

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Москва, 2014

Работа выполнена в лаборатории оценки эффективности минеральных удобрений в основных природно–климатических зонах страны Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д.Н. Прянишникова.

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук
Шафран Станислав Аронович

Официальные оппоненты: **Капранов Владимир Николаевич**
доктор сельскохозяйственных наук
Государственное научное учреждение
Московский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Немчиновка»,
лаборатория удобрений и мелиорантов,
ведущий научный сотрудник

Лапушкин Всеволод Михайлович
кандидат биологических наук
Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
кафедра агрономической, биологической химии и радиологии, доцент

Ведущая организация: ГНУ Всероссийский научно – исследовательский институт картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха

Защита состоится «29» мая 2014 г. в «___» часов на заседании Диссертационного Совета Д 006.029.01 при Государственном научном учреждении Всероссийский научно – исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИА Россельхозакадемии).
Адрес: 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова.

Автореферат разослан «___» _____ 2014 года, размещён на сайте ГНУ Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии имени Д.Н. Прянишникова www.vniia-pr.ru.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а, учёному секретарю диссертационного совета. e-mail: dissovet_vniia@mail.ru

Учёный секретарь
диссертационного совета

Никитина Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 влияние взаимодействия 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. Определен экономический эффект от применения минеральных удобрений под картофель в зависимости от сочетания основных агрохимических параметров дерново-подзолистых и серых лесных почв.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Связь прибавки урожая картофеля от минеральных удобрений с основными агрохимическими свойствами дерново-подзолистых и серых лесных почв.
2. Прибавка урожая картофеля от минеральных удобрений на дерново-подзолистых и серых лесных почвах.
3. Окупаемость минеральных удобрений на дерново-подзолистых и серых лесных почвах.
4. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений под картофель на почвах с различными агрохимическими свойствами

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.

Структура и объём диссертации.

Диссертация состоит из введения, методического раздела, обзора литературы, четырёх глав экспериментальной части, экономической эффективности применения минеральных удобрений под картофель, выводов, предложения производству, списка используемой литературы. Материал диссертации изложен на 207 страницах машинописного текста. Текстовая часть сопровождается 55 таблицами и 33 рисунками. Список литературы включает 152 наименования, в том числе 17 на иностранных языках.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В качестве объекта исследования выбран картофель, 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), в основу которой положен метод математического моделирования, позволяющий 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 сопряжённые данные урожая картофеля и агрохимических показателей почвы, полученные в полевых опытах, в которых схема опыта позволяет выделить отдельно действие азотных, фосфорных и калийных удобрений 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 с достаточным количеством сопряжённых данных «агрохимические показатели почвы – дозы удобрений – урожайность», которая использовалась для математического моделирования.

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

Результаты анализа позволили установить, какие именно свойства почв оказывали наиболее существенное влияние 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.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.
Характеристика выборки почв.

Таблица 1

Характеристика выборок почв

Почва	Число наблюдений, n	Гумус, %	pH _{KCl}	Н л.г. по Корнфилду	P ₂ O ₅	K ₂ O	Дозы, кг/га	Прибавка урожайности, ц/га	Окупаемость, кг/кг
				мг/кг					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Опыты с внесением азотных удобрений. Дерново-подзолистые почвы									
Супесчаные	48	1,9... 2,2	4,1... 6,4	56... 123	50... 241	30... 205	60... 150	13... 25	11... 36
Суглинистые	90	1,6... 2,0	3,0... 6,5	13... 140	34... 325	38... 252	60... 150	6... 74	10... 108
Опыты с внесением азотных удобрений. Серые лесные почвы									
светло-серые лесные	195	0,9... 2,6	4,6... 7,2	42... 217	20... 250	35... 223	30... 150	9...41	12... 70
серые лесные	602	1,4... 5,2	4,3... 6,0	5... 274	30... 355	32... 250	30... 150	7...45	9... 72
темно-серые лесные	183	1,9... 4,9	4,4... 6,0	102 ... 251	34... 138	47... 200	60... 150	11...41	19... 27
Опыты с внесением фосфорных удобрений. Дерново-подзолистые почвы									
Супесчаные	268	1,1... 4,8	4,1... 7,1	59... 129	50... 600	18... 535	30... 150	13... 47	17... 113
Суглинистые	310	0,8... 4,0	4,0... 7,0	13... 162	12... 500	15... 420	30... 150	11... 23	10... 64
Опыты с внесением калийных удобрений. Дерново-подзолистые почвы									
Супесчаные	247	1,0... 2,7	4,0... 6,7	56... 115	17... 390	35... 520	60... 150	15...50	11... 84
Суглинистые	230	0,9... 4,0	4,0... 7,5	15... 145	20... 325	13... 570	60... 150	22...36	16... 55

