5 кг/кг. Одновременное увеличение доз азотных удобрений и содержания легкогидролизуемого азота снижало окупаемость азотных удобрений в 1,5-1,6 раз (табл. 2.16).

На тёмно-серых лесных почвах проявляются те же закономерности в распределении прибавки урожая картофеля и окупаемости азотных удобрений, что и для предыдущих подтипов серых лесных почв (табл. 2.17,2.18). Так, одновременное улучшение степени обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия приводит к увеличению прибавки урожая картофеля на 5-6 ц/га.

Увеличение доз азотных удобрений с 60 до 150 кг/га, также как и на серых лесных почвах, приводило к росту прибавки на 4-5 ц/га (табл. 2.17).

Для тёмно-серых лесных почв характерно резкое снижение прибавки урожая картофеля с увеличением степени обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом. Так, при содержании легкогидролизуемого азота <50 мг/кг прибавка урожая картофеля варьировала от 28 до 38 ц/га, а уже при содержании легкогидролизуемого азота 51-75 мг/кг – от 13 до 22 ц/га. При содержании легкогидролизуемого азота >100 мг/кг прибавка была наименьшей и колебалась в пределах 10-20 ц/га.

С увеличением степени обеспеченности почв питательными веществами наблюдается рост урожая картофеля в контрольном варианте. Так, на тёмно-серых лесных почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизуемого

азота >100 мг/кг суммарная урожайность картофеля достигала 175 ц/га (табл. 2.17)

Таблица 2.17

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений
на тёмно-серых лесных почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O		60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота <50 мг/кг						
<50	<80	43	28	30	31	32
	>170	59	29	32	33	34
>150	<80	82	31	34	35	36
	>170	108	33	36	37	38
Содержание легкогидролизуемого азота 51-75 мг/кг						
<50	<80	55	13	15	16	17
	>170	71	14	17	18	19
>150	<80	94	16	19	20	21
	>170	120	18	20	22	22
Содержание легкогидролизуемого азота 76-100 мг/кг						
<50	<80	67	11	14	15	16
	>170	83	13	15	16	17
>150	<80	106	15	17	19	19
	>170	132	16	19	20	21
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг						
<50	<80	79	10	12	13	14
	>170	98	11	14	15	16
>150	<80	124	13	16	17	18
	>170	155	15	18	19	20

Как и в случае с предыдущими подтипами серых лесных почв окупаемость азотных удобрений на тёмно-серых лесных почвах возрастала с улучшением степени обеспечения почв подвижными формами фосфора и калия (табл. 2.18). Так, одновременное увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия в почве приводило к увеличению окупаемости азотных удобрений на 4-9 кг/кг.

Напротив, возрастание доз азотных удобрений, а также улучшение степени обеспечения почв легкогидролизуемым азотом снижало окупаемость азотных удобрений. Так, увеличение дозы азота с 60 до 150 кг/га приводило к

снижению окупаемости азотных удобрений на 25-30 кг/кг при содержании легкогидролизуемого азота <50 мг/кг и на 7-12 кг/кг при содержании легкогидролизуемого азота >100 мг/кг. Увеличение содержания легкогидролизуемого азота заметно снижало окупаемость азотных удобрений – на 30 кг/кг (в 2,2-2,9 раза) при дозе азота N₆₀ и на 12 кг/кг (1,9-2,3 раза) при дозе азота N₁₅₀. Одновременное увеличение доз азотных удобрений и содержания легкогидролизуемого азота снижало окупаемость азотных удобрений в 1,8 раз при содержании легкогидролизуемого азота <50 мг/кг и в 1,2 раза при содержании легкогидролизуемого азота >100 мг/кг.

Таблица 2.18

Окупаемость азотных удобрений на тёмно-серых лесных почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅ ,	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота <50 мг/кг					
<50	<80	46	34	26	21
	>170	49	35	28	23
>150	<80	52	38	29	24
	>170	55	40	31	25
Содержание легкогидролизуемого азота 51-75 мг/кг					
<50	<80	21	17	14	11
	>170	24	19	15	12
>150	<80	27	21	17	14
	>170	30	23	18	15
Содержание легкогидролизуемого азота 76-100 мг/кг					
<50	<80	18	15	12	10
	>170	21	17	14	11
>150	<80	25	19	16	13
	>170	27	21	17	14
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг					
<50	<80	16	14	11	9
	>170	19	15	13	11
>150	<80	22	18	14	12
	>170	25	20	16	13

Статистический анализ данных (табл. 2.11) показал необходимость использования в расчётах такого показателя, как реакция почвенной среды для серых и тёмно-серых лесных почв.

При группировке почв по значениям реакции почвенной среды отправной точкой в расчетах явилась прибавка урожая картофеля от азотных удобрений в интервале сильнокислой реакции почвенной среды ($pH < 4,5$). В нашей выборке она составила 22,0 ц/га для серых лесных и 15,0 ц/га для тёмно-серых лесных почв.

Далее, также как и в случае моделирования эффективности азотных удобрений при группировке почв с различными уровнями обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом, были выполнены расчеты по определению относительного и количественного вкладов факторов в формирование прибавки урожая картофеля для серых и тёмно-серых лесных почв (прил. 13).

Уравнения регрессии, используемые под картофель в моделях прогноза эффективности азотных удобрений на серых лесных почвах, приведены в таблице 2.19

Таблица 2.19

Уравнения регрессии. Серые лесные почвы

Аргументы системы	Серые лесные почвы	Тёмно-серые лесные почвы
pH	$Y = 17,2812 - 53,5457/X$	$Y = 18,4127 - 79,7423/X$
Содержание P_2O_5 в почве	$Y = 3,8089 - 77,75/X$	$Y = 4,1301 - 102,33/X$
Содержание K_2O в почве	$Y = 5,2132 - 260,07/X$	$Y = 3,7184 - 90,08/X$
Дозы азота	$Y = 10,4768 - 282,02/X$	$Y = 6,9334 - 309,74/X$

Следующим этапом явился учет и количественная оценка вклада изучаемых факторов в формировании прибавки урожая с учетом вариации их значений в пределах общепринятых градаций (прил. 14).

Результаты расчетов, выполненные в соответствии с приведенным выше алгоритмом и представленные в виде выходной информации в зависимости от вариации признаков изучаемой системы приведены в таблицах 2.20-2.23, прил. 15-18.

Таблица 2.20

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений
на серых лесных почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O		60	90	120	150
pH < 4,5						
<50	<80	90	13	14	15	15
	>170	107	16	17	18	18
>150	<80	112	14	16	17	17
	>170	134	18	19	20	20
pH 4,6-5,0						
<50	<80	101	14	15	16	17
	>170	120	17	19	19	20
>150	<80	126	16	17	18	19
	>170	150	19	20	21	22
pH 5,1-5,5						
<50	<80	119	15	17	17	18
	>170	142	18	20	20	21
>150	<80	149	17	18	19	20
	>170	177	20	22	22	23
pH > 5,5						
<50	<80	129	16	17	18	19
	>170	154	19	21	21	22
>150	<80	161	18	19	20	21
	>170	192	21	22	23	24

Аналогично данным, приведённым в табл. 2.13-2.18, прослеживается тенденция возрастания прибавки и окупаемости азотных удобрений прибавкой урожая картофеля с увеличением содержания в почве подвижных форм фосфора и калия (табл. 2.20-2.23).

На почвах с сильнокислой реакцией почвенной среды (pH < 4,5) эффективность азотных удобрений проявляется несколько хуже, чем на почвах, близких к нейтральным (pH > 5,5) (табл. 2.20). Так, если на почвах с pH < 4,5 с увеличением подвижного фосфора с содержания < 50 до

содержания > 150 мг/кг и увеличением подвижного калия с содержания < 80 до содержания > 170 мг/кг при дозе азотного удобрения 150 кг/га прибавка урожая картофеля возрастает с 15 до 20 ц/га, то при аналогичном увеличении содержания подвижных форм фосфора и калия (при дозе азота 150 кг/га) на почвах с pH > 5,5 прибавка урожая картофеля возрастает с 19 до 24 ц/га.

Таблица 2.21

Окупаемость азотных удобрений на серых лесных почвах, кг/кг					
Содержание, мг/кг		Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150
pH < 4,5					
<50	<80	21	16	12	10
	>170	26	19	15	12
>150	<80	24	18	14	12
	>170	29	21	17	14
pH 4,6-5,0					
<50	<80	23	17	14	11
	>170	28	21	16	13
>150	<80	26	19	15	12
	>170	32	23	18	14
pH 5,1-5,5					
<50	<80	25	18	14	12
	>170	30	22	17	14
>150	<80	28	21	16	13
	>170	33	24	19	15
pH >5,5					
<50	<80	26	19	15	12
	>170	32	23	18	15
>150	<80	30	22	17	14
	>170	35	25	19	16

Та же закономерность наблюдается и для окупаемости азотных удобрений (табл. 2.21). При аналогичном увеличении содержания в почве подвижных форм фосфора и калия (при дозе азота 60 кг/га) при pH < 4,5

окупаемость 1 кг азотного удобрения увеличивается с 21 до 29 кг, а при $pH > 5,5$ окупаемость увеличивается с 26 до 35 кг/кг.

С увеличением степени обеспеченности почв питательными веществами наблюдается рост урожая картофеля в контрольном варианте (табл. 2.20).

Так, на серых лесных почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и $pH >5,5$ суммарная урожайность картофеля достигала 216 ц/га.

Увеличение дозы азотного удобрения с 60 до 150 кг/га ведёт к снижению окупаемости азотных удобрений при $pH < 4,5$, содержании подвижного фосфора > 150 мг/кг и подвижного калия > 170 мг/кг с 29 до 14 кг/кг, а при $pH > 5,5$, содержании подвижного фосфора > 150 мг/кг и подвижного калия > 170 мг/кг – с 35 до 16 кг/кг.

На тёмно-серых лесных почвах с $pH < 5$ эффективность азотных удобрений немного ниже, чем на почвах с $pH > 5$ (табл. 2.22-2.23). Одновременное увеличение подвижного фосфора с содержания < 50 до содержания > 150 мг/кг и увеличение подвижного калия с содержания < 80 до содержания > 170 мг/кг приводит к росту прибавки урожая картофеля на почвах с $pH < 5$ с при дозе азотного удобрения 150 кг/га прибавка урожая картофеля возрастает с 9 до 13 ц/га, а при аналогичном увеличении содержания подвижных форм фосфора и калия (при дозе азота 150 кг/га) на почвах с $pH > 5$ прибавка урожая картофеля возрастает с 11 до 15 ц/га.

С увеличением степени обеспеченности почв питательными веществами наблюдается рост урожая картофеля в контрольном варианте (табл. 2.22).

Так, на тёмно-серых лесных почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и $pH >5$ суммарная урожайность картофеля достигала 209 ц/га.

Таблица 2.22

Прибавка урожая картофеля от азотных удобрений
на тёмно-серых лесных почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O		60	90	120	150
Содержание pH < 5						
<50	<80	85	6	8	9	9
	>170	106	7	9	10	11
>150	<80	135	9	11	11	12
	>170	168	10	12	13	13
Содержание pH > 5						
<50	<80	98	8	10	11	11
	>170	122	9	11	12	12
>150	<80	155	10	12	13	14
	>170	194	12	13	14	15

Таблица 2.23

Окупаемость азотных удобрений на тёмно-серых лесных почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание pH < 5					
<50	<80	11	9	7	6
	>170	12	10	8	7
>150	<80	15	12	10	8
	>170	17	13	10	9
Содержание pH > 5					
<50	<80	13	11	9	7
	>170	15	12	10	8
>150	<80	17	14	11	9
	>170	19	15	12	10

Та же закономерность наблюдается и для окупаемости азотных удобрений (табл. 2.23). При аналогичном увеличении содержания в почве подвижных форм фосфора и калия (при дозе азота 60 кг/га) при pH < 5

окупаемость 1 кг азотного удобрения увеличивается с 11 до 17 кг, а при $\text{pH} > 5$ окупаемость увеличивается с 13 до 19 кг/кг.

Увеличение дозы азотного удобрения с 60 до 150 кг/га ведёт к снижению окупаемости азотных удобрений. Так, при $\text{pH} < 5$, содержании подвижного фосфора > 150 мг/кг и подвижного калия > 170 мг/кг окупаемость снижается с 17 до 9 кг/кг, а при $\text{pH} > 5$, содержании подвижного фосфора > 150 мг/кг и подвижного калия > 170 мг/кг – с 19 до 10 кг/кг.

2.3. Эффективность фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах

В ходе исследований было обработано около 500 наблюдений на почвах с различным гранулометрическим составом. Характеристика выборок почв, по которым выполнены расчеты, приведена в таблице 2.24.

Полученные данные характеризуются широким диапазоном значений по каждому агрохимическому показателю.

Таблица 2.24

Характеристика выборок дерново-подзолистых почв
на опытах с внесением фосфорных удобрений

Почва	Число наблюдений, п	Гумус, %	pH _{KCl}	Н л.г. по Корнфилду	P ₂ O ₅	K ₂ O	Доза азота, кг/га	Прибавка урожайности, ц/га	Окупаемость, кг/кг
				МГ/КГ					
Супесчаная	268	1,10... 4,80	4,1... 7,1	59... 129	5... 600	18... 535	30... 150	13... 47	17... 113
Средне- и тяжело суглинистая	310	0.80... 4,00	4,0... 7,0	13... 162	12... 500	15... 420	30... 150	11... 23	10... 64

Результаты корреляционного анализа изменчивости прибавки урожая картофеля от фосфорных удобрений в зависимости от вариации агрохимических свойств дерново-подзолистых почв приведены в таблице 2.25.

Таблица 2.25
Связь прибавки урожая картофеля от фосфорных удобрений
с агрохимическими свойствами дерново-подзолистых почв

Факторы	Корреляция						Критерий линейности корреляции	
	Линейная			Криволинейная				
	коэффициенты		уровень значи- мости	корре- ляцион- ное отноше- ние	индекс детер- мина- ции	уровень значи- мости	Fф	Fт
	корре- ляции	детер- мина- ции						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Супесчаные								
Гумус	0,32	0,10	0,001	0,66	0,42	0,001	8,7	2,4
pH	-0,30	0,09	0,001	0,72	0,52	0,001	12,2	2,0
N л.г.	0,05	0,00	0,000	0,11	0,01	0,000	-	-
P ₂ O ₅	-0,24	0,06	0,001	0,63	0,39	0,001	7,3	2,0
K ₂ O	0,33	0,11	0,001	0,33	0,11	0,001	-	-
Дозы	0,22	0,05	0,001	0,92	0,85	0,001	110,0	2,3
Средне- и тяжелосуглинистые								
Гумус	-0,07	0,00	0,200	0,03	0,00	0,000	-	-
pH	-0,23	0,05	0,001	0,61	0,37	0,100	8,4	2,8
N л.г.	0,26	0,06	0,050	0,31	0,09	0,001	2,8	63,3
P ₂ O ₅	-0,11	0,01	0,100	0,71	0,50	0,001	10,6	2,3
K ₂ O	-0,20	0,04	0,001	0,23	0,05	0,001	4,1	6352
Дозы	0,07	0,00	0,400	0,86	0,74	0,001	78,5	3,7

Согласно приведенным данным (табл. 2.25), можно констатировать, что при возделывании картофеля на дерново-подзолистых супесчаных почвах связь эффективности фосфорных удобрений с содержанием гумуса в почве характеризуется как прямая по направлению, средняя по тесноте ($r = 0,32$, $\eta = 0,66$) и криволинейная по форме ($Fф > Fт$). При этом можно отметить достоверное (уровень значимости $t = 0,001$) влияние вариации содержания гумуса и почве на изменчивость прибавки урожая картофеля от фосфорных удобрений. Этот указывает на необходимость использования данного показателя для расчётов прибавки и окупаемости фосфорных удобрений прибавкой урожая картофеля для дерново-подзолистых супесчаных почв (рис. 17).

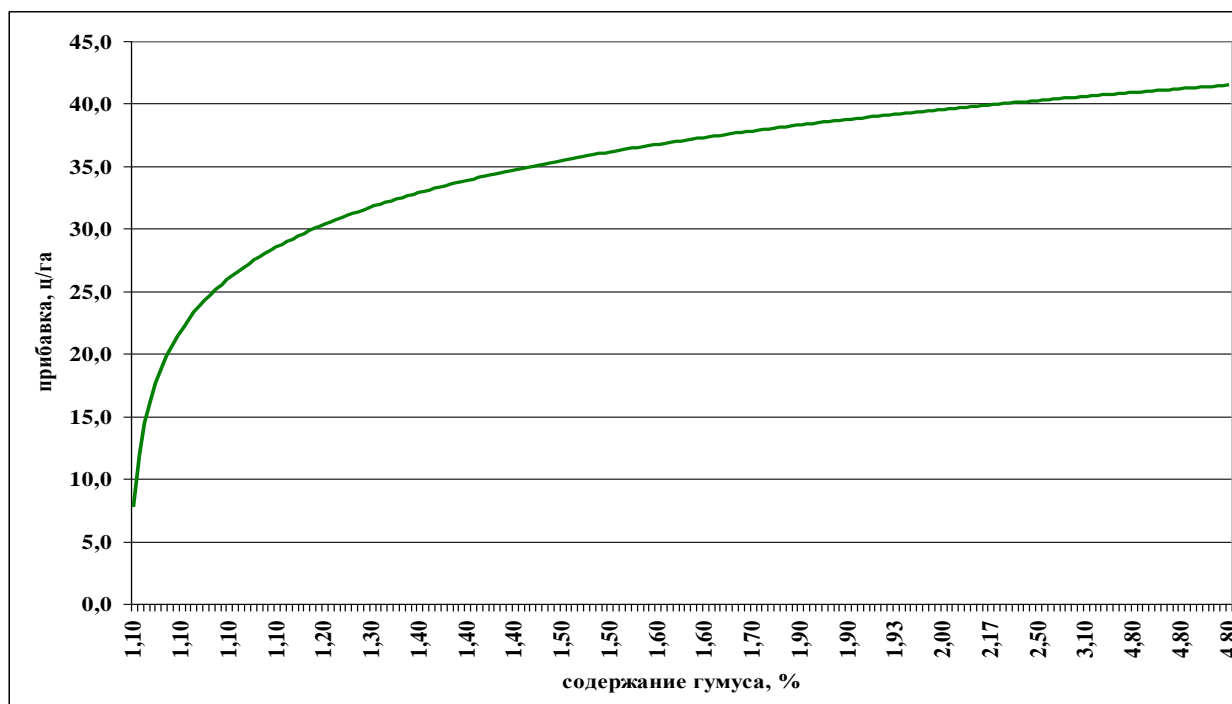


Рисунок 17

Прибавка урожая картофеля от фосфорных удобрений в зависимости от содержания гумуса в дерново-подзолистых супесчаных почвах

На дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах вариация содержания гумуса в почве не влияет на изменчивость прибавки урожая картофеля от фосфорных удобрений.

Анализ зависимости эффективности фосфорных удобрений под картофель от вариации реакции почвенной среды (табл. 2.25) свидетельствует о стабильном влиянии последней на изменчивость прибавки урожая картофеля от фосфорных удобрений. Линейная корреляция проявляется как обратная: $r = -0,30$ (супесчаные почвы) и $r = -0,23$ (средне- и тяжелосуглинистые почвы) и слабая по тесноте связи ($r^2 = 0,09...0,05$). Поэтому для объективной оценки связи между ними предпочтительнее использовать криволинейную форму корреляции. Значения корреляционного отношения свидетельствуют о средней ($\eta = 0,61$ – средне- и тяжелосуглинистые почвы) и сильной ($\eta = 0,71$ – супесчаные почвы) корреляционной зависимости между признаками (рис. 18,19).

