РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК

Всероссийский научно-исследовательский институт
агрохимии имени Д.Н. Прянишникова
Россельхозакадемии

Шильников И.А., Сычёв В.Г., Зеленов Н.А.,
Аканова Н.И., Федотова Л.С.

ИЗВЕСТКОВАНИЕ КАК ФАКТОР УРОЖАЙНОСТИ И ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

МОСКВА 2008

«Тот, кто открыл, пусть даже случайно, способ удобрения почвы известью и мергелем, оказал больше благодеяние народу, чем, если бы он построил все благотворительные учреждения Англии вместе взятые»

Габриэль Платт, 1639 г.

«Чтобы в известковании разобраться, нужно хорошо произвестковаться»

О.К. Кедров-Зихман, 1960 г.

ИЗВЕСТКОВАНИЕ КАК ФАКТОР УРОЖАЙНОСТИ И ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

МОСКВА 2008 ГОД

ББК 40.4
УДК 631.421; 631.4; 631.415.2.

Шильников И.А., Сычёв В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. **«Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия», - М.: ВНИИА, 2008. - 340 с.**

ISBN 978-5-9238-0099-9

Обобщены результаты многолетних полевых, лизиметрических и лабораторных исследований ВНИИА и других научных учреждений Российской Федерации, которые выявили закономерности и количественные параметры потерь кальция и магния из корнеобитаемого слоя почв и факторы, влияющие на них. Разработаны математические модели, описывающие закономерности изменения форм кислотности при известковании и их динамику в длительном последействии. Предложены методические указания по расчёту баланса кальция и магния в почве и прогнозированию изменения реакции среды в ней. Выявлена эффективность сочетания известкования с удобрениями в полевых и специализированных севооборотах при внесении различных форм известковых удобрений. Кратко изложена история исследований в лаборатории известкования почв за 70 лет.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов: агрохимиков, агрономов, экологов и почвоведов, научных и практических работников, студентов, аспирантов, преподавателей вузов.

Рецензенты:
академик РАСХН, д-р сельскохозяйственных наук, профессор Н.Н. Дубенок
доктор сельскохозяйственных наук, профессор Гришин Г.Е.

ISBN 978-5-9238-0099-9

© ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы известкования почв в России связана с наибольшими по сравнению с другими странами площадями почв с избыточной кислотностью (более 50 млн га по неполными данными агрохимических обследований). Площадь же почв, на которых необходимо проводить периодическое внесение известковых удобрений на 20-25% больше. Без решения задачи оптимизации реакции среды в почве нельзя создать высокопродуктивного земледелия, а также лугопастбищного хозяйства и в целом решить продовольственную проблему. Особенно актуальна задача оптимизации физико-химических свойств почв для Нечерноземной зоны, в которой проживает 42% населения, сосредоточено около половины промышленно потенциала, производится 21% зерна, 95% льняного волокна, более 48% картофеля, 46% овощей, 31% мяса и 35% молока. Климатические условия, характеризующиеся достаточным и избыточным увлажнением, позволяют в этой зоне получать высокие и устойчивые урожаи, однако, в то же время идёт объективный процесс обеднения корнеобитаемого слоя почв основаниями, и главным образом, кальцием и магнием. Причем процесс повышения кислотности распространился на зону оподзоленных, выщелоченных и обыкновенных чернозёмов.

Избыточная кислотность среды в почве, особенно при высоком содержании активного алюминия, является одной из главных причин низкой продуктивности сельскохозяйственных культур и ряда отрицательных экономических и экологических последствий. В частности, на этих почвах на 30-40% снижается эффективность минеральных удобрений, в 3-8 раз увеличивается накопление в растениях тяжелых металлов и радионуклидов. Ежегодный недобор урожая сельскохозяйственных культур только в Нечерноземной зоне из-за избыточной кислотности составляет ежегодно 8-10 млн тонн сельскохозяйственной продукции в пересчете на зерно, в целом же по Российской Федерации 16-18 млн тонн.