В ходе исследований было обработано более 1 000 наблюдений на почвах разного гранулометрического состава дерново-подзолистых и подтипах серых лесных почв.

Характеристика выборок, по которым выполнены расчеты, приведена в таблице 1.

Полученные данные характеризуются широким диапазоном значений по каждому агрохимическому показателю.

В работе рассматривались данные по содержанию гумуса, рН, легкогидролизуемого азота и содержанию подвижных форм фосфора и калия в почве, а также дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Влияние агрохимических свойств почв на эффективность азотных удобрений при внесении под картофель на дерново-подзолистых почвах.

Таблица 2

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

Аргументы системы	Корреляция						Критерий линейности корреляции	
	Линейная			Криволинейная				
	коэффициенты		уровень значимости	корреляционное отношение	индекс детерминации	уровень значимости	Fф	Fт
	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
рН	-0,31	0,10	0,050	0,33	0,11	0,001	0,6	251
Н 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
рН	-0,37	0,14	0,001	0,35	0,12	0,001	-	-
Н 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

Результаты корреляционного анализа (табл. 2), характеризующего влияние обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом на эффективность азотных удобрений под картофель на дерново-подзолистых почвах, показали наличие обратной по направлению ($r = -0,25 \dots - 0,67$), криволинейной по форме, сильной по тесноте ($\eta = 0,66 \dots 0,85$) и достоверной по значимости ($t = 0,001$) связи.

Зависимость эффективности азотных удобрений под картофель на дерново-подзолистых почвах от обеспеченности почв подвижным фосфором (табл. 2) проявлялась как средняя по тесноте между изучаемыми признаками. При этом более трети изменчивости прибавки урожая картофеля (31-34%) обусловлены вариацией содержания подвижного фосфора в почве.

Зависимость эффективности азотных удобрений под картофель на дерново-подзолистых почвах от содержания подвижного калия в почве (табл. 2) проявлялась как средняя по тесноте и прямая по направлению. Так, коэффициенты корреляции колебались в интервале $0,34 \dots 0,44$, а корреляционные отношения – $0,47 \dots 0,52$ при уровне значимости $0,010 \dots 0,001$. Оценка степени приближения криволинейной зависимости к прямолинейной свидетельствует о преимуществе последней. В обоих случаях (супесчаные почвы, средне- и тяжелосуглинистые почвы) $F_f < F_t$.

Связь между дозами азота и величиной прибавки урожая картофеля от азотных удобрений (табл. 2) во всех случаях была прямая по направлению, средняя (для средне- и тяжелосуглинистых почв) и сильная по тесноте (для супесчаных почв) и криволинейная по форме, что подтверждается оценкой связи по критерию линейности корреляции ($F_f > F_t$).

Таким образом, результаты корреляционного анализа прибавки урожая картофеля от азотных удобрений с агрохимическими свойствами дерново-подзолистых почв (табл. 2) показали, что эффективность азотных удобрений при внесении под картофель на дерново-подзолистых почвах зависит в большей степени от влияния: содержания легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора, содержания подвижного калия, а также доз азота.

Используя эти факторы, как наиболее значимые, определялся их вклад в формирование прибавки урожая картофеля. Затем выводились уравнения регрессии отдельно для каждого фактора систем, по которым проводился соответствующий расчёт, результаты которого приведены в таблице 3.

Приведенные данные говорят о том, что по мере увеличения содержания в почве подвижных форм фосфора и калия возрастала прибавка урожая и окупаемость азотных удобрений. Так, на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах одновременное увеличение степени обеспеченности почв P_2O_5 и K_2O способствовало приросту прибавки урожайности и окупаемости азотных удобрений в 1,3-1,8 раз. Напротив, при более высоком содержании легкогидролизуемого азота эффективность

азотных удобрений снижалась, но при этом отмечался прирост урожая картофеля в контрольном варианте (таблица 3).

На почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, подвижного калия >170 мг/кг и легкогидролизуемого азота >100 мг/кг суммарная урожайность картофеля, полученная за счёт улучшения степени обеспеченности дерново-подзолистых почв питательными веществами и за счёт внесения азотных удобрений, превышала 200 ц/га.

Таблица 3

Эффективность применения азотных удобрений под картофель на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах

Дозы азота, кг/га	Содержание легкогидролизуемого азота, мг/кг							
	<50				>100			
	P ₂ O ₅ , мг/кг				P ₂ O ₅ , мг/кг			
	<50		>150		<50		>150	
	K ₂ O, мг/кг				K ₂ O, мг/кг			
	<80	>170	<80	>170	<80	>170	<80	>170
Урожай и его прибавка, ц/га								
0	102	107	107	112	145	153	152	160
60	28	42	51	65	6	20	29	43
90	31	45	54	68	9	23	32	46
120	34	48	57	71	12	26	36	50
150	37	51	60	74	16	30	39	53
Окупаемость, кг/кг								
60	42	70	85	108	10	33	48	72
90	34	50	60	76	10	26	36	51
120	28	40	48	59	10	22	30	42
150	25	34	40	49	11	20	26	35

Влияние агрохимических свойств почв на эффективность азотных удобрений при внесении под картофель на серых лесных почвах.

Корреляционный анализ показал, что на эффективность азотных удобрений на серых лесных почвах большое влияние оказала степень обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом (табл. 4). В зависимости от подтипа корреляционные отношения составляли 0,53-0,59, а индекс детерминации – 0,28-0,35.

Содержание подвижного фосфора также оказало существенное влияние на эффективность азотных удобрений под картофель на серых лесных почвах (табл. 4). Корреляционные отношения варьировали от 0,37 до 0,57 при индексе детерминации 0,14-0,32.

Таблица 4

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 л.г.	-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 л.г.	-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 л.г.	-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

Зависимость эффективности внесения азотных удобрений под картофель на серых лесных почвах от содержания подвижного калия в почве (табл. 4) проявлялась как средняя по тесноте. Так, значения коэффициентов корреляции колебались в интервале 0,30...0,32, а корреляционного отношения – 0,43...0,54 при уровне значимости 0,001.

На эффективность азотных удобрений определённое влияние оказала реакция почвенной среды (табл. 4) на серых и тёмно-серых лесных почвах.

Связь носила криволинейный характер, корреляционные отношения составляли 0,65 и 0,49. Для светло-серых лесных почв корреляция по форме проявлялась как линейная ($F_f < F_t$) и была слабой по тесноте ($r = 0,31$).

Зависимость между дозами азота и величиной прибавки урожая картофеля от азотных удобрений при возделывании его на серых лесных почвах во всех случаях проявлялась как прямая по направлению, сильная по тесноте, криволинейная по форме, что подтверждается оценкой связи по критерию линейности корреляции ($F_f > F_t$).

Таким образом, статистический анализ данных, полученных на серых лесных почвах с внесением азотных удобрений показал, что значимыми аргументами системы «почва – удобрение – растение» являются: содержание легкогидролизуемого азота; содержание подвижного фосфора, содержание подвижного калия, реакция почвенной среды, а также дозы азотных удобрений.

Аналогично приведённым расчётам определена прибавка и окупаемость удобрений прибавкой урожая картофеля для опытов с внесением азотных удобрений на серых лесных почвах (таблицы 5,6). При этом в расчётах на фоне различной обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия, а также возрастающими дозами азотных удобрений использовались уровни обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом (таблица 5) (на примере светло-серых лесных почв) и группы по значениям реакции почвенной среды (таблица 6) (на примере серых лесных почв).

Данные, приведённые в таблице 5, говорят о том, что по мере увеличения содержания в почве подвижных форм фосфора и калия возрастает прибавка урожая и окупаемость азотных удобрений. Так, на светло-серых лесных почвах при содержании легкогидролизуемого азота < 50 мг/кг эффективность азотных удобрений проявляется в наибольшей степени и по сравнению с повышенным содержанием легкогидролизуемого азота (> 100 мг/кг) прибавка урожая картофеля больше в 2,5-2,8 раза.