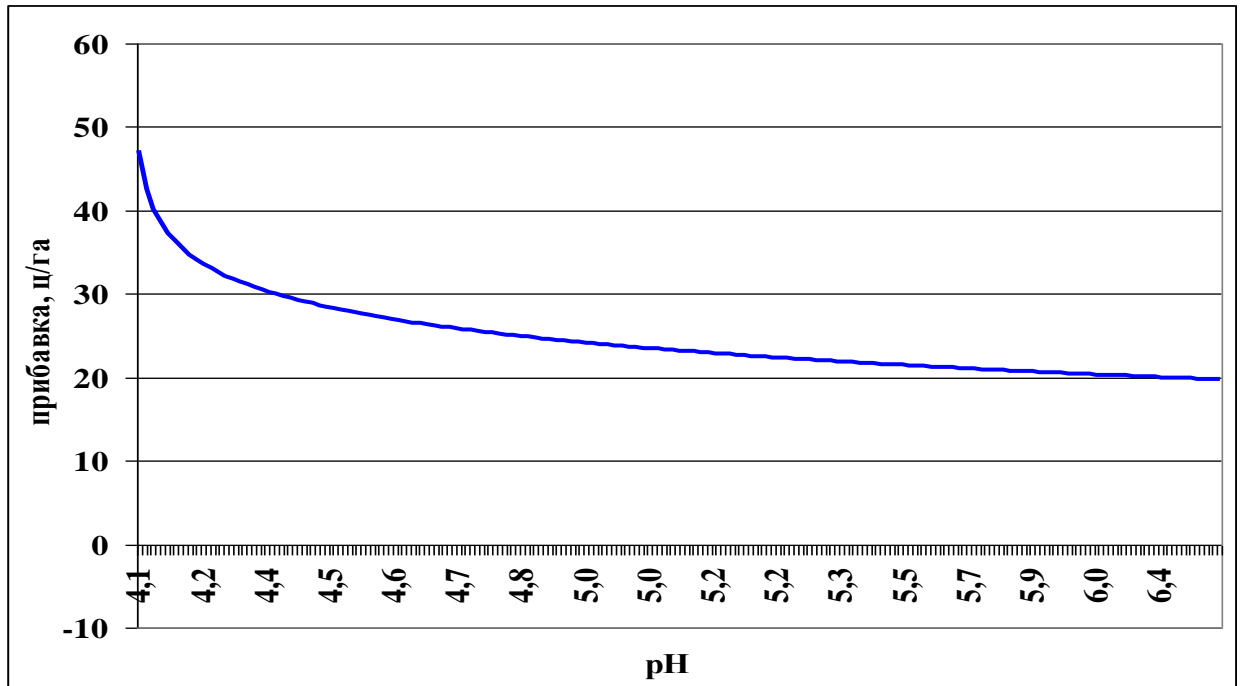


Рисунок 18

Прибавка урожая картофеля от фосфорных удобрений в зависимости от реакции почвенной среды в дерново-подзолистых супесчаных почвах

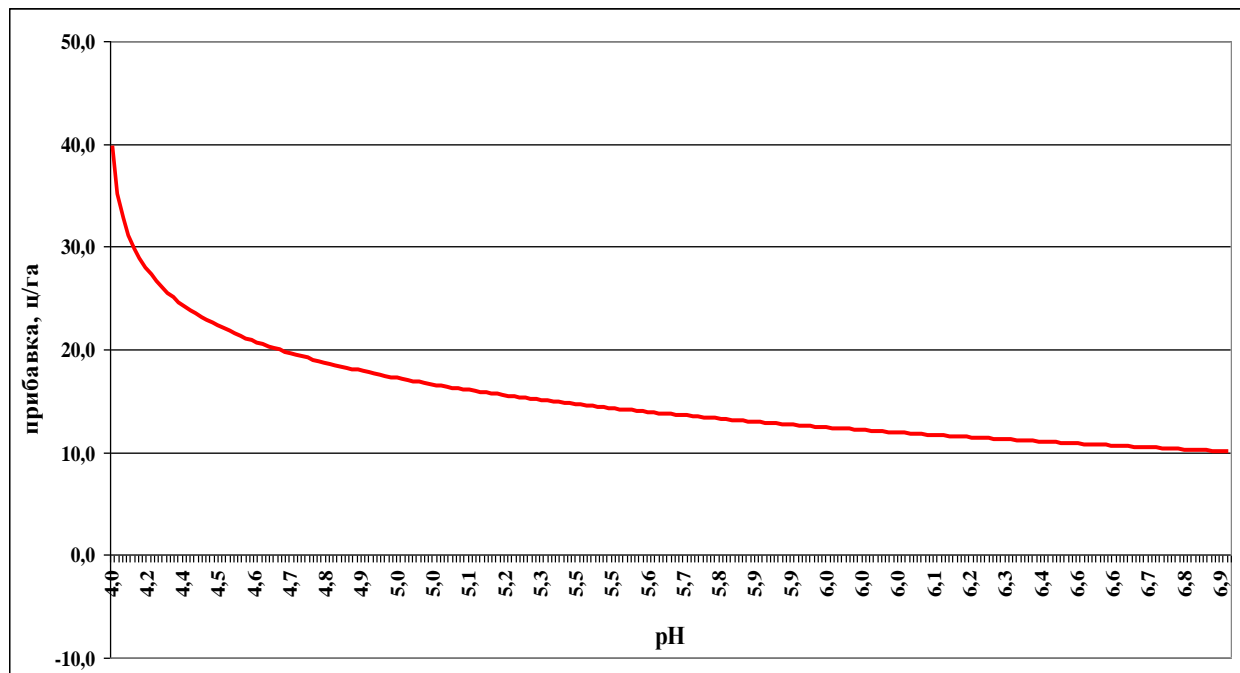


Рисунок 19

Прибавка урожая картофеля от фосфорных удобрений в зависимости от реакции почвенной среды в дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах

Вариация уровня обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом не влияет на эффективность фосфорных удобрений при возделывании картофеля на дерново-подзолистых почвах. Теснота связи между изучаемыми признаками на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах проявляется как слабая ($r = 0,26$), а на дерново-подзолистых супесчаных почвах – отсутствует (табл. 2.25).

При изучении зависимости прибавки урожая картофеля от содержания подвижного фосфора в почве (табл. 2.25) чётко прослеживается особенность, что эффективность фосфорных удобрений наиболее высока при низком содержании подвижного фосфора в почве. По мере увеличения его содержания эффективность фосфорных удобрений под картофель закономерно и нелинейно снижается.

Общее представление о характере изменчивости прибавки урожая картофеля от фосфорных удобрений в зависимости от вариации содержания подвижного фосфора в почве дают тренды её изменчивости, представленные на рисунках 20,21.

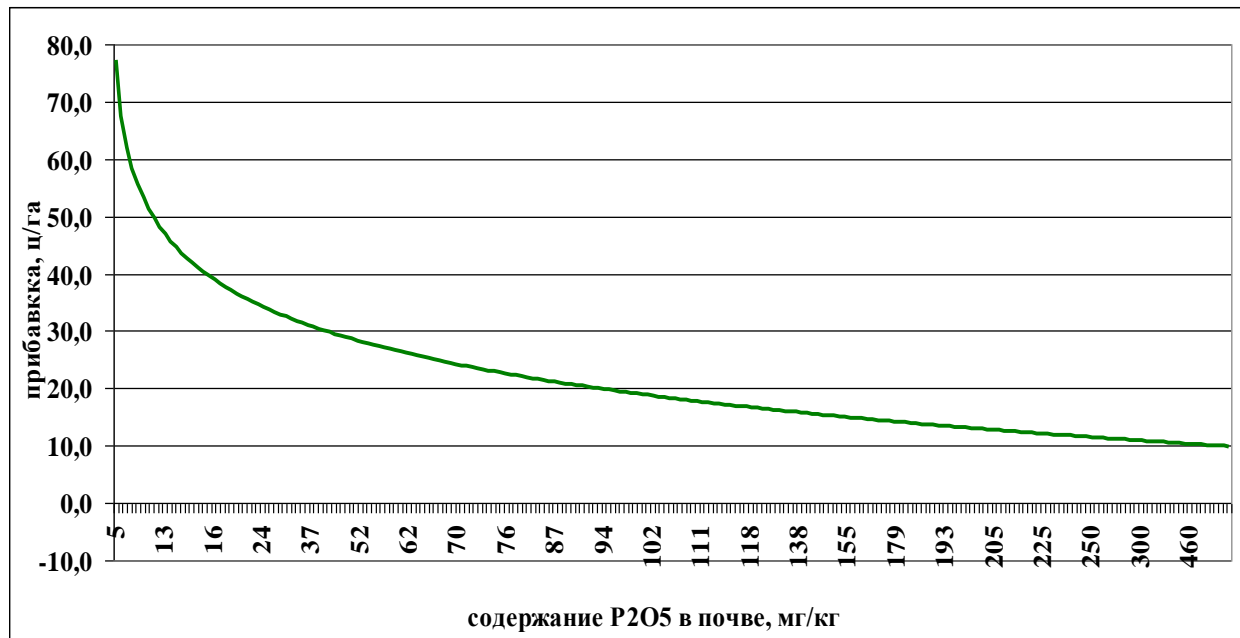


Рисунок 20

Прибавка урожая картофеля от фосфорных удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых супесчаных почвах

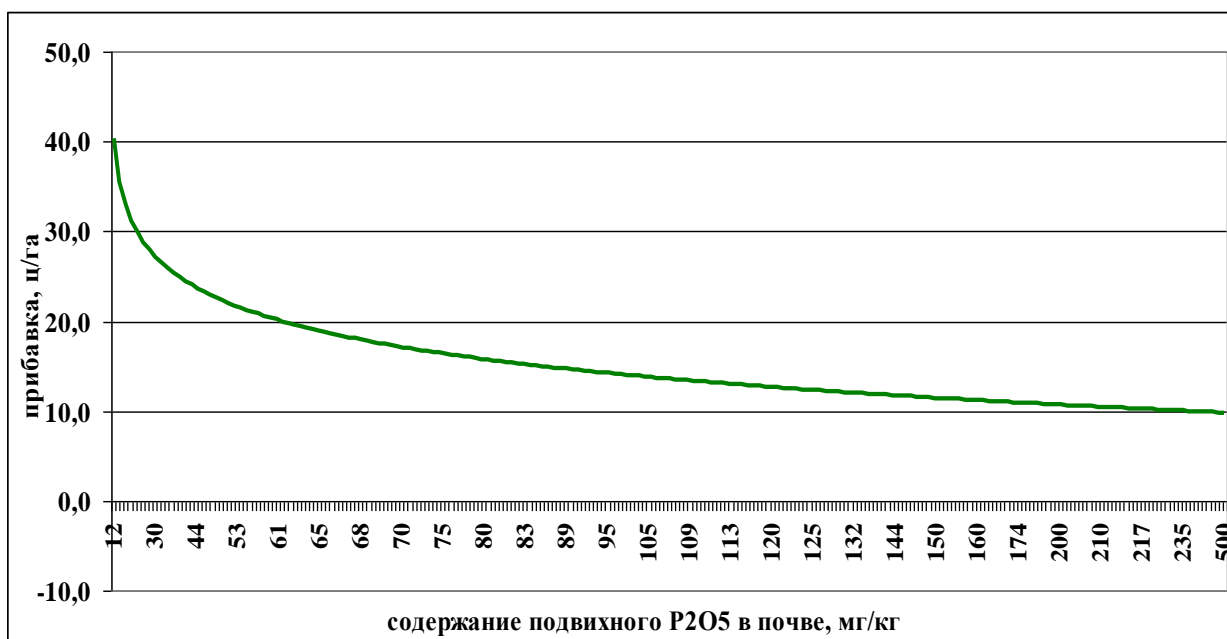


Рисунок 21

Прибавка урожая картофеля от фосфорных удобрений в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах

Зависимость эффективности фосфорных удобрений от динамики содержания подвижного калия в почве (табл. 2.25) неустойчива. При возделывании картофеля на дерново-подзолистых супесчаных почвах она незначительна и характеризуется как прямая по направлению ($r = 0,33$ и $\eta = 0,33$). На дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах корреляционная зависимость проявляется как обратная по направлению, линейная по форме и слабая по тесноте: $r = -0,20$ и $\eta = 0,23$.

Зависимость эффективности фосфорных удобрений под картофель в зависимости от доз фосфора (табл. 2.25) достоверно ($t = 0,001$) характеризуется криволинейной по форме корреляцией, прямой по направлению и сильной по тесноте (значения корреляционного отношения варьируют в пределах $0,86 \dots 0,92$).

Во всех случаях гипотеза линейности отвергается ($F_f \geq F_T$) (рис. 22,23).

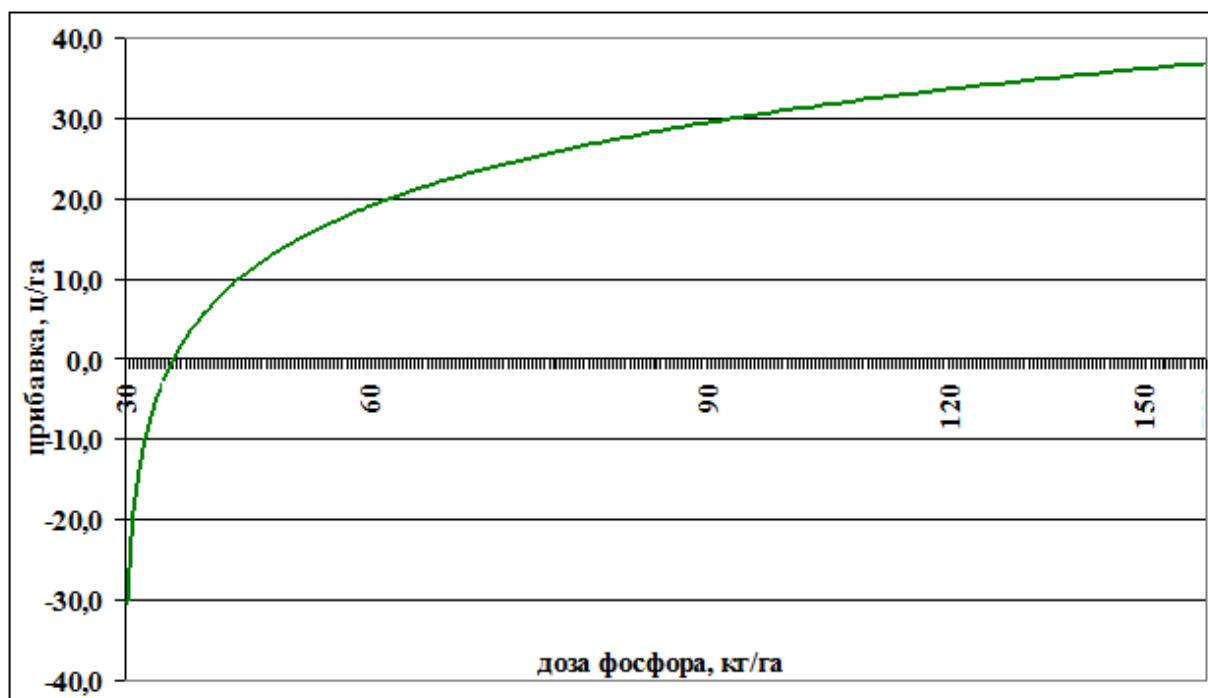


Рисунок 22

Прибавка урожая картофеля в зависимости от доз фосфорных удобрений
в дерново-подзолистой супесчаной почве

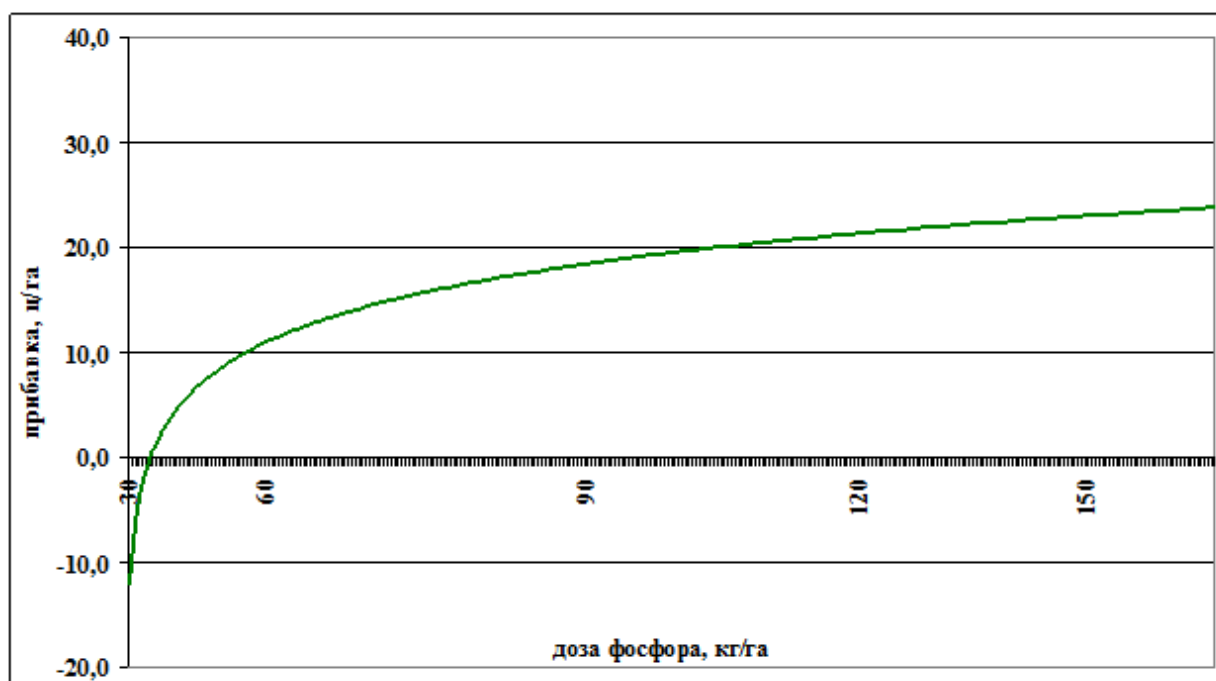


Рисунок 23

Прибавка урожая картофеля в зависимости от доз фосфорных удобрений
в дерново-подзолистой средне- и тяжелосуглинистой почве

Таким образом, анализ полученных данных (таблица 2.25) свидетельствует о том, что эффективность фосфорных удобрений под картофель определяется прежде всего следующими факторами:

- реакцией почвенной среды;
- содержанием подвижного фосфора в почве;
- содержанием гумуса (дерново-подзолистые супесчаные почвы)
- дозами фосфора.

В расчётах на фоне различной обеспеченности почв подвижными формами фосфора, группами по значениям реакции почвенной среды, а также возрастающими дозами фосфорных удобрений для дерново-подзолистых супесчаных почв использовались различные уровни обеспеченности почв гумусом.

Отправной точкой в расчетах является прибавка урожая картофеля от фосфорных удобрений в интервале низкого содержания гумуса ($< 1,5\%$) для дерново-подзолистых супесчаных почв и подвижного фосфора в почве (< 50 мг/кг) для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв. В нашей выборке она составила 30,1 ц/га для дерново-подзолистых супесчаных почв и 17,8 ц/га для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв.

Далее, также как и в случае с моделированием эффективности азотных удобрений, выполнены расчеты по определению относительного и количественного вкладов факторов в формировании прибавки урожая картофеля для дерново-подзолистых супесчаных, а также средне- и тяжелосуглинистых почв (прил. 19).

Уравнения регрессии, используемые под картофель в моделях прогноза эффективности фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах, приведены в таблице 2.26.