Оптимальная реакция среды в почве и насыщенность ее поглощающего комплекса основаниями являются обязательными условиями системы земледе-

лия для зоны с промывным режимом увлажнения, в которой постоянно идет объективный процесс обеднения почвы основаниями вследствие их миграции с инфильтрационными водами, а также выноса с урожаями сельскохозяйственных культур. По нашим расчетам, зона периодического известкования, включающая дерново-подзолистые, серые лесные, торфяно-болотные почвы и ненасыщенные основаниями черноземы составляет по крайней мере 60 млн га сельскохозяйственных угодий. Причем эта зона постоянно расширяется за счет обыкновенных черноземов с реакцией среды менее 5,5.

Больше половины пахотных почв Нечерноземной зоны имеет избыточную кислотность (pH менее 5,5), причем площадь кислых почв вследствие крайне низкого уровня известкования и резко отрицательного баланса кальция постоянно возрастает. Так, например, за последние годы площадь почв с избыточной кислотностью возросла (%) : в Смоленской области на 8,2, Владимирской на 4,3, Московской – на 3,8. В среднем по зоне потери кальция из почвы вследствие вымывания с инфильтрационными водами и выноса урожаем на порядок выше его прихода.

Процесс увеличения кислотности почв ещё интенсивнее происходит в зоне не только выщелоченных и оподзоленных, но и обыкновенных черноземов. Так, в Белгородской области за период с 1979 по 2003 гг. площадь кислых почв увеличилась почти в 3 раза (с 12,4 до 35,6%), а площадь почв с сильнокислой реакцией среды в 7,6 раза. Выявлены площади почв с избыточной кислотностью там, где они раньше не фиксировались (Саратовская обл., Краснодарский край и др.).

Количественные параметры потерь оснований: в основном кальция и в меньшей мере магния, а также калия и натрия исследованы недостаточно, несмотря на ряд лизиметрических опытов, проведенных в нашей стране за последние 20 лет. Без точного определения этих величин нельзя планировать такие мероприятия как известкование и поддержание оптимального уровня содержания подвижных форм магния в почве. В настоящее время при резком сокращении масштабов известкования : в 2003 г. было произвестковано 400 тыс.

га при необходимых 7-8 млн га, обеднение почвы основаниями достигло катастрофически высокого уровня. В результате происходит рост площадей кислых почва, которые по нашим расчетам достигают 55-56 млн га (средняя ежегодная интенсивность подкисления среды в почве составляет 0,02-0,03 pH).

Реакция среды в почве оказывает сильное влияние не только на вымывание оснований, но и таких токсичных элементов как тяжелые металлы, попадание которых с инфильтрацией в грунтовые воды может влиять на их пригодность для водоснабжения населения.

Научно обоснованный расчет баланса кальция, магния и тяжелых металлов в корнеобитаемом слое пахотных почв становится важнейшей народнохозяйственной и природоохранной задачей, без решения которой могут быть допущены большие потери в развитии, как агропромышленного комплекса, так и в экологическом отношении.

Важнейшее природоохранное и экономическое значение оптимизации реакции среды в почве и балансе кальция в земледелии учтено в практике сельского хозяйства ведущих капиталистических стран мира (США, Англии, Германии), в которых 70-80% затрат на известкование компенсируется государством. В США при меньшей, чем в России площади почв, нуждающихся в известковании, уровень ежегодного применения известковых удобрений составляет 30-35 млн тонн (в 15 раз больше, чем в Российской Федерации). Максимальный уровень применения известковых удобрений в конце 80-х годов в России достигал 46 млн тонн в год.

В истории земледелия за рубежом были неоднократно отмечены периоды резкого изменения реакции среды в почве в сторону увеличения кислотности среды из-за пренебрежения к известкованию, которые сопровождались применением мер для восстановления оптимальных параметров этого важнейшего агрономического показателя. Впервые с этим столкнулись в конце 19-го века в Англии. В послевоенный период имело место резкое увеличение площадей почв, нуждающихся в известковании в Германии (табл.1).