На почвах с содержанием подвижного фосфора > 150 мг/кг, подвижного калия > 170 мг/кг и легкогидролизуемого азота < 50 мг/кг суммарная урожайность картофеля достигала более 200 ц/га.

Аналогичные тенденции по влиянию различной обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия, а также легкогидролизуемым азотом на прибавку и окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая картофеля отмечены на серых и тёмно-серых лесных почвах. Поскольку серые и тёмно-серые лесные почвы обеспечены питательными веществами в большей степени (по сравнению со светло-серыми лесными почвами), эффективность азотных удобрений от указанных агрохимических показателей выражена в меньшей степени.

Таблица 5

Эффективность применения азотных удобрений под картофель
на светло-серых лесных почвах

Дозы азота, кг/га	Содержание легкогидролизуемого азота, мг/кг							
	<50				>100			
	P ₂ O ₅ , мг/кг				P ₂ O ₅ , мг/кг			
	<50		>150		<50		>150	
	K ₂ O, мг/кг				K ₂ O, мг/кг			
	<80	>170	<80	>170	<80	>170	<80	>170
Урожай и его прибавка, ц/га								
0	110	135	125	140	122	148	143	174
60	59	61	60	61	21	23	22	24
90	61	62	61	63	23	25	23	25
120	61	63	61	63	23	25	24	26
150	62	63	62	64	24	26	24	26
Окупаемость, кг/кг								
60	99	102	99	102	36	39	36	39
90	67	69	68	70	25	27	26	28
120	51	53	51	53	19	21	20	21
150	41	42	41	42	16	17	16	17

Статистический анализ данных (табл. 4) показал необходимость использования в расчётах такого показателя, как реакция почвенной среды для серых и тёмно-серых лесных почв. На примере серых лесных почв показана прибавка и окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая картофеля при 2-х группах степени кислотности почв (табл. 6).

Аналогично данным, приведённым в табл. 5, прослеживается тенденция возрастания прибавки и окупаемости азотных удобрений прибавкой урожая картофеля с увеличением содержания в почве подвижных форм фосфора и калия (табл. 6).

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) (табл. 6). 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 6

Эффективность применения азотных удобрений
под картофель на серых лесных почвах

Дозы азота, кг/га	рН							
	рН<4,5				рН>5,5			
	P ₂ O ₅ , мг/кг				P ₂ O ₅ , мг/кг			
	<50		>150		<50		>150	
	K ₂ O, мг/кг				K ₂ O, мг/кг			
	<80	>170	<80	>170	<80	>170	<80	>170
Урожай и его прибавка, ц/га								
0	90	107	112	134	129	154	161	192
60	13	16	14	18	16	19	18	21
90	14	17	16	19	17	21	19	22
120	15	18	17	20	18	21	20	23
150	15	18	17	20	19	22	21	24
Окупаемость, кг/кг								
60	21	26	24	29	26	32	30	35
90	16	19	18	21	19	23	22	25
120	12	15	14	17	15	18	17	19
150	10	12	12	14	12	15	14	16

Та же закономерность наблюдается и по окупаемости азотных удобрений (табл. 6). При аналогичном увеличении содержания в почве подвижных форм фосфора и калия (при дозе азота 60 кг/га) при рН < 4,5 окупаемость 1 кг азотного удобрения увеличивается с 21 до 29 кг, а при рН > 5,5 окупаемость увеличивается с 26 до 35 кг/кг.

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

Влияние агрохимических свойств почв на эффективность фосфорных удобрений при внесении под картофель на дерново-подзолистых почвах.

Анализ зависимости эффективности фосфорных удобрений на картофеле от вариации реакции почвенной среды (табл. 7) свидетельствует о стабильном влиянии последней на изменчивость прибавки урожая. Линейная корреляция проявляется как обратная: $r = -0,30$ (супесчаные почвы) и $r = -0,23$ (средне- и тяжелосуглинистые почвы) и слабая по тесноте связи ($r^2 = 0,09 \dots 0,05$). 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) тесноте между признаками.