Таблица 2.26

Уравнения регрессии. Дерново-подзолистые почвы

Аргументы системы	супесчаные почвы	средне- и тяжело-суглинистые почвы
гумус	$Y = 8,6945 - 4,9581/X$	–
pH	$Y = 128,75/X - 10,9961$	$Y = 33,2300/X - 2,8381$
P ₂ O ₅	$Y = 5,1948 + 255,44/X$	$Y = 228,81/X + 4,6532$
Дозы фосфора	$Y = 10,5918 - 171,08/X$	$Y = 7,8694 - 127,11/X$

Следующим этапом явился учет и количественная оценка вклада изучаемых факторов в формирование прибавки урожая с учетом вариации их значений в пределах общепринятых градаций (прил. 20).

Результаты расчетов, выполненные в соответствии с приведенным выше алгоритмом и представленные в виде выходной информации в зависимости от вариации признаков изучаемой системы, приведены в таблицах 2.27-2.30, прил. 20-23.

Таблица 2.27

Прибавка урожая картофеля от фосфорных удобрений
на дерново-подзолистых супесчаных почвах, ц/га

P ₂ O ₅ , мг/кг	pH	Урожай без удобрений, ц/га	Дозы фосфора, кг/га				
			30	60	90	120	150
содержание гумуса < 1,5%							
<50	<4,5	105	41	44	45	45	46
	5,1-5,5	123	35	38	39	39	40
	>6	130	29	32	33	33	34
>150	<4,5	153	36	38	39	40	40
	5,1-5,5	180	30	33	34	34	34
	>6	189	24	26	27	28	28
содержание гумуса > 1,5%							
<50	<4,5	145	43	46	47	47	47
	5,1-5,5	171	37	40	41	41	42
	>6	179	31	34	35	35	36
>150	<4,5	212	37	40	41	42	42
	5,1-5,5	250	32	35	35	36	36
	>6	262	26	28	29	30	30

Анализ данных по прибавке урожайности картофеля и окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожайности картофеля (таблицы 2.27,2.28) говорит о том, что по мере увеличения содержания в почве подвижных форм фосфора и переход от слабокислой реакции почвенного раствора к нейтральной наблюдается снижение прибавки урожая и окупаемости от фосфорных удобрений.

Таблица 2.28

Окупаемость фосфорных удобрений
на дерново-подзолистых супесчаных почвах, кг/кг

P ₂ O ₅ , мг/кг	рН	Дозы фосфора, кг/га				
		30	60	90	120	150
содержание гумуса < 1,5%						
<50	<4,5	137	73	50	38	30
	5,1-5,5	117	63	43	33	26
	>6	97	53	37	28	22
>150	<4,5	118	64	44	33	27
	5,1-5,5	99	54	37	28	23
	>6	79	44	30	23	19
содержание гумуса > 1,5%						
<50	<4,5	143	76	52	39	32
	5,1-5,5	124	67	45	34	28
	>6	103	56	39	29	24
>150	<4,5	125	67	46	35	28
	5,1-5,5	106	58	39	30	24
	>6	85	47	33	25	20

Так, на дерново-подзолистых супесчаных почвах одновременное увеличение степени обеспеченности почв P₂O₅ и переход к нейтральной реакции почвенной среды способствовало снижению прибавки урожайности и окупаемости в 1,6-1,7 раз (таблицы 2.27,2.28).

Похожая динамика в снижении прибавки урожая картофеля от фосфорных удобрений была описана Л.М. Державиным (1992). При обобщении данных опытов была получена обратная зависимость от величины рН. Факт уменьшения прибавок урожая картофеля с увеличением

pH был объяснён улучшением фосфатного режима почв при снижении кислотности.

Содержание гумуса оказывает прямое влияние на эффективность фосфорных удобрений – с увеличением его содержания наблюдается рост прибавки и окупаемости фосфорных удобрений прибавкой урожая картофеля. Так, увеличение доз фосфорных удобрений с 30 до 150 кг/га при содержании гумуса < 1,5%, подвижного фосфора < 50 мг/кг и pH < 4,5 приводит к увеличению прибавки урожая картофеля с 41 до 46 ц/га, а при содержании гумуса > 1,5%, подвижного фосфора < 50 мг/кг и pH < 4,5 прибавка увеличивается с 43 до 47 ц/га. Кроме того, при увеличении содержания гумуса наблюдается увеличение урожая картофеля без удобрений (табл. 2.27). Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв P_2O_5 и переход к нейтральной реакции почвенной среды при содержании гумуса в почве < 1,5% способствовало увеличению урожая картофеля без удобрений со 105 до 189 ц/га, а при содержании гумуса в почве > 1,5% урожай без удобрений увеличивался со 145 до 262 ц/га.

На почвах с содержанием подвижного фосфора > 150 мг/кг, pH > 6, дозе фосфора 150 кг/га и содержании гумуса < 1,5% суммарная урожайность достигала 217 ц/га, а при содержании гумуса > 1,5% – 292 ц/га.

На дерново-подзолистых супесчаных почвах (табл. 2.27, 2.28) эффективность фосфорных удобрений выше, чем на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах (табл. 2.29, 2.30). Это может быть связано с тем, что на кислых дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах происходит химическое закрепление фосфорных удобрений с образованием трудно растворимых и нерастворимых фосфатов кальция, магния, алюминия и железа происходит в большей степени, чем на лёгких по гранулометрическому составу дерново-подзолистых супесчаных почвах, имеющих меньшую ёмкость поглощения и содержащих в ней меньше указанных двух- и трёхвалентных катионов.

На дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых, также как и на супесчаных наблюдаются те же закономерности снижения прибавки урожая картофеля с увеличением содержания в почве подвижных форм калия и при переходе от слабокислой реакции почвенного раствора к нейтральной. Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв P_2O_5 и переход от $pH < 4,5$ к $pH > 6,0$ сопровождается уменьшением прибавки урожайности на 8 ц/га (в 1,5-1,7 раз) (табл. 2.29), а окупаемости на 26 кг/кг (при дозе фосфора 30 кг/га) и 5 кг/кг (при дозе фосфора 150 кг/га) (табл. 2.30).

Увеличение дозы фосфорных удобрений способствует незначительному росту прибавки урожая картофеля. Так, возрастание дозы фосфора удобрения с P_{30} до P_{150} при содержании $P_2O_5 < 50$ мг/кг и $pH < 4,5$ увеличивает прибавку с 19 до 23 ц/га, а при содержании $P_2O_5 > 150$ мг/кг и $pH > 6,0$ – с 11 до 15 ц/га (табл. 2.29).

Увеличение дозы фосфора снижало окупаемость фосфорных удобрений (табл. 2.30). Максимальная окупаемость фосфорных удобрений на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв отмечена при минимальной дозе фосфора P_{30} , $P_2O_5 < 50$ мг/кг и $pH < 4,5$ и составила 64 кг/кг. Увеличение дозы с P_{30} до P_{150} способствовало снижению окупаемости фосфорных удобрений на 41-49 кг/кг (в 4,2-4,3 раза) при содержании подвижного фосфора < 50 мг/кг и на 28-36 кг/кг (в 3,8-4,0 раза) при содержании подвижного фосфора > 150 мг/кг.

Одновременное увеличение степени обеспеченности почв P_2O_5 и переход к нейтральной реакции почвенной среды способствовало увеличению урожая картофеля в контрольном варианте со 121 до 177 ц/га.

На почвах с содержанием подвижного фосфора > 150 мг/кг, $pH > 6,0$ и дозе фосфора 150 кг/га суммарная урожайность достигала 192 ц/га (табл. 2.29).

Таблица 2.29

Прибавка урожая картофеля от фосфорных удобрений на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах, ц/га

P ₂ O ₅ , мг/кг	рН	Урожай без удобрений, ц/га	Дозы фосфора, кг/га				
			30	60	90	120	150
<50	<4,5	121	19	21	22	22	23
	5,1-5,5	135	18	20	21	21	21
	>6,0	141	16	18	19	19	20
50-100	<4,5	126	16	18	19	19	20
	5,1-5,5	141	15	17	18	18	18
	>6,0	147	13	15	16	16	17
101-150	<4,5	129	15	17	18	18	18
	5,1-5,5	145	14	16	16	17	17
	>6,0	151	12	14	15	15	15
>150	<4,5	152	14	17	17	18	18
	5,1-5,5	170	13	15	16	16	16
	>6,0	177	11	13	14	15	15

Таблица 2.30

Окупаемость фосфорных удобрений
на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах, кг/кг

P ₂ O ₅ , мг/кг	рН	Дозы фосфора, кг/га				
		30	60	90	120	150
<50	<4,5	64	36	25	19	15
	5,1-5,5	59	33	23	17	14
	>6,0	54	31	21	16	13
50-100	<4,5	54	31	21	16	13
	5,1-5,5	49	28	20	15	12
	>6,0	44	26	18	14	11
101-150	<4,5	50	29	20	15	12
	5,1-5,5	45	26	18	14	11
	>6,0	40	24	16	13	10
>150	<4,5	48	28	19	15	12
	5,1-5,5	43	25	17	13	11
	>6,0	38	22	16	12	10

2.4. Эффективность калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах

В ходе исследований было обработано более 500 наблюдений на почвах с различным гранулометрическим составом. Характеристика выборок, по которым выполнены расчеты, приведена в таблице 2.31.

Полученные данные характеризуются широким диапазоном значений по каждому агрохимическому показателю.

Таблица 2.31

Характеристика выборок дерново-подзолистых почв
на опытах с внесением калийных удобрений

Почва	Число наблюдений, п	Гумус, %	pH _{KCl}	Н л.г. по Корнфилду	P ₂ O ₅	K ₂ O	Доза азота, кг/га	Прибавка урожайности, ц/га	Окупаемость, кг/кг
				МГ/КГ					
Супесчаная	247	1,0... 2,7	4,0... 6,7	56... 115	17... 390	35... 520	60... 150	15...50	11...84
Средне- и тяжело-суглинистая	230	0,9... 4,0	4,0... 7,5	15... 145	2... 325	13... 570	60... 150	22...36	16...55

Результаты корреляционного анализа изменчивости прибавки урожая картофеля от калийных удобрений в зависимости от вариации агрохимических свойств дерново-подзолистых почв приведены в таблице 2.32.

Таблица 2.32

Связь прибавки урожая картофеля от калийных удобрений
с агрохимическими свойствами дерново-подзолистых почв

Аргументы системы	Корреляция						Критерий линейности корреляции	
	Линейная			Криволинейная			Fф	Fт
	коэффициенты		уровень значимости	корреляционное отношение	индекс детерминации	уровень значимости		
	корреляции	детерминации						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Супесчаные								
Гумус	0,20	0,04	0,002	0,70	0,49	0,001	22,16	3,89
pH	0,35	0,12	0,001	0,60	0,36	0,001	4,35	3,89
N л.г.	0,15	0,02	0,000	0,52	0,27	0,005	1,70	4,17
P ₂ O ₅	0,37	0,14	0,001	0,52	0,27	0,001	1,56	3,89
K ₂ O	-0,45	0,20	0,001	0,57	0,32	0,001	2,04	3,89
Дозы	0,24	0,06	0,001	0,78	0,61	0,001	50,32	3,87
Средне- и тяжелосуглинистые								
Гумус	0,17	0,03	0,020	0,71	0,50	0,001	18,47	3,89
pH	0,48	0,23	0,001	0,57	0,32	0,001	1,86	3,87
N	0,44	0,19	0,001	0,51	0,26	0,001	0,91	3,98
P ₂ O ₅	0,50	0,25	0,001	0,55	0,30	0,001	0,93	3,89
K ₂ O	-0,50	0,25	0,001	0,64	0,41	0,001	2,92	3,89
Дозы	0,37	0,14	0,001	0,84	0,71	0,001	84,44	3,87

Результаты корреляционной зависимости (табл. 2.32), характеризующей влияние содержания гумуса на эффективность калийных удобрений, показали наличие сильной по тесноте связи (значения корреляционного отношения варьировали в пределах 0,70...0,71), прямой по направлению и криволинейной по форме (во всех случаях Fф > Fт).

Графическая зависимость показана на рисунках 24,25.

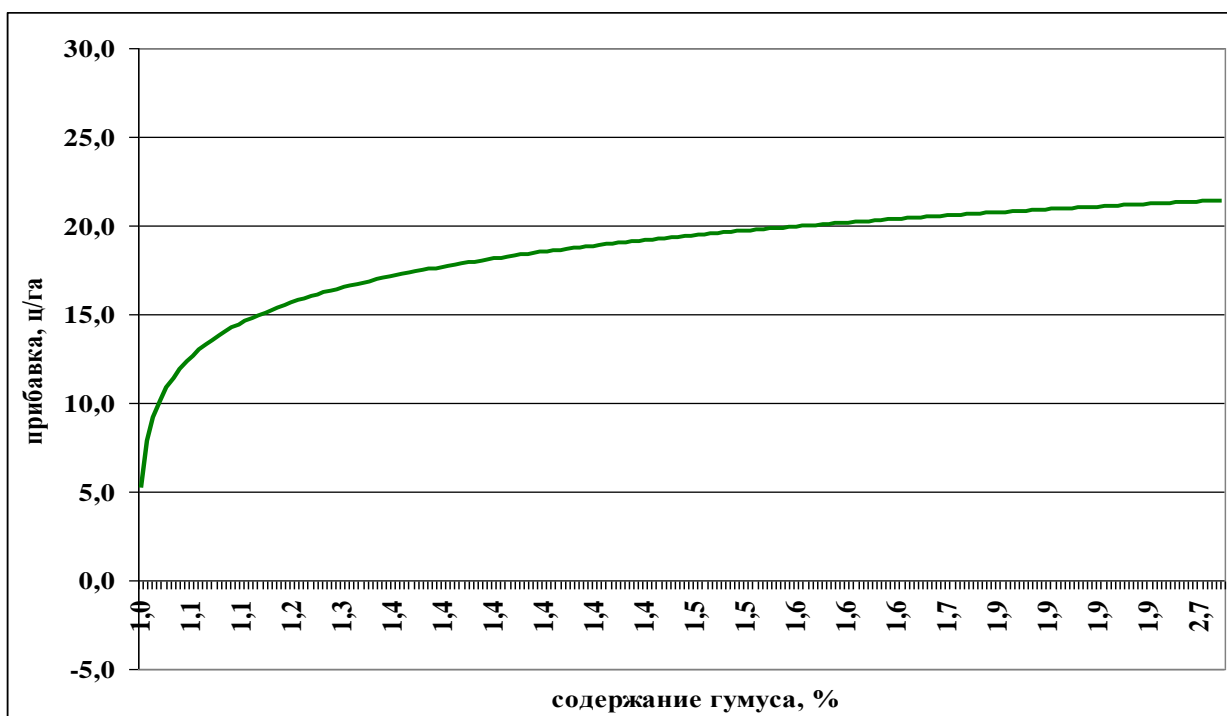


Рисунок 24

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в зависимости от содержания гумуса в дерново-подзолистых супесчаных почвах

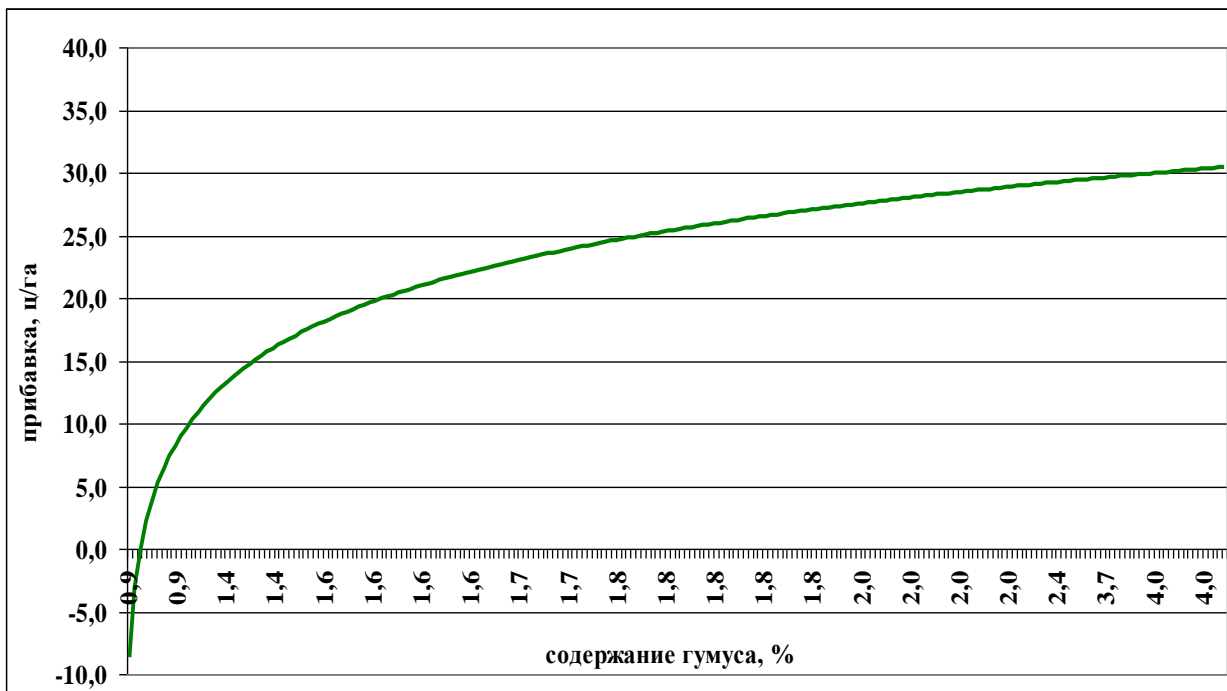


Рисунок 25

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в зависимости от содержания гумуса в дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах

Зависимость эффективности калийных удобрений под картофель на дерново-подзолистых почвах от реакции почвенной среды (табл. 2.32) проявляется как средняя по тесноте, прямая по направлению и криволинейная по форме для супесчаных и линейная для средне- и тяжелосуглинистых почв (рис. 26,27).