Как следует из приведенных в таблице 1 данных, за период с 1956 по 1968

годы площадь почв со средней и низкой обеспеченностью известью, то есть нуждающихся в известковании, увеличилась с 12 до 72% или в 6 раз. Аналогичный процесс происходит в настоящее время в Российском земледелии.

Таблица 1

Обеспеченность почв известью, ФРГ (Рейнская область)

Годы	высокая	средняя	низкая
	%		
1956	88	8	4
1957	85	11	4
1959	80	15	5
1963	61	29	10
1964	49	35	16
1965	40	42	18
1966	57	34	9
1967	43	39	18
1968	28	52	20
1969	42	42	16
1970	35	48	17
1971	42	45	13
1972	49	35	16

Научно обоснованное прогнозирование изменений реакции среды в почве является теоретической базой периодичности известкования. В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал по динамике физико-химических свойств почвы в длительных полевых опытах. Частично в обобщенном виде или результатах конкретных длительных полевых экспериментов на почвах различного генезиса и гранулометрического составов они приведены в данной работе.

В книге изложены также результаты многолетних исследований по эффективности известкования в длительных полевых опытах. Особое внимание уделено влиянию химической мелиорации почв на урожай и качество клубней картофеля. Этот вопрос длительное время находил противоречивое не однозначное решение, существенно влияя на определение оптимальных доз, форм и сроков применения известковых удобрений. Полагаем, что многолетний экспериментальный материал может найти свое применение, как в практике земледелия, так и в исследовательской работе.

ГЛАВА 2

КРАТКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ЛАБОРАТОРИИ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОЧВ ВИУА (1932-2002 ГГ.)

В ВИУА с самого начала его существования уже более 70 лет работает лаборатория известкования почв, основанная академиком ВАСХНИЛ и АН БССР О.К. Кедровым-Зихманом, которую он возглавлял до 1963. С 1963 по 1969 годы лабораторию возглавлял кандидат с.-х. наук С.Г. Шедеров, а с 1969 года по настоящее время руководитель лаборатории доктор с.-х. наук профессор И.А. Шильников. Основываясь на результатах своих исследований, лаборатория выпустила более 500 научных работ, опубликованных в виде статей в различных научных изданиях или в виде отдельных работ, не считая приблизительно такого же числа стандартов, технологий, технических условий, рекомендаций, методических указаний, брошюр и листовок. Систематически проводилась работа по подготовке научных кадров высшей квалификации. Лаборатория подготовила 6 докторов наук и 60 кандидатов сельскохозяйственных и биологических наук. Не имея возможности в этой статье коснуться всех результатов работ лаборатории, мы остановимся вкратце лишь на главных.

Отношение растений к почвенной кислотности

К периоду начала работы лаборатории (1932 г.) полагали, что оптимальные значения pH для растений остаются постоянными при всех условиях. Однако в результате определения оптимальных значений pH в различных условиях накопилось много данных, противоречащих друг другу, свидетельствующих о том, что этот показатель зависит от многих факторов. При этом выявилось, что из разных факторов, оказывающих влияние на оптимальные величины pH для растений, особое значение имеет ион кальция.

Учитывая это, лаборатория известкования, несмотря на многочисленные данные об оптимальных для сельскохозяйственных растениях значениях pH, полученных как отечественными, так и иностранными исследователями, решила

провести работу с целью установить отношение сельскохозяйственных растений к активной кислотности почвы в определенных условиях, т.е. в условиях известкования почвы, когда в поглощающем комплексе последней и в почвенном растворе имеется значительная концентрация ионов кальция. При этом выяснялось также отношение растений к другим формам почвенной кислотности и к степени насыщенности почв основаниями.