При изучении зависимости прибавки урожая картофеля от содержания подвижного фосфора в почве (табл. 7) чётко прослеживается влияние этого фактора на эффективность фосфорных удобрений. Наиболее высокая прибавка урожая отмечена при низкой обеспеченности почвы подвижным фосфором. По мере увеличения его содержания эффективность фосфорных удобрений под картофель закономерно и нелинейно снижалась.

Таблица 7

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

Факторы	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	0,32	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

Эффективность фосфорных удобрений под картофель в зависимости от доз фосфора (табл. 7) достоверно характеризуется криволинейной по форме, сильной по тесноте и прямой по направлению.

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 ($F_f > F_T$). Это указывает на необходимость использования данного показателя для расчётов прибавки и окупаемости фосфорных удобрений прибавкой урожая картофеля для дерново-подзолистых супесчаных почв.

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

Таким образом, анализ полученных данных свидетельствует о том, что эффективность фосфорных удобрений под картофель определяется прежде всего: реакцией почвенной среды, содержанием подвижного фосфора в почве, содержанием гумуса и дозами фосфора.

Таблица 8

Эффективность применения фосфорных удобрений под картофель
на дерново-подзолистых супесчаных почвах

Дозы фосфора, кг/га	Содержание гумуса, %							
	<1,5				>1,5			
	P ₂ O ₅ , мг/кг				P ₂ O ₅ , мг/кг			
	<50		>150		<50		>150	
	рН				рН			
	<4,5	>6,0	<4,5	>6,0	<4,5	>6,0	<4,5	>6,0
Урожай и его прибавка, ц/га								
0	105	130	153	189	145	179	212	262
30	41	29	36	24	43	31	37	26
60	44	32	38	26	46	34	40	28
90	45	33	39	27	47	35	41	29
120	45	33	40	28	47	35	42	30
150	46	34	40	28	47	36	42	30
Окупаемость, кг/кг								
30	137	97	118	79	143	103	125	85
60	73	53	64	44	76	56	67	47
90	50	37	44	30	52	39	46	33
120	38	28	33	23	39	29	35	25
150	30	22	27	19	32	24	28	20

Результаты расчётов говорят о том, что по мере увеличения содержания в почве подвижного фосфора и переход их от слабокислой реакции к нейтральной наблюдается снижение прибавки урожая и окупаемости от фосфорных удобрений.

Так, на дерново-подзолистых супесчаных почвах одновременное увеличение степени обеспеченности почв P₂O₅ и переход к нейтральной

реакции почвенной среды приводит к снижению прибавки урожайности от фосфорных удобрений и их окупаемости в 1,6-1,7 раз (таблица 8).

Содержание гумуса оказывало прямое влияние на эффективность фосфорных удобрений – с увеличением его содержания наблюдался прирост урожая и окупаемости фосфорных удобрений прибавкой урожая картофеля. Так, увеличение доз фосфорных удобрений с 30 до 150 кг/га при содержании гумуса < 1,5% способствовало увеличению прибавки урожая картофеля с 41 до 46 ц/га, а при содержании гумуса > 1,5% прибавка увеличивалась с 43 до 47 ц/га. Кроме того, при увеличении содержания гумуса наблюдалось увеличение урожая картофеля без удобрений (табл. 8). Так, одновременное увеличение степени обеспеченности почв P_2O_5 и степени её кислотности 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% – со 145 до 262 ц/га.

На почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, рН >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.

Влияние агрохимических свойств почв на эффективность калийных удобрений при внесении под картофель на дерново-подзолистых почвах.

Результаты корреляционного анализа (табл. 9) показали, что содержание гумуса заметно коррелировало с эффективностью калийных удобрений. Значения корреляционных отношений варьировали в пределах 0,70...0,71. Связь была прямой по направлению и криволинейной по форме (во всех случаях $F_f > F_t$).

Эффективность внесения калийных удобрений под картофель на дерново-подзолистых почвах в зависимости от реакции почвенной среды (табл. 9) проявлялась как средняя по тесноте, прямая по направлению и криволинейная по форме для супесчаных и линейная для средне- и тяжелосуглинистых почв.

На эффективность калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах повлияла также степень обеспеченности их легкогидролизуемым азотом (табл. 9). В наибольшей степени она проявлялась на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах ($r = 0,44$).