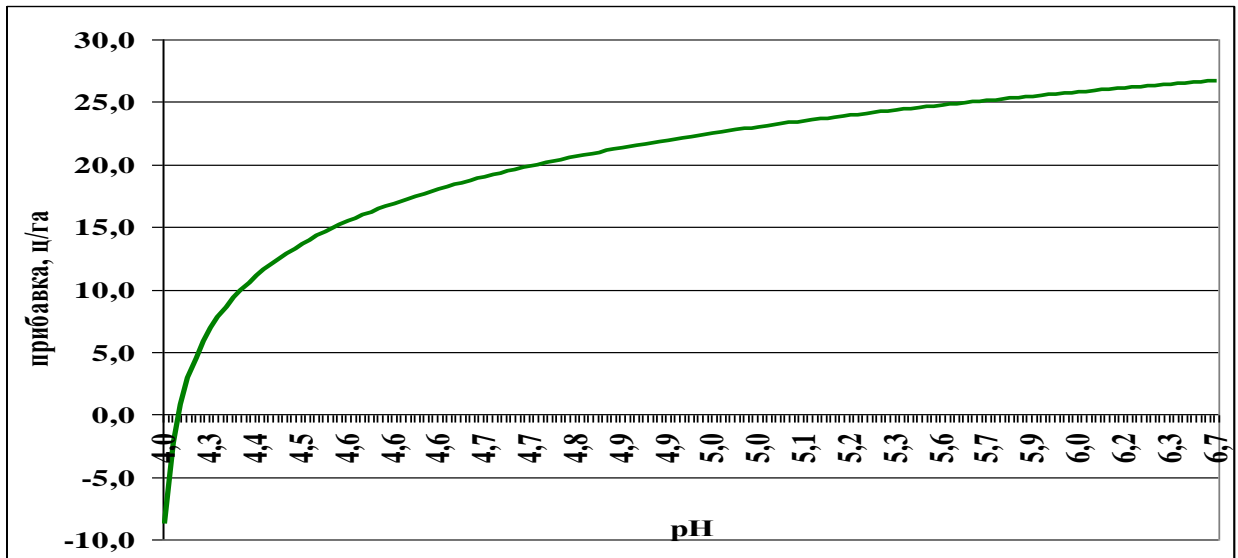


Рисунок 26

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в зависимости от реакции почвенной среды в дерново-подзолистых супесчаных почвах

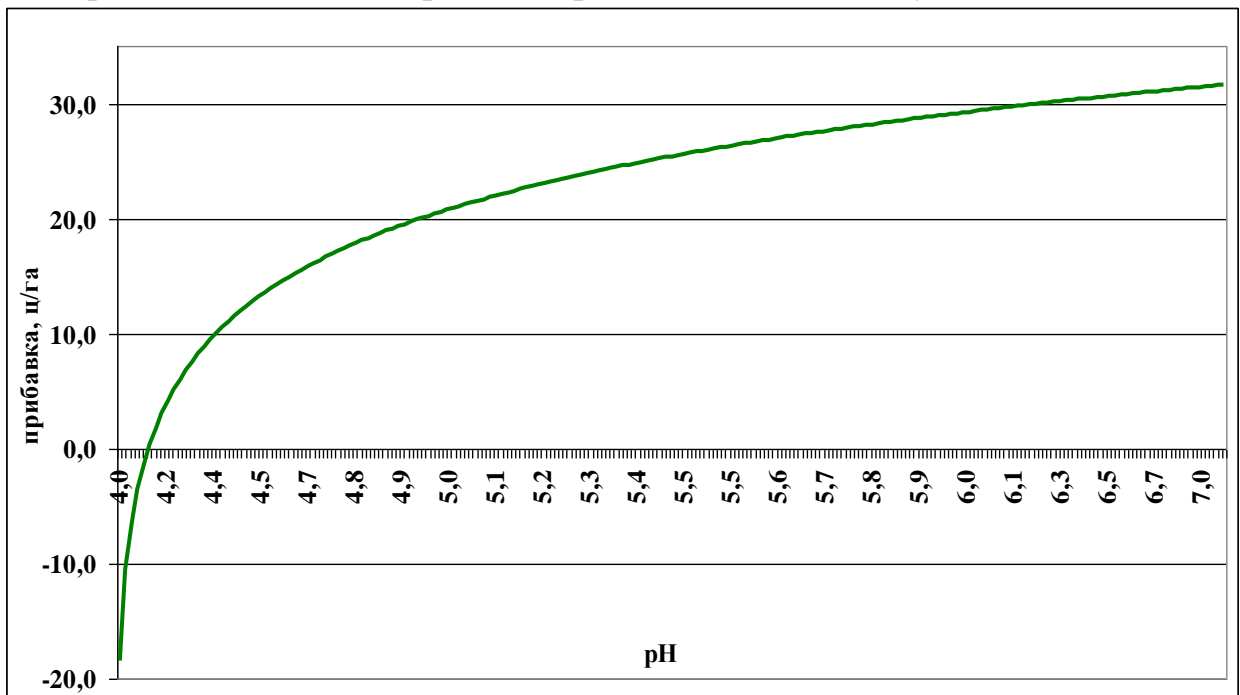


Рисунок 27

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в зависимости от реакции почвенной среды в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Зависимость эффективности калийных удобрений под картофель на дерново-подзолистых почвах от обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом (табл. 2.32) проявляется как прямая по направлению ($r = 0,15$, $r = 0,44$), линейная по форме ($F_{\phi} < F_{T}$). По тесноте связи зависимость характеризуется как средняя для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв ($r = 0,44$) и слабая для супесчаных почв ($r = 0,15$), поэтому использование данного показателя в расчетах целесообразно для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв (рис. 28).

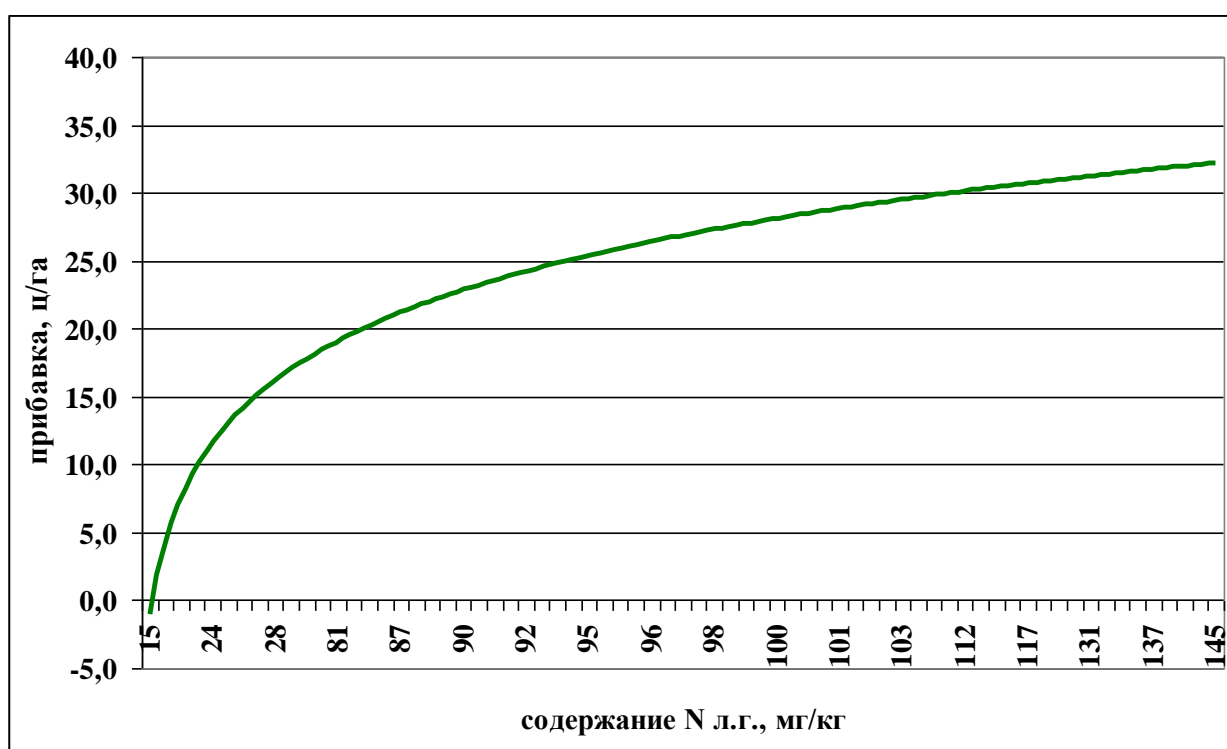


Рисунок 28

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в зависимости от содержания легкогидролизуемого азота в дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах

Результаты анализа, характеризующие влияние обеспеченности почв подвижным фосфором на эффективность калийных удобрений (табл. 2.32), свидетельствуют о прямой по направлению, линейной по форме ($F_{\phi} < F_{T}$) и средней по тесноте корреляции. Значения коэффициентов корреляции находятся в пределах 0,37...0,50 (рис. 29,30).

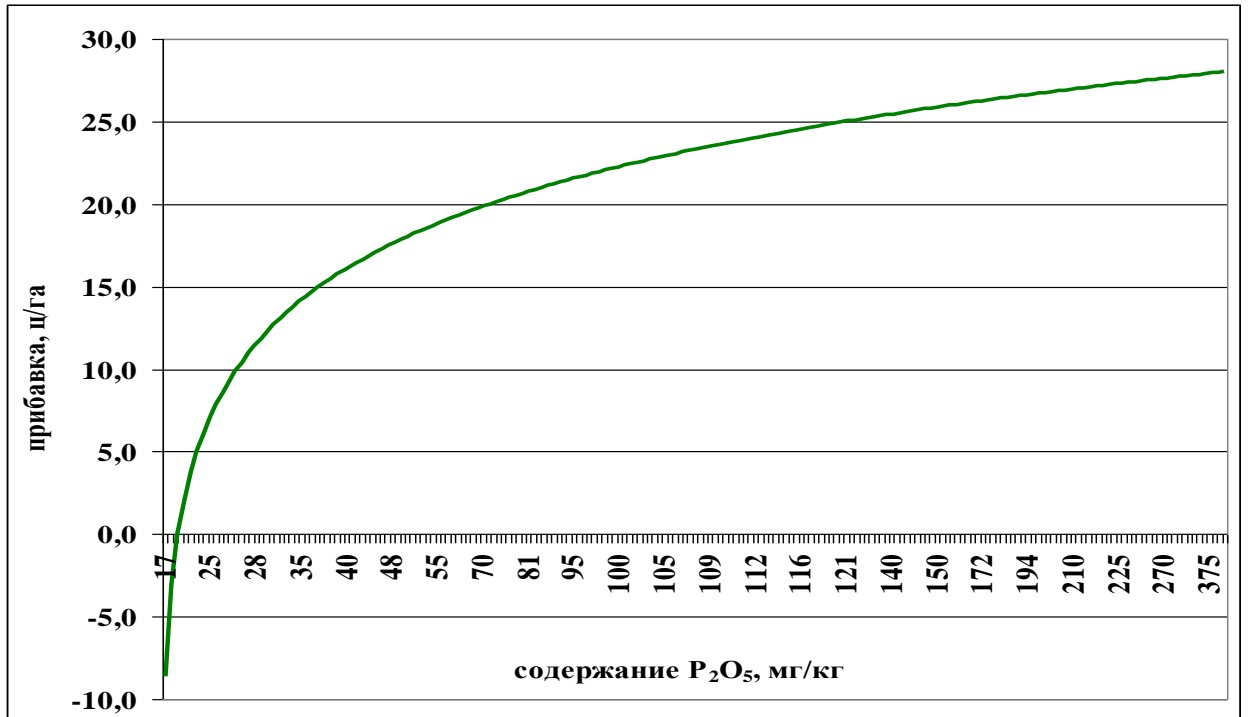


Рисунок 29

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в зависимости от содержания подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых супесчаных почвах

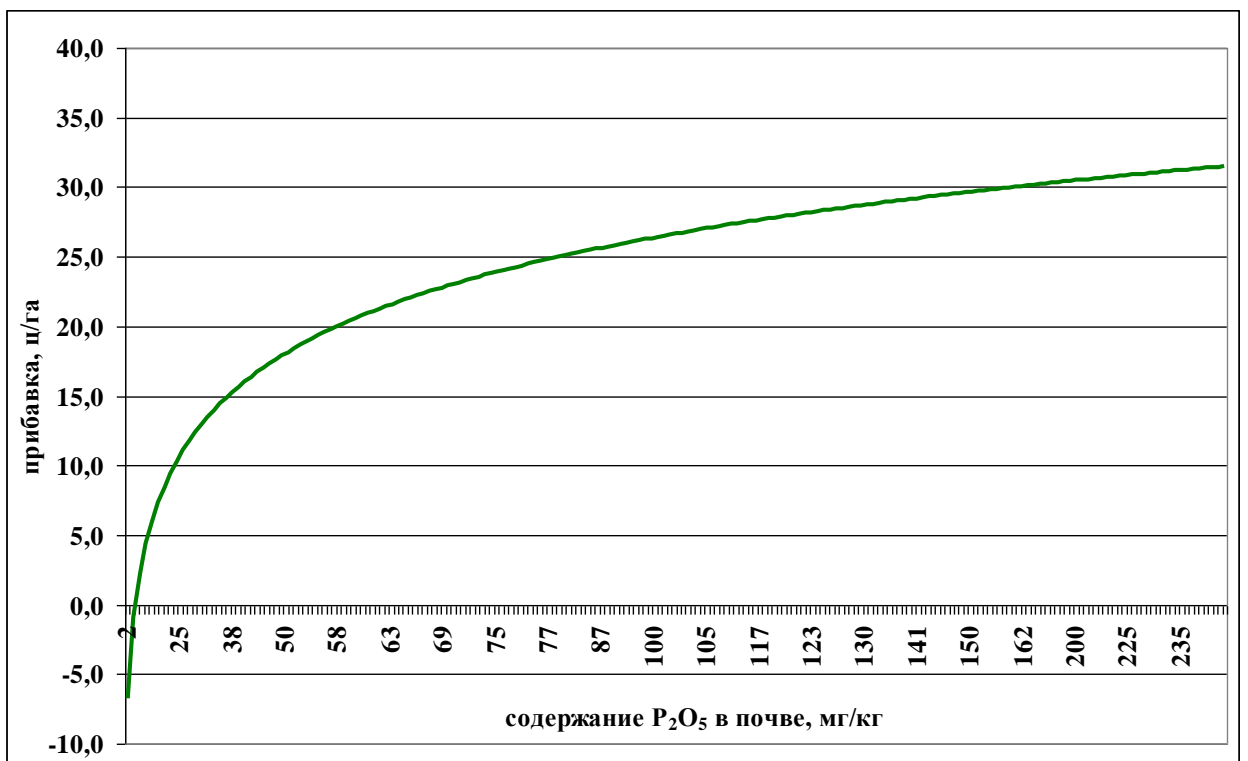


Рисунок 30

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в зависимости от содержания подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах

Зависимость эффективности калийных удобрений от степени обеспеченности почв подвижным калием (табл. 2.32) четко проявляется как линейная по форме, обратная по направлению и средняя по тесноте связи корреляция ($r = -0.43 \dots -0.50$). Эффективность калийных удобрений наиболее высока при низком содержании подвижного калия в почве. По мере увеличения его содержания эффективность калийных удобрений под картофель закономерно и линейно снижалась (рис. 31).

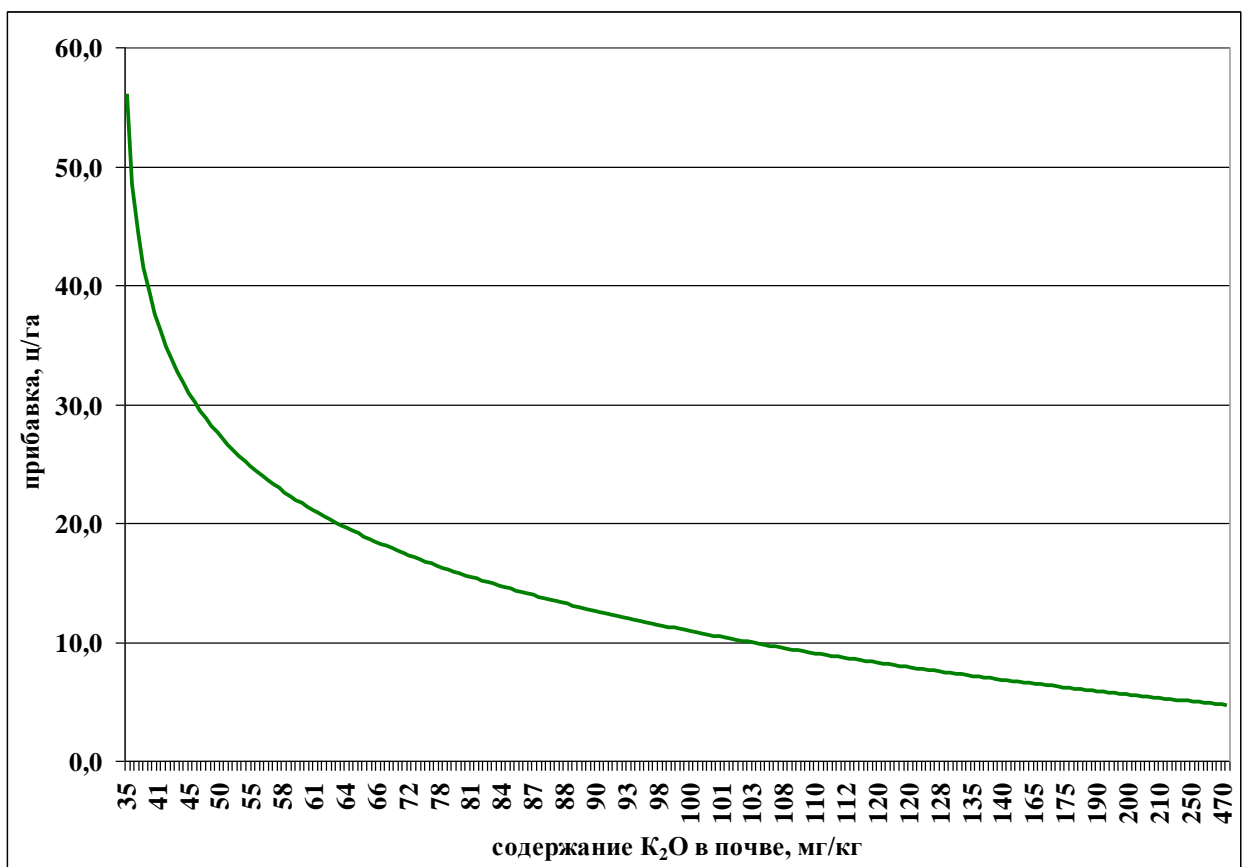


Рисунок 31

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в зависимости
от содержания подвижных форм калия
в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Зависимость эффективности калийных удобрений под картофель в зависимости от доз калия (табл. 2.32) достоверно ($t = 0,001$) характеризуется криволинейной по форме корреляцией. Во всех случаях гипотеза линейности отвергается ($F_f > F_t$). Значения корреляционного отношения достигают 0,78...0,84, что говорит о сильной по тесноте связи (рис. 32,33).