Эта работа выполнялась группой сотрудников ВИУА в течение нескольких лет. Основные результаты проведенных в связи с этим исследований опубликованы в книге 6 авторов (О.К. Кедров-Зихман, С.С. Ярусов, Е.М. Королева, А.Н. Кожевникова, В.А. Корчагина и К.И. Корабельщикова). В результате этой работы были выявлены оптимальные значения активной кислотности для основной массы сельскохозяйственных растений в условиях известкования кислых дерново-подзолистых почв, т.е. в условиях, когда в питательной среде содержится значительное количество кальция (табл.2).

Было выявлено также отношение сельскохозяйственных растений к обменной и гидролитической кислотности и степени насыщенности основаниями. Согласно главному выводу этой работы, наиболее ясное представление об отношении растений к известкованию можно составить по величинам pH водной, а также солевой вытяжек, устанавливающимся при известковании почвы. Определенный интервал оптимальных значений pH является характерным для каждого растения. Если же идет речь о севообороте, в котором выращиваются разные растения, отличающиеся друг от друга по своему отношению к почвенной кислотности, то в этом случае надо ориентироваться на слабокислую реакцию почвы, соответствующую примерно pH водной вытяжки: 6,2-6,5 или pH солевой вытяжки: 5,6-5,8.

Эти исследования были продолжены Н.И. Алямовским. С нескольких сотен полевых опытов с дозами извести были отобраны почвенные образцы. В этих образцах определялись формы почвенной кислотности и степень насыщенности почв основаниями. Сопоставление результатов этих аналитических исследований с величинами урожая сельскохозяйственных растений при внесении различ -

Таблица 2

Оптимум pH для сельскохозяйственных растений при известковании подзолистых почв

Культура	pH водной вытяжки	
	основной интервал	широкий интервал
Пшеница яровая	6,5 - 7,3	
Пшеница озимая	6,5 - 7,3	
Ячмень	6,0 - 7,3	
Рожь	7,0 - 7,4	5,9 – 7,5
Овес	7,0 - 7,7	
Кукуруза	6,5 - 7,0	
Гречиха	7,0 - 7,4	4,7 - 7,5
Просо	5,5 - 7,5	
Клевер	6,0 - 6,7	
Вика	6,3 - 6,8	
Соя	6,5 - 7,1	6,5 – 7,6
Горох	6,8 - 7,4	6,4 – 7,5
Фасоль	7,4 - 7,6	
Люпин	5,3 - 6,7	4,6 – 6,9
Сераделла	5,0 - 6,3	4,7 – 7,0
Картофель	4,7 - 6,3	
Топинамбур	7,0 - 7,2	6,0 – 7,2
Томаты	6,3 - 6,7	
Свекла столовая	6,3 - 6,9	
Свекла кормовая	6,2 - 7,0	
Капуста	6,7 - 7,4	
Тимофеевка	5,0 - 6,5	4,5 – 7,8
Райграс	7,0 - 7,5	
Лисохвост	6,5 - 7,5	6,0 – 7,5
Ежа сборная	6,9 - 7,4	
Лен	6,0 - 6,3	6,0 – 6,9
Конопля	7,1 - 7,4	
Горчица	7,0 - 7,5	
Подсолнечник	6,0 - 6,8	
Мак	6,8 - 7,2	

ных доз извести дало возможность выявить, при каких значениях pH и других показателей физико-химических свойств почвы известкование дает наиболее высокий эффект. Результаты этой работы показали, что наиболее точно отношение растений к известкованию определяется значением pH, которое устанавливается в почве под влиянием извести. Вывод о необходимости понижения избыточной кислотности почвы до слабокислой реакции – основное положение современного

известкования кислых почв, из которого нужно исходить при решении всех вопросов, в частности о потребности в известковании и дозах извести.