Содержание подвижного фосфора также повлияло на эффективность калийных удобрений. Значения коэффициентов корреляции находились в пределах 0,37...0,50.

Зависимость эффективности калийных удобрений от степени обеспеченности почв подвижным калием четко проявлялась как линейная по форме, обратная по направлению и средняя по тесноте связи ($r = -0,43... -0,50$). Наиболее высокая прибавка от калийных удобрений отмечена при

низком содержании подвижного калия в почве. По мере увеличения его содержания эффективность калийных удобрений под картофель закономерно и линейно снижалась.

Дозы калия также оказали заметное влияние на эффективность калийных удобрений. Значения корреляционных отношений достигали 0,78...0,84, что говорит о сильной по тесноте связи.

Таблица 9

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

Аргументы системы	Корреляция						Критерий линейности корреляции	
	Линейная			Криволинейная				
	коэффициенты		уровень значимости	корреляционное отношение	индекс детерминации	уровень значимости	Fф	Fт
	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 л.г.	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

Таким образом, значимыми аргументами системы «почва – удобрение – растение» являются: содержание гумуса, реакция почвенной среды, содержание легкогидролизуемого азота (для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв), содержание подвижного фосфора, содержание подвижного калия, дозы калийных удобрений.

На примере дерново-подзолистых супесчаных почв показано влияние действия факторов на прибавку и окупаемость калийных удобрений прибавкой урожая картофеля (табл. 10). Анализ этих данных свидетельствует

о том, что увеличение содержания в почве гумуса и подвижного фосфора соответственно влияло на прибавку урожая картофеля и окупаемость калийных удобрений.

Содержание гумуса оказало прямое влияние на эффективность калийных удобрений. С увеличением его содержания в почве возрастали прибавка и окупаемость калийных удобрений прибавкой урожая картофеля.

Таблица 10

Эффективность применения калийных удобрений под картофель
на дерново-подзолистых супесчаных почвах

Дозы калия, кг/га	Содержание гумуса, %							
	<1,5				>1,5			
	P ₂ O ₅ , мг/кг				P ₂ O ₅ , мг/кг			
	<50		>150		<50		>150	
	K ₂ O, мг/кг				K ₂ O, мг/кг			
	<80	>170	<80	>170	<80	>170	<80	>170
Урожай и его прибавка, ц/га								
0	59	85	86	124	75	108	110	159
60	41	13	43	14	42	14	44	15
90	42	14	44	15	43	15	44	16
120	43	14	44	16	43	15	45	16
150	43	14	44	16	44	15	45	17
Окупаемость, кг/кг								
60	69	22	71	24	70	23	73	26
90	47	15	48	17	48	16	49	18
120	35	12	37	13	36	13	37	14
150	28	10	29	11	29	10	30	11

Одновременное увеличение обеспеченности почв подвижным фосфором и доз калийных удобрений с 60 до 150 кг/га приводило к приросту прибавки урожая картофеля. Кроме того, при более высоком содержании гумуса наблюдалось увеличение урожая картофеля без удобрений (табл. 10). Так, одновременное улучшение степени обеспеченности почв P₂O₅ и K₂O способствовало удвоению урожая картофеля без удобрений.

Увеличение содержания в почве подвижного калия с низкого до повышенного уровня снижало эффективность калийных удобрений в 2,6-3,0 раза.

Окупаемость калийных удобрений закономерно снижалась при повышении доз калийных удобрений с 69-71 кг/кг до 10-11 кг/кг.

Максимальный урожай был получен на почвах с содержанием подвижного фосфора >150 мг/кг, K₂O >170 мг/кг, дозе калия 150 кг/га и содержании гумуса > 1,5% – 176 ц/га.

На примере дерново-подзолистых супесчаных почв показана прибавка и окупаемость калийных удобрений прибавкой урожая картофеля при 2-х группах степени кислотности почв – при $pH < 4,5$ и $pH > 5,5$ (табл. 11).