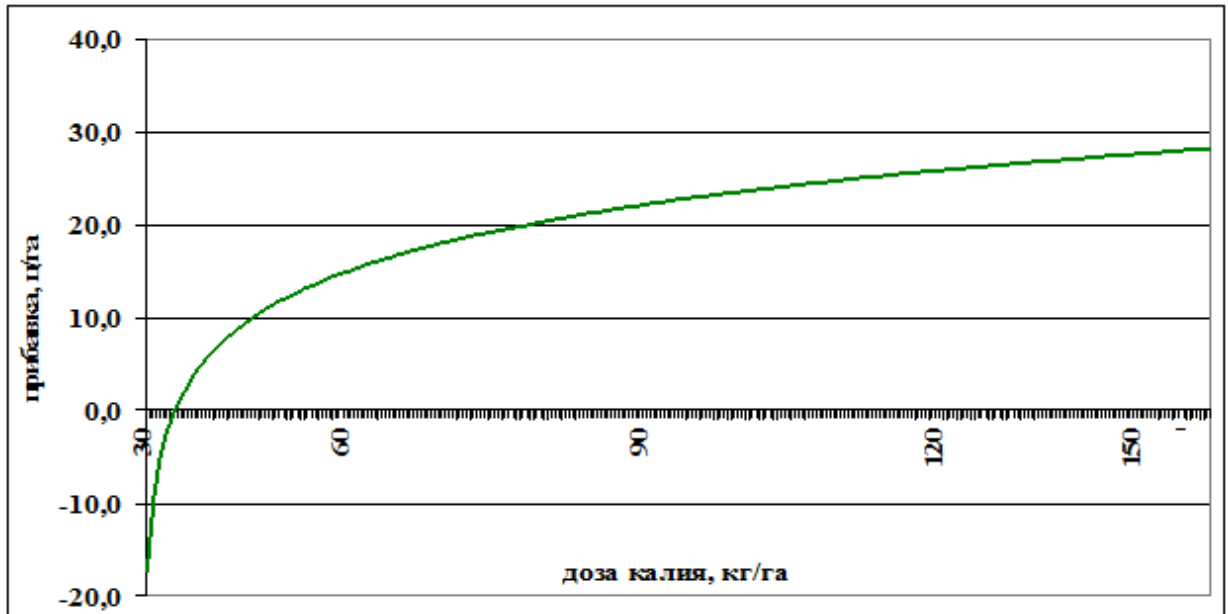


Рисунок 32

Прибавка урожая картофеля в зависимости от доз калийных удобрений в дерново-подзолистой супесчаной почве

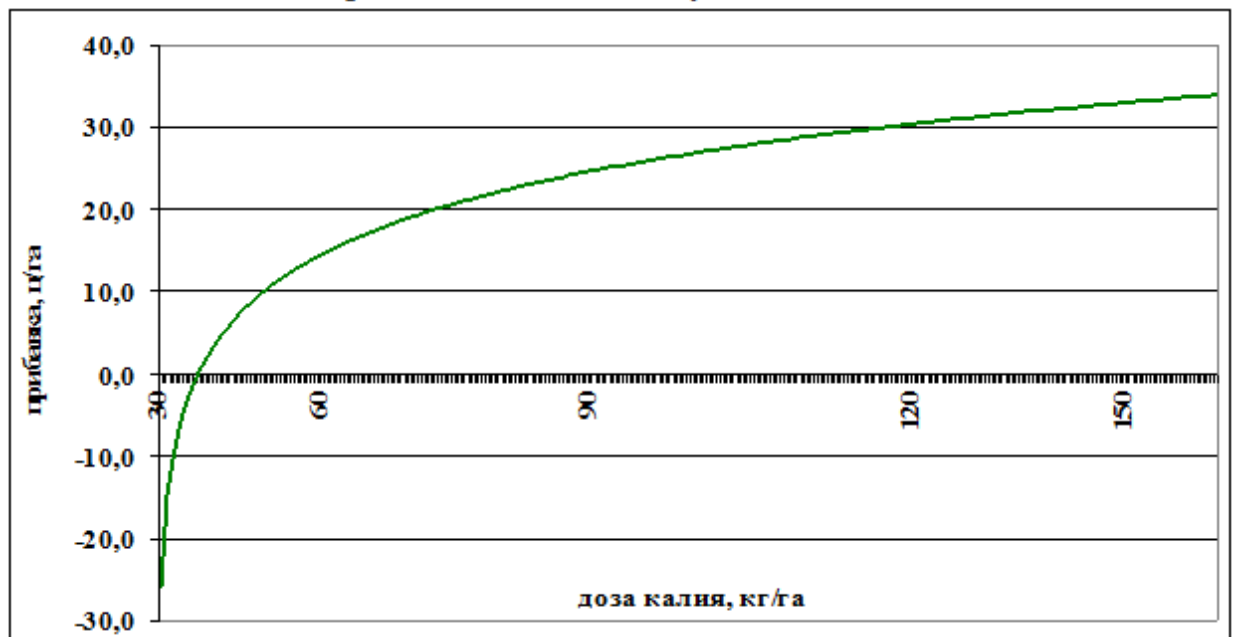


Рисунок 33

Прибавка урожая картофеля в зависимости от доз калийных удобрений в дерново-подзолистой средне- и тяжелосуглинистой почве

Статистический анализ данных, полученных на дерново-подзолистых почвах на опытах с внесением калийных удобрений (табл. 2.32) показал, что значимыми аргументами системы «почва – удобрение – растение» являются:

- содержание гумуса;
- реакция почвенной среды;
- содержание легкогидролизуемого азота (для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв)
- содержание подвижных форм фосфора;
- содержание подвижных форм калия;
- дозы калийных удобрений.

В расчётах на фоне различной обеспеченности дерново-подзолистых супесчаных и средне- и тяжелосуглинистых почв подвижными формами фосфора и калия, а также возрастающими дозами калийных удобрений использовались уровни обеспеченности почв гумусом и группы по значениям реакции почвенной среды, а для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв также группы почв с различным содержанием легкогидролизуемого азота.

При группировке почв по содержанию гумуса отправной точкой в расчетах явилась прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в интервале низкого содержания гумуса в почве (<1,5%). В нашей выборке она составила 16,7 ц/га для супесчаных почв и 10,3 ц/га для средне- и тяжелосуглинистых почв.

Далее, также как и в случае с моделированием эффективности азотных и фосфорных удобрений, были выполнены расчеты по определению относительного и количественного вкладов факторов в формировании прибавки урожая картофеля для супесчаных и средне- и тяжелосуглинистых почв (прил. 24).

Уравнения регрессии, используемые под картофель в моделях прогноза эффективности калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах, приведены в таблице 2.33.

Таблица 2.33

Уравнения регрессии. Дерново-подзолистые почвы

Аргументы системы	Супесчаные почвы	Средне- и тяжелосуглинистые почвы
Содержание гумуса в почве	$Y = 6,6424 - 3,9153/X$	$Y = 6,7239 - 4,7442/X$
Содержание P_2O_5 в почве	$Y = 3,7086 - 65,92/X$	$Y = 2,0975 - 6,00/X$
Содержание K_2O в почве	$Y = 2377,74/X - 7,6187$	$Y = 2,0291 + 79,11/X$
Дозы калия	$Y = 5,9798 - 136,69/X$	$Y = 3,9333 - 116,36/X$

Следующим этапом явился учет и количественная оценка вклада изучаемых факторов в формирование прибавки урожая с учетом вариации их значений в пределах общепринятых градаций (прил. 25).

Результаты расчетов, выполненные в соответствии с приведенным выше алгоритмом и представленные в виде выходной информации в зависимости от вариации содержания гумуса, приведены в таблицах 2.34-2.37, прил. 26-29.

Анализ данных по прибавке и окупаемости калийных удобрений прибавкой урожая картофеля (табл. 2.34, 2.35) на дерново-подзолистых супесчаных почвах свидетельствует о том, что по мере увеличения содержания в почве гумуса и подвижных форм фосфора возрастает прибавка урожая картофеля и окупаемость калийных удобрений.

Содержание гумуса оказывает прямое влияние на эффективность калийных удобрений. С увеличением содержания гумуса в почве наблюдается увеличение прибавки и окупаемости калийных удобрений прибавкой урожая картофеля.

Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв подвижным фосфором и доз калийных удобрений с 60 до 150 кг/га при

содержании гумуса < 1,5% приводит к увеличению прибавки урожая картофеля с 41 до 44 ц/га, а при содержании гумуса > 1,5% прибавка увеличивается с 42 до 45 ц/га (при содержании подвижного калия менее 80 мг/кг). Кроме того, при увеличении содержания гумуса наблюдается увеличение урожая картофеля без удобрений (табл. 2.34). Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв P_2O_5 и K_2O при содержании гумуса в почве < 1,5% способствовало увеличению урожая картофеля без удобрений с 59 до 124 ц/га, а при содержании гумуса в почве > 1,5% урожай без удобрений увеличивался со 75 до 159 ц/га.

Таблица 2.34

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений
на дерново-подзолистых супесчаных почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы калия, кг/га			
P_2O_5	K_2O		60	90	120	150
Содержание гумуса < 1,5%						
<50	<80	59	41	42	43	43
	>170	85	13	14	14	14
51-100	<80	60	42	43	43	44
	>170	86	14	15	15	15
101-150	<80	75	43	43	44	44
	>170	108	14	15	15	16
>150	<80	86	43	44	44	44
	>170	124	14	15	16	16
Содержание гумуса > 1,5%						
<50	<80	75	42	43	43	44
	>170	108	14	15	15	15
51-100	<80	77	43	44	44	44
	>170	110	15	16	16	16
101-150	<80	96	43	44	45	45
	>170	138	15	16	16	17
>150	<80	110	44	44	45	45
	>170	159	15	16	16	17

Таблица 2.35

Окупаемость калийных удобрений
на дерново-подзолистых супесчаных почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы калия, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание гумуса <1,5%					
<50	<80	69	47	35	28
	>170	22	15	12	10
51-100	<80	70	48	36	29
	>170	23	16	13	10
101-150	<80	71	48	36	29
	>170	24	17	13	10
>150	<80	71	48	37	29
	>170	24	17	13	11
Содержание гумуса >1,5%					
<50	<80	70	48	36	29
	>170	23	16	13	10
51-100	<80	72	49	37	30
	>170	25	17	13	11
101-150	<80	72	49	37	30
	>170	25	18	14	11
>150	<80	73	49	37	30
	>170	26	18	14	11

Увеличение содержания в почве подвижного калия снижает эффективность калийных удобрений. Так, с увеличением K₂O с содержания <80 мг/кг до содержания >170 мг/кг наблюдается снижение прибавки и окупаемости калийных удобрений прибавкой урожая картофеля в 2,6-3,0 раза.

Окупаемость калийных удобрений (табл. 2.35) закономерно снижается с увеличением доз калийных удобрений и содержанием подвижного калия в почве. Так, одновременное увеличение доз калийных удобрений и K₂O приводит к снижению окупаемости с 69-71 кг/кг до 10-11 кг/кг при

содержании гумуса <1,5% и с 70-73 кг/кг до 10-11 кг/кг при содержании гумуса >1,5%.

На почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, K_2O >170 мг/кг, дозе калия 150 кг/га и содержании гумуса < 1,5% суммарная урожайность составляла 140 ц/га, а при содержании гумуса > 1,5% – 176 ц/га.

Таблица 2.36

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений
на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы калия, кг/га			
P_2O_5	K_2O		60	90	120	150
Содержание гумуса <1,5%						
<50	<80	91	10	11	11	11
	>170	125	9	10	10	10
51-100	<80	101	10	11	11	11
	>170	138	9	10	10	10
101-150	<80	113	10	11	11	11
	>170	154	9	10	10	10
>150	<80	117	10	11	11	11
	>170	159	9	10	10	10
Содержание гумуса >1,5%						
<50	<80	101	12	12	13	13
	>170	137	11	11	12	12
51-100	<80	112	12	13	13	13
	>170	152	11	12	12	12
101-150	<80	125	12	13	13	13
	>170	170	11	12	12	12
>150	<80	129	12	13	13	13
	>170	176	11	12	12	12

Как видно из приведённых данных (табл. 2.34-2.37), эффективность калийных удобрений на дерново-подзолистых супесчаных почвах в 1,4-4,1 раза выше, чем на средне- и тяжелосуглинистых почвах. Это может быть

связано с тем, что на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах преобладает калий удобрений, находящийся в обменно-поглощённом состоянии, а на легких супесчаных почвах, имеющих меньшую по сравнению со средне- и тяжелосуглинистыми почвами ёмкость поглощения, калий преимущественно находится в почвенном растворе, вследствие чего становится более доступен растениям.

Анализ данных по прибавке и окупаемости калийных удобрений прибавкой урожая картофеля (табл. 2.36,2.37) на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах свидетельствует о том, что также как и для дерново-подзолистых супесчаных почв, по мере увеличения содержания в почве гумуса и подвижных форм фосфора наблюдается тенденция к увеличению прибавки и окупаемости калийных удобрений прибавкой урожая картофеля. Однако в цифровых величинах эти увеличения незначительны.

Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв подвижным фосфором и доз калийных удобрений с 60 до 150 кг/га при содержании гумуса < 1,5% приводит к увеличению прибавки урожая картофеля с 10 до 11 ц/га, а при содержании гумуса > 1,5% прибавка увеличивается с 12 до 13 ц/га (при содержании подвижного калия менее 80 мг/кг). Кроме того, при увеличении содержания гумуса наблюдается увеличение урожая картофеля без удобрений (табл. 2.36). Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв P_2O_5 и K_2O при содержании гумуса в почве < 1,5% способствовало увеличению урожая картофеля в контрольном варианте с 91 до 159 ц/га, а при содержании гумуса в почве > 1,5% – со 101 до 176 ц/га.

Как и для супесчаных почв (табл. 2.34,2.35), увеличение содержания в почве подвижного калия снижает эффективность калийных удобрений. Однако снижение эффективности также незначительно.

Окупаемость калийных удобрений (табл. 2.37) закономерно снижается с увеличением доз калийных удобрений и содержанием подвижного калия в

почве. Так, одновременное увеличение доз калийных удобрений и K_2O приводит к снижению окупаемости с 15-17 кг/кг до 7 кг/кг при содержании гумуса <1,5% и с 18-20 кг/кг до 8-9 кг/кг при содержании гумуса >1,5%.

Таблица 2.37

Окупаемость калийных удобрений

на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы калия, кг/га			
P_2O_5	K_2O	60	90	120	150
Содержание гумуса <1,5%					
<50	<80	17	12	9	7
	>170	15	11	8	7
51-100	<80	17	12	9	7
	>170	15	11	8	7
101-150	<80	17	12	9	7
	>170	15	11	8	7
>150	<80	17	12	9	7
	>170	15	11	8	7
Содержание гумуса >1,5%					
<50	<80	20	14	11	9
	>170	18	13	10	8
51-100	<80	20	14	11	9
	>170	18	13	10	8
101-150	<80	20	14	11	9
	>170	18	13	10	8
>150	<80	20	14	11	9
	>170	18	13	10	8

На почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, K_2O >170 мг/кг, дозе калия 150 кг/га и содержании гумуса < 1,5% суммарная урожайность составляла 169 ц/га, а при содержании гумуса > 1,5% – 188 ц/га.

Статистический анализ данных (табл. 2.32) показал необходимость использования в расчётах такого показателя, как реакция почвенной среды.

При группировке почв по значениям реакции почвенной среды отправной точкой в расчетах явилась прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в интервале $pH < 4,5$. В нашей выборке она составила 9,8 ц/га для супесчаных почв и 10,9 ц/га для средне- и тяжелосуглинистых почв.

Далее выполнены расчеты по определению относительного и количественного вкладов факторов в формировании прибавки урожая картофеля для супесчаных и средне- и тяжелосуглинистых почв (прил. 30).

Уравнения регрессии, используемые под картофель в моделях прогноза эффективности калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах, приведены в таблице 2.38.

Таблица 2.38

Уравнения регрессии. Дерново-подзолистые почвы

Аргументы системы	Супесчаные почвы	Средне- и тяжелосуглинистые почвы
pH	$Y = 9,3090 - 32,9100/X$	$Y = 24,2070 - 92,7237/X$
Содержание P_2O_5 в почве	$Y = 2,2644 - 40,25/X$	$Y = 2,3392 - 6,69/X$
Содержание K_2O в почве	$Y = 1451,81/X - 4,6518$	$Y = 2,2630 + 88,22/X$
Дозы калия	$Y = 3,6512 - 83,46/X$	$Y = 4,3866 - 129,77/X$

Следующим этапом явился учет и количественная оценка вклада изучаемых факторов в формирование прибавки урожая с учетом вариации их значений в пределах общепринятых градаций (прил. 31).

Результаты расчетов, выполненные в соответствии с приведенным выше алгоритмом и представленные в виде выходной информации в зависимости от вариации pH, приведены в таблицах 2.39-2.42, прил. 32-35.

Таблица 2.39

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений
на дерново-подзолистых супесчаных почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы калия, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O		60	90	120	150
pH <4,5						
<50	<80	73	25	25	25	25
	>170	104	7	8	8	8
>150	<80	106	25	26	26	26
	>170	153	8	9	9	9
pH >5,5						
<50	<80	80	27	27	28	28
	>170	115	10	10	10	10
>150	<80	117	28	28	28	29
	>170	168	10	11	11	11

Таблица 2.40

Окупаемость калийных удобрений
на дерново-подзолистых супесчаных почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы калия, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150
pH <4,5					
<50	<80	41	28	21	17
	>170	12	9	7	5
>150	<80	42	29	22	18
	>170	14	10	7	6
pH >5,5					
<50	<80	45	30	23	18
	>170	16	11	9	7
>150	<80	46	31	24	19
	>170	17	12	9	7

Аналогично данным, приведённым в табл. 2.34-2.37, прослеживается тенденция возрастания прибавки и окупаемости калийных удобрений прибавкой урожая картофеля с увеличением содержания в почве подвижных форм фосфора и снижение прибавки и окупаемости калийных удобрений с увеличением содержания в почве подвижных форм калия (табл. 2.39,2.40).

На почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной ($\text{pH} > 5,5$), эффективность калийных удобрений проявляется несколько сильнее, чем на почвах с сильноокислой реакцией почвенной среды ($\text{pH} < 4,5$) (табл. 2.39,2.40). Так, с увеличением в почве подвижного калия с содержания < 80 до содержания > 170 мг/кг эффективность калийного удобрения при $\text{pH} < 4,5$ снижается в 2,9-3,6 раза, а при $\text{pH} > 5,5$ – в 2,6-2,8 раза.

Окупаемость калийных удобрений закономерно снижается с увеличением доз калийных удобрений и содержанием подвижного калия в почве (табл. 2.40). Так, одновременное увеличение доз калийных удобрений и K_2O приводит к снижению окупаемости с 41-42 кг/кг до 5-6 кг/кг при $\text{pH} < 4,5$ и с 45-46 кг/кг до 7-9 кг/кг при $\text{pH} > 5,5$.

Увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия приводит к увеличению урожая картофеля без удобрений, который увеличивается с 73 до 153 ц/га при $\text{pH} < 4,5$ и с 80 до 168 ц/га при $\text{pH} > 5,5$.

На почвах с содержанием подвижного фосфора > 150 мг/кг, $\text{K}_2\text{O} > 170$ мг/кг, дозе калия 150 кг/га и $\text{pH} < 4,5$ суммарная урожайность составляла 162 ц/га, а при $\text{pH} > 5,5$ – 179 ц/га (табл. 2.39).

На дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах эффективность калийных удобрений ниже (табл. 2.41,2.42).

Таблица 2.41

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений
на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы калия, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O		60	90	120	150
pH <4,5						
<50	<80	84	11	11	12	12
	>170	115	9	10	11	11
>150	<80	108	11	11	12	12
	>170	147	10	10	11	11
pH >5,5						
<50	<80	95	17	18	18	18
	>170	130	16	17	17	17
>150	<80	122	17	18	18	18
	>170	166	16	17	17	17

Таблица 2.42

Окупаемость калийных удобрений
на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы калия, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150
pH <4,5					
<50	<80	18	12	10	8
	>170	16	11	9	7
>150	<80	18	13	10	8
	>170	16	11	9	7
pH >5,5					
<50	<80	28	20	15	12
	>170	26	18	14	11
>150	<80	28	20	15	12
	>170	27	19	14	12

На почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной ($\text{pH} > 5,5$), эффективность калийных удобрений в 1,5-1,6 раз выше, чем на почвах с сильнокислой реакцией почвенной среды ($\text{pH} < 4,5$) (табл. 2.41, 2.42).

С увеличением содержания в почве подвижного калия сопровождается снижение эффективности калийного удобрения на 1-2 ц/га.

Окупаемость калийных удобрений закономерно снижается с увеличением доз калийных удобрений (табл. 2.42). Так, увеличение дозы калия с 60 кг/га до 150 кг/га приводит к снижению окупаемости калийных удобрений на 9-10 кг/кг (в 2,3 раза) при $\text{pH} < 4,5$ и на 15-16 кг/кг (в 2,3 раза) при $\text{pH} > 5,5$.

Одновременное увеличение доз калийных удобрений и K_2O приводит к снижению окупаемости с 16-18 кг/кг до 7-8 кг/кг при $\text{pH} < 4,5$ и с 27-28 кг/кг до 11-12 кг/кг при $\text{pH} > 5,5$.

Увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия приводит к увеличению урожая картофеля в контрольном варианте, который увеличивается с 84 до 147 ц/га при $\text{pH} < 4,5$ и с 95 до 166 ц/га при $\text{pH} > 5,5$.

На почвах с содержанием подвижного фосфора > 150 мг/кг, $\text{K}_2\text{O} > 170$ мг/кг, дозе калия 158 кг/га и $\text{pH} < 4,5$ суммарная урожайность составляла 162 ц/га, а при $\text{pH} > 5,5$ – 183 ц/га (табл. 2.41).

Статистический анализ данных (табл. 2.32) показал необходимость использования в расчётах группы почв по содержанию легкогидролизуемого азота для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв.