Известкование оказывает на почву и растения сложное, многостороннее действие, которое в основном обусловлено снижением кислотности. Поэтому главной задачей известкования является устранение избыточной кислотности, вредной для большинства сельскохозяйственных растений. Это подтверждается многочисленными опытами лаборатории, в частности можно привести результаты вегетационного опыта, проведенного О.К. Кедровым-Зихманом в 1932 году. В этом опыте в одной части сосудов различные градации pH устанавливались путем внесения в почву углекислого кальция, в другом – углекислого натрия. Полученные урожайные данные приводятся в таблице 3.

Таблица 3

Влияние различных значений pH, установленных путем введения в поглощающий комплекс почвы кальция и натрия, на урожай ячменя

Кальций			Натрий		
pH в водной вытяжке	общий урожай	урожай зерна	pH в водной вытяжке	общий урожай	урожай зерна
	(г /сосуд)			(г /сосуд)	
4,6	14,42	6,10	4,6	12,20	2,80
5,4	29,32	12,08	4,8	15,46	5,96
6,3	33,66	14,50	5,9	26,32	10,95
6,6	33,79	13,31	6,6	33,95	14,62

Как видно из этой таблицы, влияние на урожай ячменя углекислой соли натрия (не содержащей кальция) носило такой же характер, как и углекислой соли кальция (содержащей около 40% кальция). По мере повышения реакции среды в том и другом случае увеличивался и урожай ячменя, примерно в одинаковых пределах. Это можно объяснить только тем, что обе соли ($CaCO_3$ и Na_2CO_3) в одинаковой степени влияли на снижение кислотности почвы.

Таким образом, отзывчивость растений на известкование, в основном, определяется их отношением к почвенной кислотности, так как устранение избыточной почвенной кислотности не только само по себе оказывает положительное действие на рост и развитие растений, но создает также благоприятные условия

для проявления положительного действия известкования в других отношениях. Поэтому при известковании почвы в сельскохозяйственном производстве можно с достаточной точностью устанавливать дозы извести, учитывая только почвенную кислотность.

Значение соотношений между кальцием и магнием в почвенном поглощающем комплексе и в известковых удобрениях при известковании почвы

Положительное действие известкования в результате понижения избыточной кислотности определяется в значительной степени тем, что при этом устанавливаются более благоприятные для растений отношения между ионами кальция и водорода в почвенном растворе.

Однако для хорошего развития растений необходимо, чтобы в питательной среде были благоприятные для растений соотношения между всеми ионами, а не только между кальцием и водородом. Классические исследования академика К.К. Гедройца показали, что в этом отношении особенно важное значение имеет соотношение между кальцием и магнием в поглощающем комплексе почвы и в почвенном растворе. Учитывая это, при известковании кислых дерново-подзолистых почв приходится принимать во внимание не только соотношение между кальцием и водородом, но и между кальцием и магнием по следующей причине. Соотношение между кальцием и магнием в поглощающем комплексе и в почвенном растворе этих почв во многих случаях не является благоприятным для роста и развития растений – в них обменного магния содержится меньше, чем для этого нужно.

Поэтому для получения возможно более полного эффекта от известкования дерново-подзолистых почв с повышенной кислотностью необходимо не только устранить избыточную кислотность, но и установить благоприятные для роста и развития растений соотношения между кальцием и магнием в поглощающем комплексе почвы и почвенном растворе.

Лаборатория известкования почв с начала 30-^{х} годов исследовала вопрос о значении магния при известковании (О.К. Кедрова-Зихман, Ф.И. Семенова, Н.А.

Мурашов). Этими работами доказано, что при внесении известковых удобрений в рекомендуемых дозах высокое содержание в них магния, даже превышающее содержание кальция, не только не вредно для сельскохозяйственных растений, но оказывает на большинство из них положительное действие (табл.4).