Таблица 11

Эффективность применения калийных удобрений под картофель
на дерново-подзолистых супесчаных почвах

Дозы калия, кг/га	pH							
	pH<4,5				pH>5,5			
	P ₂ O ₅ , мг/кг				P ₂ O ₅ , мг/кг			
	<50		>150		<50		>150	
	K ₂ O, мг/кг				K ₂ O, мг/кг			
	<80	>170	<80	>170	<80	>170	<80	>170
Урожай и его прибавка, ц/га								
0	73	104	106	153	80	115	117	168
60	25	7	25	8	27	10	28	10
90	25	8	26	9	27	10	28	11
120	25	8	26	9	28	10	28	11
150	25	8	26	9	28	10	29	11
Окупаемость, кг/кг								
60	41	12	42	14	45	16	46	17
90	28	9	29	10	30	11	31	12
120	21	7	22	7	23	9	24	9
150	17	5	18	6	18	7	19	7

Аналогично данным, приведённым в табл. 10, прослеживается тенденция возрастания эффективности калийных удобрений с увеличением содержания в почве подвижных форм фосфора и снижение прибавки при увеличении содержания в почве подвижного калия (табл. 11).

На почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной ($pH > 5,5$), эффективность калийных удобрений проявлялась сильнее, чем на сильнокислых почвах (табл. 11). Так, с увеличением в почве подвижного калия с содержания < 80 до содержания > 170 мг/кг эффективность калийного удобрения при $pH < 4,5$ снижалась в 2,9-3,6 раза, а при $pH > 5,5$ – в 2,6-2,8 раза.

Экономическая эффективность применения минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах

С целью определения целесообразности внесения минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах и выбора наиболее эффективной дозы удобрения рассчитана условная прибыль от применения минеральных удобрений под картофель.

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

Согласно расчётам (табл. 12-14), максимальная прибыль 64,4 тыс. руб. была получена от азотных удобрений при наибольшем содержании подвижных форм фосфора и калия, содержании легкогидролизуемого азота <100 мг/кг в почве и при дозе азота N₁₅₀.

Таблица 12

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

С повышением содержания подвижных форм фосфора и калия в почве (табл. 12) 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.

Расчет экономической эффективности применения фосфорных удобрений на дерново-подзолистых супесчаных почвах (табл. 13) показал, что максимальная прибыль 40,6 тыс. руб. получена при минимальном содержании подвижного фосфора в почве (< 50 мг/кг), pH<4,5, содержании гумуса >1,5% и дозе фосфора 60 кг/га. Близкая по значению условная прибыль (40,5 и 40,4 тыс. руб.) получена при тех же агрохимических показателях при дозах фосфора 90 и 120 кг/га соответственно.

Таблица 13

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	>6,0	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	>6,0	23,6 / 11,3	24,5 / 9,5	24,3 / 6,5	24,2 / 5,5	23,1 / 4,6

Внесение калия под картофель более целесообразно на почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной, и при содержании гумуса >1,5% (табл. 14). С увеличением доз калийных удобрений уменьшается условная прибыль от применения калийных удобрений на 2-3,9 тыс. руб. Внесение калия под картофель в дозе 150 кг/га на почвах с рН < 4,5 менее эффективно даже при повышенном содержании подвижных форм фосфора.

Таблица 14

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
Содержание гумуса <1,5%					
<50	<80	36,3 / 16,5	36,0 / 11,1	35,6 / 8,5	34,3 / 6,9
>150	>170	10,7 / 5,5	10,3 / 4,0	10,0 / 3,2	8,7 / 2,6
Содержание гумуса >1,5%					
<50	<80	37,3 / 16,6	36,9 / 11,4	35,6 / 8,5	35,3 / 7,1
>150	>170	11,6 / 6,0	11,3 / 4,2	10,0 / 3,2	9,6 / 2,7

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 – возросли. 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 (pH , 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.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. **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.
2. Адрианов С.Н., Прошкин В.А., Шаброва Е.В., **Широкова С.В.** Влияние агрохимических свойств почв на эффективность фосфорных удобрений при внесении под картофель. 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». – М.: ВНИИА, 2012. – С. 44–46.
3. **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.
4. 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.
5. **Швыркина С.В.**, С.А. Шафран. Влияние азотных удобрений на урожай картофеля в зависимости от содержания питательных веществ в дерново-подзолистых почвах // Агрохимический вестник. 2014. – № 1. С.33-35.