При группировке почв отправной точкой в расчетах явилась прибавка урожая картофеля от калийных удобрений в интервале низкого значения содержания легкогидролизуемого азота. В нашей выборке для средне- и тяжелосуглинистых почв она составила 24,7 ц/га.

Далее выполнены расчеты по определению относительного и количественного вкладов факторов в формировании прибавки урожая картофеля для супесчаных и средне- и тяжелосуглинистых почв (прил. 36).

Уравнения регрессии, используемые под картофель в моделях прогноза эффективности калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах, приведены в таблице 2.43.

Таблица 2.43

Уравнения регрессии. Дерново-подзолистые почвы

Аргументы системы	Средне- и тяжелосуглинистые почвы
Содержание N л.г. в почве	$Y = 15,2793-165,1173/X$
Содержание P ₂ O ₅ в почве	$Y = 5,4260-15,52/X$
Содержание K ₂ O в почве	$Y = 5,2492+204,64/X$
Дозы калия	$Y = 10,1752-301,00/X$

Следующим этапом явился учет и количественная оценка вклада изучаемых факторов в формирование прибавки урожая с учетом вариации их значений в пределах общепринятых градаций (прил. 37).

Результаты расчетов, выполненные в соответствии с приведенным выше алгоритмом и представленные в виде выходной информации в зависимости от вариации содержания легкогидролизуемого азота, приведены в таблицах 2.44,2.45, прил. 38,39.

Таблица 2.44

Прибавка урожая картофеля от калийных удобрений

на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах, ц/га

Содержание, мг/кг		Урожай без удобрений, ц/га	Дозы калия, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O		60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота <50 мг/кг						
<50	<80	46	24	25	26	27
	>170	63	21	23	24	24
>150	<80	59	24	26	27	27
	>170	81	22	23	24	25
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг						
<50	<80	54	33	35	35	36
	>170	74	30	32	33	34
>150	<80	70	33	35	36	36
	>170	95	31	33	33	34

Таблица 2.45

Окупаемость калийных удобрений

на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах, кг/кг

Содержание, мг/кг		Дозы калия, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота <50 мг/кг					
<50	<80	40	28	22	18
	>170	36	26	20	16
>150	<80	40	29	22	18
	>170	36	26	20	16
Содержание легкогидролизуемого азота >100 мг/кг					
<50	<80	55	38	30	24
	>170	51	36	28	22
>150	<80	55	39	30	24
	>170	51	36	28	23

Анализ данных по прибавке и окупаемости калийных удобрений прибавкой урожая картофеля (табл. 2.44,2.45) на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах свидетельствует о том, что по мере увеличения содержания в почве легкогидролизуемого азота и подвижных форм фосфора возрастает прибавка урожая картофеля и окупаемость калийных удобрений.

Увеличение доз калийных удобрений с 60 до 150 кг/га приводит к увеличению прибавки урожая картофеля с 22-24 до 25-27 ц/га при содержании легкогидролизуемого азота < 50 мг/кг и с 31-33 до 34-36 ц/га при содержании легкогидролизуемого азота > 100 мг/кг. Кроме того, при увеличении содержания легкогидролизуемого азота наблюдается увеличение урожая картофеля без удобрений (табл. 2.44). Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв P₂O₅ и K₂O при содержании легкогидролизуемого азота <50 мг/кг способствовало увеличению урожая картофеля без удобрений с 46 до 81 ц/га, а при содержании

легкогидролизуемого азота >100 мг/кг урожай без удобрений увеличивался со 54 до 95 ц/га.

Увеличение содержания в почве подвижного калия снижает эффективность калийных удобрений. Так, с увеличением K_2O с содержания <80 мг/кг до содержания >170 мг/кг наблюдается снижение прибавки на 2-3 ц/га и окупаемости калийных удобрений прибавкой урожая картофеля на 2-4 кг/кг.

Окупаемость калийных удобрений (табл. 2.45) закономерно снижается с увеличением доз калийных удобрений и содержанием подвижного калия в почве. Так, одновременное увеличение доз калийных удобрений и K_2O приводит к снижению окупаемости с 36-40 кг/кг до 16-18 кг/кг при содержании легкогидролизуемого азота <50 мг/кг и с 51-55 кг/кг до 23-24 кг/кг при содержании легкогидролизуемого азота >100 мг/кг.

На почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, $K_2O >170$ мг/кг, дозе калия 150 кг/га и содержании легкогидролизуемого азота <50 мг/кг суммарная урожайность составляла 106 ц/га, а при содержании легкогидролизуемого азота >100 мг/кг – 129 ц/га (табл. 2.44).

III. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений на дерново-подзолистых и серых лесных почвах

С целью быстрого определения целесообразности внесения минеральных удобрений на дерново-подзолистых и серых лесных почвах и выбора наиболее эффективно действующей дозы минерального удобрения рассчитана граница окупаемости удобрений (ГОУ) (Шафран С.А. и соавт., 2013), которая обозначает величину прибавки урожая, стоимость которой равняется всем затратам на применение удобрения.

Для оценки экономической эффективности азотных удобрений была использована аммонийная селитра, фосфорных – аммофос, калийных – хлористый калий.

Для расчётов границы окупаемости удобрений использованы рыночные цены стоимости удобрений и средняя цена производителей сельскохозяйственной продукции, которая для картофеля в 2012 году составила 9 500 руб./т (Статистические материалы..., 2012).

Таким образом, граница окупаемости азотных удобрений для картофеля составила 4,2 кг/кг, фосфорных – 3,8 кг/кг и калийных – 4,6 кг/кг.

Сравнение данной величины с величинами окупаемости азотных удобрений на дерново-подзолистых (табл. 2.7, 2.9) и серых лесных почвах (табл. 2.14, 2.16, 2.18, 2.21, 2.23), фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах (табл. 2.28, 2.30), а также калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах (табл. 2.35, 2.37, 2.40, 2.42, 2.45) говорит о том, что применение минеральных удобрений под картофель является рентабельным, так как ГОУ не превышает окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая картофеля во всех приведённых случаях.

Оценку экономической эффективности применения минеральных удобрений произвели по окупаемости затрат, связанных с их использованием. Затраты сравнивают со стоимостью прироста урожая (Шафран С.А. и соавт., 2013).

3.1. Экономическая эффективность применения азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах

Согласно расчётам (табл. 3.1,3.2), максимальная прибыль 64,4 тыс. руб. была получена от азотных удобрений на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах при содержании подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг, содержании легкогидролизуемого азота <100 мг/кг в почве и при дозе азота N₁₅₀ (табл. 3.2).

Таблица 3.1

Экономическая эффективность от применения азотных удобрений под картофель на дерново-подзолистых супесчаных почвах (в ценах 2013 года)

Содержание, мг/кг		Условно чистая прибыль, тыс. руб./га / Окупаемость затрат, руб./руб.			
		дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота < 100 мг/кг					
<50	<80	12,8 / 6,4	13,5 / 4,8	13,3 / 3,8	13,1 / 3,2
>150	>170	18,5 / 8,8	18,3 / 6,1	18,0 / 4,8	17,8 / 4,0
Содержание легкогидролизуемого азота > 100 мг/кг					
<50	<80	10,0 / 5,2	10,7 / 4,0	10,4 / 3,2	9,3 / 2,6
>150	>170	14,7 / 7,2	15,4 / 5,3	15,2 / 4,2	15,0 / 3,5

Таблица 3.2

Экономическая эффективность от применения азотных удобрений под картофель на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах (в ценах 2013 года)

Содержание, мг/кг		Условно чистая прибыль, тыс. руб./га / Окупаемость затрат, руб./руб.			
		дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота < 100 мг/кг					
<50	<80	24,2 / 11,1	25,9 / 8,2	27,5 / 6,7	29,2 / 6,0
>150	>170	59,4 / 25,8	61,0 / 17,9	62,7 / 14,0	64,4 / 11,8
Содержание легкогидролизуемого азота > 100 мг/кг					
<50	<80	3,3 / 2,4	5,0 / 2,4	6,6 / 2,4	9,3 / 2,6
>150	>170	38,5 / 17,0	40,1 / 12,1	42,7 / 9,9	44,4 / 8,5

В отличие от средне- и тяжелосуглинистых почв, при возделывании на которых наблюдается увеличение условно чистой прибыли с возрастанием дозы азотных удобрений, на супесчаных почвах с увеличением дозы азотного удобрения условно чистая прибыль увеличивается и имеет максимум при дозе 90 кг/га (а для содержания легкогидролизуемого азота < 100 мг/кг, подвижного фосфора >150 мг/кг и подвижного калия >170 мг/кг максимальная прибыль наблюдается при дозе азота N_{60}), а затем постепенно снижается.

Для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв во всех случаях происходит рост условно чистой прибыли с увеличением доз вносимых азотных удобрений. При этом наибольший эффект заметен на почвах, хорошо обеспеченных подвижными формами фосфора и калия. Увеличение содержания легкогидролизуемого азота в почве приводит к снижению условно чистой прибыли с 64,4 тыс. руб./га при содержании легкогидролизуемого азота < 100 мг/кг до 44,4 тыс. руб./га при содержании легкогидролизуемого азота > 100 мг/кг (табл. 3.2).

С повышением содержания подвижных форм фосфора и калия в почве (табл. 3.2) увеличивалась условная прибыль от внесения азотных удобрений в 2,2-2,5 раз при содержании легкогидролизуемого азота в почве менее 100 мг/кг и в 4,8-11,7 раз при содержании легкогидролизуемого азота более 100 мг/кг. Однако в целом, с увеличением содержания легкогидролизуемого азота в почве наблюдается снижение прибыли от применения азотных удобрений в 1,5-7,3 раза.

3.2. Экономическая эффективность применения азотных удобрений на серых лесных почвах.

Анализ данных эффективности азотных удобрений на серых лесных почвах по условно чистой прибыли от применения азотных удобрений (табл. 3.3-3.5) показал, что с экономической точки зрения среди подтипов

серых лесных почв наибольший доход можно получить при возделывании картофеля на светло-серых лесных почвах (табл. 3.3).

Как видно из данных таблицы 3.3, с увеличением дозы азота с N_{60} до N_{90} происходит увеличение условно чистой прибыли (при данной дозе наблюдается максимальное значение условно чистой прибыли, которое составило 56,3 тыс. руб./га при содержании подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизуемого азота < 50 мг/кг), а затем постепенное её снижение. При этом содержание легкогидролизуемого азота в почве оказывает существенное влияние на экономическую эффективность применения азотных удобрений. Так, увеличение содержания легкогидролизуемого приводит к снижению условно чистой прибыли в 2,7-3,1 раз.

Экономическая эффективность светло-серых лесных почв в 1,9-2,8 раза выше по сравнению с серыми лесными (при содержании легкогидролизуемого азота менее 50 мг/кг), но несколько ниже при содержании легкогидролизуемого азота более 100 мг/кг.

На серых лесных почвах увеличение степени обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом, также как и на светло-серых лесных почвах, способствует снижению экономической эффективности азотных удобрений, но в гораздо меньшей степени – в 1,1-1,2 раза (табл. 3.4).

Как и в случае со светло-серыми лесными почвами, наибольшая условно чистая прибыль была получена при дозе азота N_{90} , содержании подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизуемого азота < 50 мг/кг и составила 28,7 тыс. руб./га, что в 2 раза меньше, чем на светло-серых лесных почвах.

Как видно из таблицы 3.4, экономическая эффективность азотных удобрений на почвах с сильнокислой реакцией почвенной среды ($pH < 4,5$) ниже, чем на почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной ($pH > 5,5$). Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв подвижными

формами фосфора и калия, а также переход к нейтральной реакции почвенного раствора ведёт к увеличению условно чистой прибыли на 7,6-8,6 тыс. руб./га, а увеличение доз азота снижают условно чистую прибыль на 0,7-1,7 тыс. руб./га.

Таблица 3.3
Экономическая эффективность от применения азотных удобрений под картофель на светло-серых лесных почвах (в ценах 2013 года)

Содержание, мг/кг		Условно чистая прибыль, тыс.руб./га / Окупаемость затрат, руб./руб.			
		дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота < 50 мг/кг					
<50	<80	53,7 / 23,6	54,4 / 16,2	53,2 / 12,2	53,0 / 9,9
>150	>170	55,6 / 24,4	56,3 / 16,8	55,1 / 12,6	54,9 / 10,4
Содержание легкогидролизуемого азота > 100 мг/кг					
<50	<80	17,6 / 8,4	18,3 / 6,1	17,1 / 4,6	16,9 / 3,8
>150	>170	20,4 / 9,6	20,2 / 6,7	19,9 / 5,2	18,8 / 4,2

Таблица 3.4
Экономическая эффективность от применения азотных удобрений под картофель на серых лесных почвах (в ценах 2013 года)

Содержание, мг/кг		Условно чистая прибыль, тыс. руб./га / Окупаемость затрат, руб./руб.							
		дозы азота, кг/га				дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота < 50 мг/кг						pH <4,5			
<50	<80	19,5 / 9,2	21,1 / 6,9	20,9 / 5,4	20,7 / 4,5	10,0 / 5,2	9,7 / 3,7	9,5 / 3,0	8,3 / 2,4
>150	>170	27,1 / 12,4	28,7 / 9,1	28,5 / 7,0	28,3 / 5,7	14,7 / 7,2	14,5 / 5,1	14,2 / 4,0	13,1 / 3,2
Содержание легкогидролизуемого азота > 100 мг/кг						pH >5,5			
<50	<80	17,6 / 8,4	18,3 / 6,1	18,0 / 4,8	17,8 / 4,0	12,8 / 6,4	12,6 / 4,5	12,3 / 3,6	12,1 / 3,0
>150	>170	25,2 / 11,6	25,9 / 8,3	25,6 / 6,4	25,4 / 5,3	17,6 / 8,4	17,3 / 5,9	17,1 / 4,6	16,9 / 3,8

Экономическая эффективность тёмно-серых лесных почв в 1,4-2,2 раза ниже по сравнению со светло-серыми лесными почвами (табл. 3.3,3.5) (по

сравнению с группами почв по уровням содержания легкогидролизуемого азота). При этом эффективность азотных удобрений на тёмно-серых лесных почвах при низком содержании легкогидролизуемого азота (<50 мг/кг) выше, чем на серых лесных почвах. Как и в случае с предыдущими подтипами серых лесных почв, наибольшая условно чистая прибыль была получена при дозе азота N₉₀, содержании подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизуемого азота < 50 мг/кг и составила 30,6 тыс. руб./га, что в 1,8 раза меньше, чем на светло-серых лесных почвах.

С увеличением содержания легкогидролизуемого азота на тёмно-серых лесных почвах (табл. 3.5) происходит резкое снижение экономической эффективности азотных удобрений – условно чистая прибыль снижается в 2,3-3,3 раза.

Экономическая эффективность азотных удобрений на тёмно-серых лесных почвах с сильнокислой реакцией почвенной среды (рН < 4,5) в 1,3-1,7 раз ниже, чем на почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной (рН > 5,5) (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Экономическая эффективность от применения азотных удобрений под картофель на тёмно-серых лесных почвах (в ценах 2013 года)

Содержание, мг/кг		Условно чистая прибыль, тыс. руб./га / Окупаемость затрат, руб./руб.							
		дозы азота, кг/га				дозы азота, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота < 50 мг/кг						рН < 5			
<50	<80	24,2 / 11,2	24,9 / 8,0	24,7 / 6,2	24,5 / 5,1	3,3 / 2,4	4,0 / 2,1	3,8 / 1,8	2,6 / 1,4
>150	>170	29,0 / 13,2	30,6 / 9,6	30,4 / 7,4	30,2 / 6,1	7,1 / 4,0	7,8 / 3,2	7,6 / 2,6	6,4 / 2,1
Содержание легкогидролизуемого азота > 100 мг/кг						рН > 5			
<50	<80	7,1 / 4,0	7,8 / 3,2	7,6 / 2,6	7,4 / 2,2	5,2 / 3,2	5,9 / 2,7	5,7 / 2,2	4,5 / 1,8
>150	>170	11,9 / 6,0	13,5 / 4,8	13,3 / 3,8	13,1 / 3,2	9,0 / 4,8	8,8 / 3,5	8,5 / 2,8	8,3 / 2,4

3.3. Экономическая эффективность применения фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах.

Анализ приведённых данных эффективности фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах по условно чистой прибыли (табл. 3.6,3.7) показал, что с экономической точки зрения среди разновидностей дерново-подзолистых почв наибольший доход можно получить при возделывании картофеля на дерново-подзолистых супесчаных почвах (табл. 3.6).

Согласно расчётам (табл. 3.6), с увеличением дозы фосфора с P_{30} до P_{60-120} происходит увеличение условно чистой прибыли (при дозе P_{60} получена максимально условно чистая прибыль, которая составила 40,6 тыс. руб./га при содержании подвижного фосфора <50 мг/кг, $pH <4.5$ и содержании гумуса $>1,5\%$), а затем постепенное её снижение.

Увеличение степени обеспеченности почв подвижным фосфором, а также переход от слабокислой реакции почвенного раствора к нейтральной сопровождается снижением экономической эффективности фосфорных удобрений. Так, одновременное изменение указанных параметров снижает условно чистую прибыль в 1,6-1,8 раз.

Содержание гумуса в почве оказывает существенное прямое действие на экономическую эффективность применения фосфорных удобрений. Так, увеличение степени обеспеченности почв гумусом способствует увеличению условно чистой прибыли на 1,9 тыс. руб./га..

Экономическая эффективность дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв в 2,2-2,4 раза ниже по сравнению с дерново-подзолистыми супесчаными (табл. 3.6,3.7). Для данной разновидности почв также характерно снижение экономической эффективности с увеличением содержания в почве подвижного фосфора и переходом от слабокислой реакции почвенного раствора к нейтральной. Так, одновременное изменение указанных параметров снижает условно чистую прибыль в 1,8-1,9 раз (табл. 3.7).

Таблица 3.6

Экономическая эффективность от применения фосфорных удобрений под картофель на дерново-подзолистых супесчаных почвах (в ценах 2013 года)

P ₂ O ₅ , мг/кг	рН	Условно чистая прибыль, тыс. руб./га / Окупаемость затрат, руб./руб.				
		дозы фосфора, кг/га				
		30	60	90	120	150
Содержание гумуса <1,5%						
<50	<4,5	36,9 / 29,4	38,7 / 19,0	38,6 / 13,4	38,5 / 10,2	37,4 / 8,3
>150	>6	21,7 / 17,3	22,6 / 12,7	22,4 / 9,2	22,3 / 7,1	21,2 / 4,0
Содержание гумуса >1,5%						
<50	<4,5	38,8 / 22,5	40,6 / 15,4	40,5 / 11,0	40,4 / 8,4	39,3 / 6,9
>150	>6	23,6 / 11,3	24,5 / 9,5	24,3 / 6,5	24,2 / 5,5	23,1 / 4,6

Таблица 3.7

Экономическая эффективность от применения фосфорных удобрений под картофель на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах (в ценах 2013 года)

P ₂ O ₅ , мг/кг	рН	Условно чистая прибыль, тыс. руб./га / Окупаемость затрат, руб./руб.				
		дозы фосфора, кг/га				
		30	60	90	120	150
<50	<4,5	17,0 / 16,9	17,8 / 9,3	17,7 / 6,5	16,6 / 4,9	16,5 / 4,1
	>6	14,1 / 14,2	15,0 / 8,0	14,8 / 5,6	13,8 / 4,2	13,6 / 3,5
>150	<4,5	12,2 / 12,4	14,0 / 7,5	12,9 / 5,0	12,8 / 4,0	11,7 / 3,2
	>6	9,4 / 9,8	10,2 / 5,8	10,1 / 4,1	10,0 / 3,3	8,9 / 2,7

3.4. Экономическая эффективность применения калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах.