Таблица 4

Влияние соотношений между поглощенными Са и Mg на урожай ячменя

Внесено в почву (в % от гидролитической кислотности)	Общий урожай		Зерно	
	в г/сосуд	в % к контролю	в г/сосуд	в % к контролю
0 Ca+0 Mg	26,7	100	10,6	100
100 Ca+0 Mg	44,5	167	16,5	155
75 Ca+25 Mg	47,6	178	20,9	196
50 Ca+50 Mg	43,5	162	18,7	176
25 Ca+75 Mg	52,5	196	26,4	248
0Ca+100 Mg	25,2	94	0	-

Главный практический результат исследований соотношения кальция и магния в поглощающем комплексе почвы и в известковых удобрениях состоит в том, что было опровергнуто неправильное мнение о непригодности доломитов для известкования почв и расширен ассортимент известковых удобрений. Последующие в дальнейшем работы лаборатории известкования почв показали, что применение магнийсодержащих известковых удобрений (доломитовая, доломитизированная и магнезиальная известняковая мука) является самым эффективным и наименее энергоемким приемом обогащения почвы подвижными соединениями магния, то есть – это магистральный путь решения проблемы магния в земледелии, особенно на почвах легкого гранулометрического состава.

Дозы извести и способы внесения е

При известковании почв большое значение имеют дозы извести. Изучением этого вопроса лаборатория занимается много лет. В этих работах принимали участие: С.С. Ярусов, С.Г. Шедеров, А.П. Кеворков, В.Ф. Скворцов,

М.Ф. Соколова, К.И. Сонина и др. В разработке приемов применения малых доз извести, особенно большую роль сыграли исследования профессора С.С.Ярусова.

Лабораторией известкования почв ВИУА установлены оптимальные дозы для дерново-подзолистых почв с содержанием органического вещества не более 2-3%, в зависимости от почвенной кислотности и механического состава этих почв. Такие нормальные – полные дозы приведены для углекислой извести в таблице 5.

Эти средние примерные дозы достаточно точны для известкования почв в сельскохозяйственном производстве; в них были внесены некоторые изменения применительно к конкретным почвенно-климатическим районам. Этот способ определения доз извести (в данном случае они соответствовали $^{2}/_{3}$ – $^{3}/_{4}$ гидролитической кислотности) в нашей стране стал главным.

Таблица 5

Нормальные (полные) дозы извести (тонн углекислой извести на гектар)

Гранулометрический состав почвы	pH солевой вытяжки					
	4,5 и менее	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4-5,5
Супесчаные и легкосуглинистые	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1-2
Средне- и тяжелосуглинистые	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5-4,0

Исследования показали, что наибольший эффект известкование дает тогда, когда растения произрастают на известкованной почве в течение всего цикла своего развития, например, при выращивании растений в период рассады и после пересадки последней (однолетки) или в течение первого и второго года развития (двулетники). Очень большое значение, при этом, имеет внесение извести в начальный период вегетации, так как это также дает значительный эффект. Исследования О.К. Кедрова-Зихмана, С.С. Ярусова, А.Н. Кожевниковой, Ф.И. Семеновой о чувствительности растений к кислотности почвы в разные перио-

ды их развития стали теоретической основой для разработки способов применения малых доз извести:

1. заделывание в почву культиватором или даже бороной при предпосевной обработке почвы под покровную культуру для многолетних трав;

2. внесение извести при заделке в почву вместе с навозом или другими органическими, а также минеральными удобрениями под плуг перед посевом покровной для трав культуры;

3. внесение извести в лунки (лучше всего вместе с другими удобрениями при высаживании рассады);

При дальнейшем понижении доз известковых удобрений до $^1/_8$ - $^1/_{10}$ нормальной или еще меньшей известкование не дает устойчивых результатов.

Лаборатория известкования почв исследовала влияние химической мелиорации почв на урожай сельскохозяйственных культур, обобщая результаты длительных полевых опытов, проводимых в СССР. Было установлено, что при внесении в почву доз извести (нормальных) происходит значительное повышение урожая сельскохозяйственных культур. Первое обобщение более 1000 учетов урожая провели О.К. Кедров-Зихман, С.С. Ярусов, Н.А. Алямовский в пятидесятые годы. Результаты обобщений приведены в таблице 6.