Анализ данных эффективности калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах по условно чистой прибыли (табл. 3.8-3.10) показал, что с экономической точки зрения среди разновидностей дерново-подзолистых почв наибольший доход можно получить при возделывании картофеля на

дерново-подзолистых супесчаных почвах в вариациях содержания гумуса в почве (табл. 3.8).

Как видно из таблицы 3.8, с увеличением дозы азота с K_{60} до K_{150} происходит снижение условно чистой прибыли (при дозе K_{60} получена максимальная условно чистая прибыль, которая составила 37,3 тыс. руб./га при содержании подвижного фосфора <150 мг/кг, подвижного калия <80 мг/кг и гумуса $>1,5\%$).

Показано, что с увеличением степени обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия происходит заметное снижение экономической эффективности. Так, одновременное увеличение указанных показателей снижает условно чистую прибыль в 3,2-8,6 раз.

Значительно влияние на экономическую эффективность калийных удобрений на дерново-подзолистых супесчаных почвах оказывает реакция почвенной среды и содержание гумуса в почве.

Так, переход от сильнокислой реакцией почвенной среды ($pH < 4,5$) к почвам с реакцией среды, близкой к нейтральной ($pH > 5,5$) сопровождается возрастанием условно чистой прибыли на 1,9-2,9 тыс. руб./га, а с увеличением содержания гумуса – на 0,9-1,0 тыс. руб./га.

В целом, экономическая эффективность калийных удобрений на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах (табл. 3.9,3.10) ниже по сравнению с дерново-подзолистыми супесчаными почвами (табл. 3.8).

Так, условно чистая прибыль от применения калийных удобрений в вариациях реакции почвенной среды на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах при содержании подвижного фосфора <50 мг/кг и подвижного калия <80 мг/кг на 9,5-13,3 тыс.руб./га ниже, чем на супесчаных. Однако при высоком содержании подвижных форм фосфора и калия условно чистая прибыль на дерново-подзолистых супесчаных почвах на 1,9-5,7 тыс. руб./га ниже, чем на средне- и тяжелосуглинистых почвах (табл. 3.8,3.10).

Таблица 3.8

Экономическая эффективность от применения калийных удобрений под картофель на дерново-подзолистых супесчаных почвах (в ценах 2013 года)

Содержание, мг/кг		Условно чистая прибыль, тыс. руб./га / Окупаемость затрат, руб./руб.							
		дозы калия, кг/га							
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150	60	90	120	150
рН < 4,5						Содержание гумуса <1,5%			
<50	<80	21,1 / 9,1	19,8 / 6,0	18,5 / 4,5	17,2 / 3,6	36,3 / 16,5	36,0 / 11,1	35,6 / 8,5	34,3 / 6,9
>150	>170	5,0 / 2,9	4,6 / 2,2	3,3 / 1,6	2,0 / 1,3	10,7 / 5,5	10,3 / 4,0	10,0 / 3,2	8,7 / 2,6
рН > 5,5						Содержание гумуса >1,5%			
<50	<80	23,0 / 9,8	21,7 / 6,5	21,4 / 5,1	20,1 / 4,1	37,3 / 16,6	36,9 / 11,4	35,6 / 8,5	35,3 / 7,1
>150	>170	6,9 / 3,6	6,5 / 2,7	5,2 / 2,0	3,9 / 1,6	11,6 / 6,0	11,3 / 4,2	10,0 / 3,2	9,6 / 2,7

Таблица 3.9

Экономическая эффективность от применения калийных удобрений под картофель на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах (в ценах 2013 года)

Содержание, мг/кг		Условно чистая прибыль, тыс. руб./га / Окупаемость затрат, руб./руб.							
		дозы калия, кг/га							
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150	60	90	120	150
Содержание легкогидролизуемого азота < 50 мг/кг						Содержание гумуса <1,5%			
<50	<80	20,2 / 8,7	19,8 / 6,0	19,5 / 4,7	19,1 / 3,9	6,9 / 3,6	6,5 / 2,7	5,2 / 2,0	3,9 / 1,6
>150	>170	18,3 / 8,0	17,9 / 5,6	17,6 / 4,4	17,2 / 3,6	5,9 / 3,3	5,6 / 2,4	4,3 / 1,8	3,0 / 1,5
Содержание легкогидролизуемого азота > 100 мг/кг						Содержание гумуса >1,5%			
<50	<80	28,7 / 12,0	29,3 / 8,5	28,0 / 6,3	27,7 / 5,2	8,8 / 4,4	7,5 / 2,9	7,1 / 2,4	5,8 / 1,9
>150	>170	26,8 / 11,2	27,4 / 8,0	26,1 / 6,0	25,8 / 4,9	7,8 / 4,0	7,5 / 2,9	6,2 / 2,2	4,9 / 1,7

Таблица 3.10

Экономическая эффективность от применения калийных удобрений под картофель на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах
(в ценах 2013 года)

Содержание, мг/кг		Условно чистая прибыль, тыс. руб./га / Окупаемость затрат, руб./руб.			
		дозы калия, кг/га			
P ₂ O ₅	K ₂ O	60	90	120	150
		рН < 4,5			
<50	<80	7,8 / 4,0	6,5 / 2,7	6,2 / 2,2	4,9 / 1,7
>150	>170	6,9 / 3,6	5,6 / 2,4	5,2 / 2,0	3,9 / 1,6
P ₂ O ₅	K ₂ O	рН > 5,5			
		<50	<80	13,5 / 6,2	13,2 / 4,4
>150	>170	12,6 / 5,8	12,2 / 4,1	10,9 / 3,1	9,6 / 2,5

Также как и для супесчаных почв, с переходом от сильнокислой реакцией почвенной среды (рН < 4,5) к почвам с реакцией среды, близкой к нейтральной (рН > 5,5) возрастает условно чистая прибыль от применения калийных удобрений на 5,7 тыс. руб./га (в 1,7-2,5 раз) (табл. 3.10), а также с увеличением содержания гумуса – на 1,9 тыс. руб./га (в 1,3-1,6 раз) (табл. 3,9).

Содержание легкогидролизуемого азота в почве оказывает существенное прямое действие на экономическую эффективность применения калийных удобрений (табл. 3.9). Так, увеличение степени обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом увеличивало условно чистую прибыль на 8,5-8,6 тыс. руб./га (в 1,4-1,5 раз).

ВЫВОДЫ

1. Среди изученных факторов наибольшая теснота связи отмечена между прибавкой урожая картофеля и содержанием в почве подвижных форм фосфора и калия, легкогидролизуемого азота, реакцией почвенной среды, дозами минеральных удобрений, а также в отдельных случаях с содержанием гумуса.

2. Увеличение содержания легкогидролизуемого азота при выращивании картофеля на дерново-подзолистых почвах приводило к снижению эффективности азотных удобрений. Так, прибавка урожая картофеля на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах снижалась на 18-22 ц/га. Напротив, одновременное увеличение степени обеспеченности почв P_2O_5 и K_2O на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах способствовало приросту прибавки урожайности на 37 ц/га. При дозе азота N_{150} , на почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизуемого азота >100 мг/кг суммарная урожайность картофеля достигала 213 ц/га.

3. По мере увеличения содержания в почве подвижных форм фосфора и калия возрастала прибавка урожая и окупаемость азотных удобрений на серых лесных почвах. Так, на светло-серых лесных почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизуемого азота <50 мг/кг суммарная урожайность картофеля составляла более 200 ц/га. На почвах с сильнокислой реакцией почвенной среды ($pH < 4,5$) эффективность азотных удобрений проявляется несколько слабее, чем на почвах близких к нейтральным ($pH > 5,5$). Так, на почвах с $pH < 4,5$ с увеличением подвижного фосфора и калия при дозе азотного удобрения 150 кг/га прибавка урожая картофеля возрастала с 15 до 20 ц/га, то

на почвах с $pH > 5,5$ прибавка урожая картофеля увеличивалась с 19 до 24 ц/га.

4. Анализ данных, полученных на опытах с внесением фосфорных удобрений при выращивании картофеля на дерново-подзолистых почвах, показал, что переход от слабокислой реакции почвенного раствора к нейтральной сопровождался тенденцией уменьшения эффективности фосфорных удобрений под картофель. Так, наблюдалось снижение прибавки урожая картофеля на 7-17 ц/га. Содержание гумуса оказывало прямое влияние на эффективность фосфорных удобрений – с увеличением его содержания наблюдался рост прибавки и окупаемости фосфорных удобрений прибавкой урожая картофеля. На почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, $pH > 6,0$, дозе фосфора 150 кг/га и содержании гумуса $< 1,5\%$ суммарная урожайность достигала 217 ц/га, а при содержании гумуса $> 1,5\%$ – 292 ц/га.

5. Увеличение содержания подвижного калия приводило к снижению эффективности калийных удобрений, а по мере увеличения содержания в почве гумуса и подвижных форм фосфора прибавка урожая картофеля и окупаемость калийных удобрений – возрастали. На почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной ($pH > 5,5$), эффективность калийных удобрений проявлялась несколько сильнее, чем на сильнокислых почвах ($pH < 4,5$).

6. Основные агрохимические свойства почв оказывали заметное влияние на экономическую эффективность использования минеральных удобрений. Повышение содержания подвижных форм фосфора и калия в почве оказывало положительное влияние на размер условно чистой прибыли и окупаемость затрат на применение азотных удобрений. Увеличение содержания гумуса способствовало приросту прибыли от фосфорных

удобрений. Улучшение питательных свойств почв сопровождалось увеличением прибыли от применения калийных удобрений. Среди изученных видов минеральных удобрений лучшими экономическими показателями характеризовались азотные удобрения, при применении которых была получена максимальная прибыль 64,4 тыс. руб. при содержании подвижных форм фосфора >150 мг/кг и калия >170 мг/кг, содержании легкогидролизуемого азота <100 мг/кг в почве и при дозе азота N_{150} , а наибольшая окупаемость затрат по применению удобрений – в дозе N_{60} .

Предложения производству

Полученные результаты позволяют использовать их для дифференцированного применения минеральных удобрений под картофель с учётом содержания основных питательных веществ в почвах, что даёт возможность снизить затраты на производство картофеля.

Полученные данные позволяют:

1. установить дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений, учитывая основные агрохимические свойства почв (дерново-подзолистых и серых лесных) и планируемую урожайность картофеля;
2. выделить поля, на которых возделывание картофеля с применением минеральных удобрений обеспечит максимальную экономическую эффективность;
3. оценить плодородие почв и урожайность картофеля по комплексу агрохимических показателей (рН, содержание легкогидролизуемого азота, подвижных форм фосфора и калия, содержание гумуса);
4. составить прогнозно-экономическую экспертизу эффективности использования минеральных удобрений с учётом соотношения цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова Л.И. Погода, удобрение и урожай озимой пшеницы // Повышение плодородия и окультуренности почв Нечерноземной зоны, 1984. - с. 30-33
2. Авдонин Н.С. Свойства почв и урожай. М. «Колос» 1965, 271 с.
3. Авдонин Н.С., Соловьёв Г.А. // Влияние окультуренности дерново-подзолистых почв и вносимых удобрений на урожай и качество клубней картофеля. Влияние свойств почв и удобрений на качество растений. Под редакцией академика ВАСХНИЛ Н.С. Авдонина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – С. 59-72
4. Адрианов С.Н. Закономерности формирования фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрения: Автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук: 06.01.04. – М., 2000. – 48 с.
5. Адрианов С.Н., Прошкин В.А., Шаброва Е.В., Широкова С.В. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность фосфорных удобрений при внесении под картофель. - М.: ВНИИА, Материалы Всероссийской конференции учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями 26-27 июня 2012 г. «Состояние и пути повышения эффективности исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями», 2012 г. С.44-46.),
6. Аникст Д.М.; Гусельников В.Г.; Виноградова Р.И. ависимость урожая яровой пшеницы от условий увлажнения и содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотном слое выщелоченного чернозема Алтайского края // Бюл. ВИУА, 1988; Т. 87. - с. 6-9
7. Анспок П.И., Штиканс Ю.А., Визла Р.Р. Справочник агрохимика Нечернозёмной полосы. – Л.: Колос. Ленинградское отделение, 1981. – 328 с.
8. Афанасьев А.Н. Действие калийных удобрений на урожай картофеля // Калий. – 1937. - №7. – С. 27 – 30.

9. Базильжанов Е.К.; Иванов А.Л. Эффективность минеральных удобрений под кукурузу при пожнивном возделывании на орошаемых светлых сероземах различной степени обеспеченности фосфором // Тез. пятой Всесоюз. науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов по пробл. кукурузы, 1987. - с. 68-69

10. Балтинь А.Э. Коррелятивная зависимость между агрохимическими свойствами дерново-подзолистых почв и урожаем сельскохозяйственных культур // В кн.: Труды Латвийского филиала ВОП. 1970. №5. С. 29-33.

11. Баранчикова В.В.; Блинников В.И. // Влияние возрастающих доз полного минерального удобрения на население микроартропод серых лесных почв. Минеральное питание и процессы роста и развития растений. Курск, 1988. - с. 43-53

12. Барашенко В.В. Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на качество продукции зерновых культур и клевера // Почвенные исследования и применение удобрений. 1991; Т. 21. - с. 61-66

13. Барбалис П.Д. Влияние агрохимических свойств почв, минеральных удобрений и других факторов на урожай озимой ржи // Химия в сельском хозяйстве, 1970а. № 9. С.63-68.

14. Барбалис П.Д. Влияние агрохимических свойств почв, минеральных удобрений и других факторов на урожай озимой ржи, ячменя и картофеля в Латвийской ССР // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора с.-х. наук. Елгава. 1970б. 33 с.

15. Барбалис П.Д. Влияние агрохимических свойств почв, минеральных удобрений и других факторов на урожай озимой ржи, ячменя и картофеля // Химия в сельском хозяйстве. 1970в. № 8. С.63-69.

16. Бобкова Л.П. Последствие удобрений на качество клубней картофеля // Химия в с.-х. – 1978. - №3. – С. 12 – 15.

17. Богдевич И.М.; Шаталова Р.В. Влияние метеорологических факторов на урожай озимых зерновых культур и эффективность удобрений в

условиях Белоруссии // Бюл. ВНИИ удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова, 1985; Т. 75. - с. 6-11

18. Босак В.Н. Системы удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах. – Минск, 2003. – 176 с.

19. Бразджюте В. Нормы минеральных удобрений под картофель // Сб. науч. ст. - Лит. НИИ земледелия, 1987; Т. 59. - с. 91-97

20. Верещагин Ю.И. Выбор предпосевной обработки почвы под картофель // Земледелие. – 2001. - №3. – С. 26 – 27.

21. Вехов П.И., Хлыстовский А.Д. Сравнение эффективности минеральных удобрений и навоза в четырехпольном севообороте с клеверо-злаковой смесью // Химия в сельском хозяйстве. 1976. № 1. С. 23-24.

22. Вильдфлуш И.Р.; Персикова Т.Ф.; Цыганов А.Р. // Ресурсосберегающие приемы повышения эффективности удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур. Проблемы агрохимии и экологии, 2008; N 2. – С. 7-12

23. Войтович Н.В. // Модели плодородия почв в зависимости от агрохимических свойств почвы и удобрений. Химия в сел.хоз-ве, 1996; N 5. - С. 8-13

24. Гаврилюк Ф.Я. Критерии бонитировки почв // Почвоведение. 1967. № 1. С. 3-9.

25. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв / Научное издание. – М.: Агроконсалт, 1997. – 82 с.

26. Гилис М.Б. Рациональные способы внесения удобрений. – М.: «Колос», 1975. – 240 с.: ил.;

27. Голуб С.Н.. Эффективность известкования и удобрений в полевом севообороте на дерново-подзолистой почве западного Полесья Украины, Харьков, 1992. – 22 с.

28. Грицких В.П. Влияние минеральных удобрений на химический состав и качество зерновых культур на темно-каштановых почвах в зависимости от обеспеченности их фосфором // Пути интенсификации производства зерна в Северном Казахстане, 1987. - с. 9-16

29. Гулякин И.В. Система применения удобрений. – М.: «Колос», 1970. – 208 с.

30. Гутиев И.О.; Хавкин Э.Е. Влияние азота на рост кукурузы и райграса при различной обеспеченности фосфором и калием // Агрохимия, 1989; Т. 2. - с. 19-26

31. Державин Л.М. Применение удобрений в интенсивном земледелии // Современное развитие научных идей Д.Н. Прянишникова. – М.: Наука, 1991. – С. 74 – 94.

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

33. Диброва М.А. Зависимость урожая сахарной свеклы от содержания основных элементов питания в почве и растениях на выщелоченных черноземах Кубани // Бюл. ВИУА, 1988; Т. 87. - с. 35-37

34. Дозорцева Н.В.; Ильин И.П.; Ваулина Г.И. Влияние степени обеспеченности дерново-подзолистой почвы фосфором и калием на эффективность подкормок и урожай озимой пшеницы // Бюл. ВНИИ удобрений и агропочвоведения, 1991; Т. 103. - с. 26-31

35. Докучаев В.В. Русский чернозем. 1883, 376 с.

36. Доманов Н.М. Разработка и оптимизация систем комплексного применения средств химизации под озимую пшеницу в Центрально-Черноземной зоне России // Автореферат диссертации доктора с.-х. наук. М.; ВИУА, 1995. 57 с.

37. Донос А.И. Количество осадков и окупаемость удобрений в зернопропашном севообороте на юге Молдавии // Задачи агрохимической

науки по повышению окупаемости удобрений по зонам страны. Ч. 2, 1984. – с. 16-17

38. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

39. Драгунов О.А. // Урожайность картофеля в зависимости от свойств почвы. Селекция, семеноводство и технология выращивания картофеля на Северо-Западе РСФСР, 1986. – с. 84-88

40. Егоров В.Е., Бычков Г.Н. Из результатов 60-летнего опыта с культурой картофеля // Изв. ТСХА, 1973. Вып. 5. – С. 218-220.

41. Ельников И.И. Корреляционный анализ результатов полевых опытов под зерновые культуры // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 1971. Вып. 3. С.36-54.

42. Ельников И.И. О географических закономерностях эффективности удобрений в зоне дерново-подзолистых почв // Агрохимия. 1973. № 10. С.140-153.

43. Жежель Н.Г., Пантелеева Е.И. Агрохимия. – Л.; «Колос», Ленингр. отд-ние, 1966, 264 с.: ил.;

44. Жежель Н.Г. и Пантелеева Е.И. Агрохимия. – Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.; «Колос», Ленингр. отд-ние, 1972, 288 с.: ил.;

45. Завалин А.А.; Гречицких О.А. Влияние удобрений на урожайность и качество клубней картофеля на дерново-глеевой почве // Агрохимия. 1994. № 3. С. 60-69.

46. Зверева Е.А. Величины оптимального содержания подвижного фосфора в предкавказском карбонатном черноземе и темно-каштановой почве Северного Кавказа для различного уровня урожая культур и расчет доз фосфорных удобрений // Бюл. ВИУА, 1988; Т. 87. - с. 25-30

47. Зубенко В.Ф. Состояние и задачи научных исследований в области повышения плодородия почв // В кн.: Пути повышения плодородия почв. Киев, «Урожай», 1969. С. 3-8.

48. Ильинский В.В. Бонитировка лесных почв Московской области // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 1967. Вып. 1. С.52-59.

49. Карастан Д.И.; Бабушкин Ю.В. Пути повышения эффективности фосфорных удобрений под кукурузу на карбонатном черноземе // Технология возделывания и урожай кукурузы и сорго. Кишинев, 1989. - с. 50-52

50. Кидин В.В. Основы питания растений и применения удобрений. – Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2008, 415 с.

51. Кирикой Я.Т.; Диброва М.А.; Жукова Л.М.; Платонова Л.С. // О связи продуктивности севооборотов с обеспеченностью дерново-подзолистых почв различного механического состава подвижными элементами питания в европейской части страны/ Бюл. ВИУА, 1988; Т. 87. – с. 45-49

52. Кирикой Я.Т.; Платонова Л.С. // Зависимость урожая картофеля от обеспеченности дерново-подзолистых почв фосфором и калием. Тезисы докладов 7 делегатского съезда Всесоюзного общества почвоведов. ч. 3, 1985. - с. 36

53. Кирикой Я.Т.; Платонова Л.С.; Новиков А.И.; Листова М.П. // Количественная оценка влияния комплекса факторов на урожай картофеля. Бюл. ВИУА, 1988; Т. 87. – с. 3-6

54. Колосова А.Ф.; Удалова Л.П. // Влияние повторного известкования на лен и картофель [Смоленская область]. Бюл. ВИУА, 1987; Т. 82. – с. 63-68

55. Комаревцева Л.Г. // Использование соломы в качестве удобрения на дерново-подзолистых почвах [Влияние способов заделки и совместного внесения с минеральными удобрениями на свойства почвы и урожайность зерновых культур]. Вестник АПК Верхневолжья, 2008; N 1. - С. 14-18

56. Коровяковский О.П.; Янишевский Ф.В.; Кузьменков А.В.; Качалкина Т.П. Эффективность сложных НРК-удобрений с разным содержанием водорастворимого P_2O_5 в зависимости от фосфатного уровня дерново-подзолистой почвы: Результаты многолетнего опыта // Агрохимия, 1994; N 4. - С. 20-32.

57. Крылова О.С. Продуктивные качества картофеля в зависимости от доз и форм минеральных удобрений // Эффективность удобрений и плодородие почв. Горки, 1991. - с. 5-9;

58. Кузьмина И.В., Михеева Т.В. // Действие органических удобрений на биологические свойства дерново-подзолистой почвы. Сб. науч. тр. – Центр. торфоболот. станция, 1987. – с. 181-191

59. Кулаковская Т.Н. Агрохимические свойства почв и их значения в использовании удобрений. Минск, «Урожай», 1965. 198 с.

60. Кулаковская Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев – Минск: Ураджай, 1978. 272 с.

61. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. – М.: Агропромиздат, 1990. – 219 с.

62. Кулаковская Т.Н., Богдевич И.М. О связи агрохимических свойств почв с урожаем и эффективностью удобрений // Труды Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии. 1971. Вып.8. С.98-110.

63. Куровская Я.А.; Шостак И.И. Отзывчивость сортов картофеля на различный уровень минерального питания // Картофелеводство, 1985; Т. 6. - с. 123-131

64. Лапа В.В., Босак В.Н. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности. – Минск, 2002. – 184 с.

65. Листова М.П.; Виноградова Р.И.; Платонова Л.С. Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур с учетом состояния плодородия почв Центрального района НЧЗ РСФСР // Мат. методы и ЭВМ на службе почв. прогнозов. М, 1988. - с. 66-71

66. Лупинович И.С., Кулаковская Т.Н., Богдевич И.М., Детковская Л.П. Значение агрохимических свойств почв при оценке их плодородия // Плодородие, 1968, № 5. С.55-62.

67. Магницкий К.П. Эффективность различных форм калийных удобрений на песчаных и супесчаных почвах // Калийные удобрения. – М.: Колос, 1964. – С. 7 – 56.

68. Мальцев В.Г. Условия азотного питания полевых культур и применение азотных удобрений на почвах Приангарья // Автореферат диссертации доктора с.-х. наук. Омск, 2000. 33 с.

69. Мерзлая Г.Е.; Полуин С.Ф.; Гаврилова В.А.; Береснев Б.Г.; Нестерович И.А.; Зябкина Г.А. // Органические удобрения как фактор повышения продуктивности земледелия. Повышение эффективности удобрений в интенсивной земледелии. М, 1989. - с. 45-53

70. Методика разработки нормативов окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур, М.: ВНИИА, 2009, 48 с.

71. Минеев В.Г., Грачёва Е.К., Кузовлёва Е.В. и др. Накопление нитратов и нитритов в клубнях картофеля // Химия в с.-х. – 1988. - №5. – С. 50 – 52.

72. Минина Т.Н. Пестрота гумусового состояния почв и урожайности зерновых культур // Неоднородность свойств почв и урожайность с.-х. культур в Сев.-Зап. зоне РСФСР, 1987. - с. 20-27

73. Минина Т.Н.; Жданова В.В. // Связь урожайности картофеля с составом гумуса дерново-карбонатной почвы. Основные направления науч.-технического прогресса в картофелеводстве, плодоводстве и овощеводстве. Тезисы докладов Всесоюзной науч.-практической конференции молодых ученых и специалистов. п. Самохваловичи, 1989. – с. 31

74. Молякко А.А. Схемы посадки, удобрения и сохранность клубней // Картофель и овощи. – 2002. - №3. – С. 24.

75. Муравин Э.А., Титова В.И. Агрoхимия. – М.: КолосС, 2009. – 463 с.: ил.;

76. Муфзалова Р.М. // Влияние различных доз удобрений на плодородие почвы и урожай сельскохозяйственных культур. Севообороты, обработка почвы и удобрения при возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивной технологии. Сб. науч. тр. , Уфа. – 1992. – С. 11-16

77. Муха В.Д., Кочетов И.С., Муха Д.В., Пелипец В.А. Основы программирования урожайности сельскохозяйственных культур. – М.: МСХА, 1994. – 252 с.

78. Панков Н.В.; Сакара В.Н. // Влияние доз полупревшего навоза на урожайность картофеля капусты и кукурузы. Основные направления интенсификации растениеводства в Приморском крае, 1985. – С. 79-83

79. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. – 2-е изд. – М.: Агропромиздат. – 1987. – 512 с.

80. Панников В.Д., Шатилов И.С., Минеев В.Г., Кореньков Д.А., Синягин И.И., Кулаковская Т.Н., Постников А.В., Володарский Н.И. Научные основы и рекомендации по применению удобрений в Нечернозёмной зоне европейской части РСФСР. – М., Россельхозиздат, 1976. – 255 с.

81. Петербургский А.В. Агрoхимия и физиология питания растений. – М., Россельхозиздат, 1971. – 336 с.

82. Петербургский А.В. О влиянии кислотности почвы на рост растений // Почвоведение, 1955, № 5. С. 19-28.

83. Петербургский А.В. Круговорот и баланс веществ в земледелии. – М.: Наука, 1979. – 184 с.

84. Пискунов А.С.; Дербенева Л.В. Влияние минеральных удобрений на урожайность яровой пшеницы в зависимости от обеспеченности почвы подвижным фосфором и обменным калием // Эффективность использ. орган. и минерал. удобрений в условиях Урала. Пермь, 1989. - с. 78-82

85. Постников А.Н., Ключерев Н.В., Полегаев В.И. Картофель. Агротехника выращивания, уборка и хранение // Настольная книга фермера (вып. 4) – М.: ТОО «Рупор», 1992. – 39 с.

86. Посыпанов Г.С., Долгодворов В.Е., Жеруков Б.Х. и др. Под ред. Посыпанова Г.С. Растениеводство. – М.: КолосС, 2007. – 612 с.: ил.

87. Почвенная и растительная диагностика азотного питания озимой пшеницы при возделывании по интенсивной технологии. Временные рекомендации // Краснодар. 1986. 13 с.

88. Попова М.В.; Сокорев Н.С. Оптимизация минерального питания озимой пшеницы и сахарной свеклы на выщелоченном черноземе Белгородской области при разных условиях обеспеченности фосфором // Параметры плодородия основных типов почв, 1988. - с. 113-125

89. Прокошев В.В.. Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.

90. Прошкин В.А. Моделирование эффективности минеральных удобрений по показателям агрохимических свойств почвы.//Агрохимия, № 7, 2012. - С. 16-27.

91. Прошкин В.А., Адрианов С.Н., Шаброва Е.В. Модель прогноза прибавки урожайности озимой пшеницы при применении фосфорных удобрений // Агрохимия. 2011. № 6. С.22-29.

92. Прошкин В.А., Смирнов А.П. Сравнительная эффективность минеральных удобрений на различных почвах // Агрохимия. 1994. № 5. С. 35-39

93. Прошкин В.А., Швыркина С.В. Прогноз эффективности применения азотных удобрений под картофель по агрохимическим свойствам дерново-подзолистых почв // Плодородие. – 2013.–№ 6(75). С. 5–7.

94. Прошляков А.А. Действие минеральных удобрений на урожай картофеля в зависимости от агрохимических показателей дерново-подзолистых почв // Агрохимия. 1972. № 9. С. 57-60.

95. Прянишников Д.Н. О влиянии реакции почвы на рост растений // Удобрение и урожай. 1931, № 1. С. 53-60.

96. Пугаев С.В., Печаткин Б.С., Бычков К.С., Петраков В.Х. Минеральное питание картофеля // Химизация с.-х. – 1990. - №12. – С. 50 – 52.

97. Пчёлкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения. – М., «Колос», 1966. – 336 с.

98. Пшеченков К.А. Как лучше сохранить картофель // Картофель и овощи. – 1998. - №6. – С. 8 – 9.

99. Пшеченков К.А., Сидякина И.И., Зейрук В.Н., Давыденкова О.Н. Требования к сырью для переработки картофеля // Картофель и овощи. – 2001. - №2. – С. 16 – 17.

100. Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья // Под общей ред. Милашенко Н.З. М., ВИУА, 1993. 864 с.

101. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур, М, ВНИИА, 2011, 115 с.

102. Салмин Л.Н. Влияние минерального питания на урожай ячменя, его качество, поступление и вынос азота, фосфора, калия, кобальта и меди на дерново-подзолистых почвах Кировской области // Агрохимия. 1969. № 7. С.71-78.

103. Сдобникова О.В. Условия почвенного питания и применения удобрений в Северном Казахстане и Западной Сибири: Автореферат дис. на соискание ученой степени доктора с.-х. наук. – М., 1971. – 34 с.

104. Сдобникова О.В. Оптимизация питания сельскохозяйственных культур в интенсивном земледелии // Параметры плодородия основных типов почв, 1988. - с. 4-16

105. Синявский И.В. Фосфатный режим выщелоченных черноземов и отзывчивость растений на удобрения (по данным вегетационных и

вегетационно-полевых опытов) // Пробл. аграр. сектора Юж. Урала и пути их решения. Челябинск, 1999; Вып. 1. - С. 94-103

106. Смирнов П.М., Муравин Э.А., Фефелов В.П. Агрохимия. – М., «Колос», 1977, – 240 с.: ил.

107. Смирнов П.М., Петербургский А.В. Агрохимия. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Колос», 1975. – 512 с.: ил.;

108. Соловьев Г.А., Тимохина Л.М., Лебедев В.Н. // Изменение содержания витаминов С, В1, В2 в картофеле и кормовой свёкле в зависимости от условий выращивания и хранения. Влияние свойств почв и удобрений на качество растений. Под редакцией академика ВАСХНИЛ Н.С. Авдониной. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – С. 253-264

109. Сопильняк Н.Т. Влияние повышенных доз полного минерального удобрения при разных соотношениях основных питательных элементов (N, P, K, Ca, Mg и S) на урожай и качество картофеля на дерново-подзолистой суглинистой почве: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1972. – 23 с.

110. Статистические материалы и результаты исследований развития агропромышленного производства России. М, Российская академия сельскохозяйственных наук, 2012.

111. Ступаков А.Г. Д-р с.-х. наук; Шустрова К.В.; Проценко Е.П.; Воронцов И.О. Влияние агрохимических свойств чернозема оподзоленного эродированного на продуктивность сахарной свеклы // Проблемы развития аграрного сектора региона / Кур. гос. с.-х. акад.. – Курск, 2006; Ч. 4. – С. 204-206

112. Сычѳв В.Г. Тенденция изменения агрохимических показателей плодородия почв Европейской части России. – М.: ЦИНАО, 2000. – 187 с.

113. Сычѳв В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. – М.: ЦИНАО, 2003. – 228 с.

114. Толстоусов В.П. Удобрение и качество урожая. 2-е изд. – М.: Агропромиздат, 1987. – 192 с.

115. Федотова Л.С.; Коршунов А.В.; Шильников И.А.; Аканова Н.И.; Овчаренко М.М. // Экологические аспекты применения удобрений в картофелеводстве России. Картофелеводство России: актуальные проблемы науки и практики / Рос. акад. с.-х. наук. - Москва, 2007. - С. 140-147

116. Фрей П.И. Действие минеральных удобрений на урожай яровой пшеницы в лесостепи Омской области: Автореферат дис. с.-х. наук. – Омск, 1972. – 22 с.

117. Фрис В.А. Влияние содержания гумуса на урожай некоторых сельскохозяйственных растений // Бюлл. ВИУА, 1987; Т. 79. - с. 92-95

118. Черненко В.Г.; Савинова Р.М.; Садовенко Ю.И. Эффективность азотно-фосфорных удобрений на темно-каштановых почвах центрального Казахстана в зависимости от уровня обеспеченности почв фосфором // Пути интенсификации производства зерна в Северном Казахстане, 1987. - с. 3-8

119. Чуб М.П. Определение потребности яровой пшеницы в удобрениях в зависимости от погодных факторов и содержания в почве подвижных элементов питания // Эффективность удобрений и повышение плодородия почв в засушливом Поволжье, 1986. - с. 4-19

120. Чуб М.П. Оптимизация минерального питания культур и систем удобрений в севооборотах на черноземах и темно-каштановых почвах засушливого Поволжья // Автореферат диссертации доктора с.-х. наук. М.; ВИУА, 1989. 48 с.

121. Чумак В.А.; Блоха А.Д. // Урожайность картофеля в зависимости от кислотности почвы и удобрений в условиях Среднего Приобья. Науч.-техн. бюл. - ВАСХНИЛ, 1985; Т. 50. - с. 47-52

122. Шафран С.А. Диагностика азотного питания зерновых культур и определение потребности в азотных удобрениях. М., РАСХН. 2000. 66 с.

123. Шафран С.А. Динамика применения удобрений и плодородие почв // Агрохимия. – 2004. - №4. – С. 9 – 18.

124. Шафран С.А., Сычёв В.Г., Кондрашов А.Л. Азотное питание. – М.: ОАО МХК «ЕвроХим», 2013. – 80 с.

125. Швыркина С.В. Влияние азотных удобрений на урожайность картофеля в зависимости от содержания легкогидролизуемого азота в дерново-подзолистых почвах // Материалы 47-й международной научной конференции молодых учёных, специалистов – агрохимиков и экологов «Перспективы применения средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях». – М.: ВНИИА, 2013. – С. 213-215.

126. Шеремет Н.И.; Войтенко А.Ф.; Руденко Г.С. // Влияние величины семенных клубней, густоты стеблестоя и норм минеральных удобрений на урожайность картофеля и качество клубней сорта Зарево. Картоплярство, 1986; Т. 17. - с. 26-27

127. Широков Е.П., Полегаев В.И. Хранение и переработка плодов и овощей. – 2-е изд. – М.: Колос, 1982. – 320 с.: ил.

128. Широкова С.В. Влияние содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах на окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожая картофеля // Материалы 46-й международной научной конференции молодых ученых, докторантов, аспирантов и соискателей учёных степеней доктора и кандидата наук «Эффективность применения средств химизации в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур». – М.: ВНИИА, 2012. – С. 215–217.

129. Шорин В.М. // Эффективность калийного удобрения на дерново-подзолистой почве. Бюл. ВНИИ удобрений и агропочвоведения, 1984; Т. 70. - с. 55-58

130. Шугля З.М. // Экологически обоснованные системы удобрения под картофель. Тезисы докладов. Л, 1990. - с. 78-79

131. Щенникова Т.Ф. Влияние удобрений на урожай и качество картофеля при интенсивной технологии // Результаты разработки и

внедрения элементов интенсивных технологий возделывания с.-х. культур в условиях Ивановской области. Ленинград, 1991. - с. 36-40

132. Юхнин А.А. Диагностические показатели плодородия почв // Химия в сел.хоз-ве, 1996; N 2. - С. 33-36

133. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия. – М.: Мир, 2004, – 584 с.: ил.

134. Ягодин Б.А., Смирнов П.М., Петерургский А.В. и др.; Под ред. Б.А. Ягодина. –М.: Колос, 1982. – 574 с.;

135. Ягодин Б.А., Смирнов П.М., Петерургский А.В. и др.; Под ред. Б.А. Ягодина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с.;

136. Brkovic M. // Proucavanje uticaja rastucih kolicine dubriva na prinos krompira na podrucju sare. Agrohemiija, 1985; T. 1. - p. 1-5

137. Casper H. Kartoffeln ausgewogen dungen // Landw. Wochenbl. Westfalen-Lippe, 1989, T. 14. N 12. – S. 54-55

138. Coculescu G Relati intre insusirile solujui si recolte // Probleme agr., 1971. An. 23. № 6 P 51-60.

139. Fischer D von; Lauten H. // Dungeng zu Kartoffeln. Landw. Z. Rheinland, 1988; T. 155. N 9. - S. 534-536

140. Frycera I. // Strupovitost brambor a chemismus pud. Uroda, 1988; T. 36. N 7. – s. 309-310

141. Humadi F.M. // Influence of potassium rates on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum*). Iraqi J. agr. Sc. Zanco, 1986; T. 4. N 2. - p. 69-76

142. Johnston A.E.; Lane P.W.; Mattingly G.E.G. // Effects of soil fertilizer P on yields of potatoes, sugar beet, barley and winter wheat on a sandy clay leam soil at Saxmundham, Suffolk. J. agr. Sc, 1986; T. 106. N 1. – p. 155-167

143. MacMurdo W.; Prange R.K.; Veinot R. // Nitrogen fertilization and petiole tissue testing in production of whole seed tubers of the potato cultivars Sebago and Atlantic. Canad. J. Plant Sc, 1988; T. 68. N 3. - p. 901-905

144. Mercik S.; Stepien W. // Effect of long- and short-term liming on soil and plants. *Pol.J.Soil Sc.*, 1994; Vol.27,N 1. – P. 79-86

145. Nilsson L.G. // Fertilizer recommendations based on soil analysis. *Agrokem. Talajtan*, 1989; T. 38. № 3/4. – p. 757-764

146. Payton F.V.; Rhue R.D.; Hensel D.R. // Mitscherlich-Bray equation used to correlate soil phosphorus and potato yields. *Agron. J.*, 1989; T. 81. N 4. – p. 571–576

147. Pestova O.; Bedrna Z. // Vapnenie a kvalita produkcia. *Pol'nohospodarstvo*, 1990; T. 36. N 11. - s. 991-997

148. Snieg L. // Reakcja ziemniaka odmian janka, kora, leda, rys na nawozenie azotem. *Szczecinskie roczniki naukowe*, Wroclaw, 1986; T. 1. N 2. - s. 19-31

149. Suhtxeim L.; Matzel W. // Fruchtarten- und standortspezifische Wirkung der P-Plazierung. *Dungung aktuell*. Leipzig, 1989; T. 1989. - S. 35-45

150. Vokal B.; Novotny J. // Uciniek ruznych kombinaci davek prumyslovyh hnojiv (NPK) na vynos hliz a susiny vybranych odrud brambor. *Rostl. Vyroba*, 1986; T. 32. N 10. - s. 1095-1102

151. Westermann D.T.; Kleinkopf G.E.; Kleinschmidt G.D. // Potatoes: phosphorus fertilization. *Better Crops*, 1986; T. 70. N spring. - p. 18-19

152. Zrust J.; Daniel J. // Tvorba spickovych vynosu brambor. *Uroda*, 1985; T. 33. N 10. - s. 456-457