Таблица 6

Влияние известкования кислых дерново-подзолистых почв на урожай сельскохозяйственных растений (средние данные по СНГ)

Растения	средняя прибавка урожая от внесения извести (в ц /га)
Рожь и овес (зерно)	2 – 5
Ячмень (зерно)	2 – 5
Яровая пшеница (зерно)	2 – 5
Озимая пшеница (зерно)	3 – 7
Клевер (сено)	8 – 15
Вико-овсяная смесь (сено)	5 – 8
Кормовая свекла(корни)и кормовая капуста	40 – 100
Столовая свекла (корни) и капуста	30 – 80
Картофель (клубни)	5 – 30
Конопля (соломка)	4 – 10
Конопля (семя)	1,5 – 2,5

Было установлено, что действие известкования носит длительный характер и при внесении в почву с повышенной кислотностью извести в дозах, близких к нормальным, проявляется в течение 15-20 лет и больше. При этом каждая тонна ее за ротацию 8-польного севооборота дает общую прибавку урожая всех выращиваемых за это время культур, составляющую в среднем в переводе на зерно 7-8, а за все время своего действия – 12-15 ц/га.

В 80^{е} годы, располагая намного большей информацией (560 длительных полевых опытов с дозами извести), были установлены средние прибавки урожая основных сельскохозяйственных культур от доз извести (И.А. Шильников, А.Ф. Колосова), приведенные в таблице 7.

Таблица 7

Оптимальный интервал pH_{kcl} и средние прибавки урожая основных сельскохозяйственных культур от известкования на дерново-подзолистых почвах

Культура	pH_{kcl}	Доза $CaCO_3$, т/га				оптимальный интервал pH_{kcl}
		2-4	4-6	6-8	более 8	
Пшеница озимая	4,5 и ниже	3,9	4,6	5,4	6,6	6,0 - 7,0
	4,6 - 5,0	2,7	4,0	4,6	5,0	
	5,1 - 5,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
Рожь озимая	4,5 и ниже	2,0	3,0	3,4	3,8	5,5 - 6,5
	4,6 - 5,0	1,7	2,0	2,4	2,8	
	5,1 - 5,5	0,5	1,0	1,2	1,2	
Ячмень яровой	4,5 и ниже	3,6	4,0	4,5	5,1	6,3 - 7,0
	4,6 - 5,0	3,0	3,6	4,1	4,4	
	5,1 - 5,5	1,4	1,8	2,0	2,0	
Овес	4,5 и ниже	2,0	2,3	2,6	2,9	5,4 - 6,0
	4,6 - 5,0	1,7	2,0	2,2	2,5	
	5,1 - 5,5	0,5	1,0	1,2	1,2	
Пшеница яровая	4,5 и ниже	2,0	2,4	2,6	2,8	5,8 - 6,4
	4,6 - 5,0	1,0	1,5	2,0	2,0	
	5,1 - 5,5	0,5	0,8	0,8	1,0	
Картофель	4,5 и ниже	10	14	18	20	5,0 - 5,5
	4,6 - 5,0	13	17	17	10	
	5,1 - 5,5	5	5	5	-	
Кормовые корнеплоды	4,5 и ниже	80	90	120	140	6,2 - 7,0
	4,6 - 5,0	20	40	50	60	
	5,1 - 5,5	10	15	15	15	
Кукуруза (на силос)	4,5 и ниже	40	60	70	80	5,6 - 6,3
	4,6 - 5,0	20	30	40	40	
	5,1 - 5,5	10	15	20	20	

Окончание таблицы №7

Культура	pH_{kcl}	Доза $CaCO_3$, т/га				оптимальный интервал pH_{kcl}
		2-4	4-6	6-8	более 8	
Однолетние травы (сено)	4,5 и ниже	12	14	16	16	5,4 - 6,0
	4,6 - 5,0	6	8	10	10	
	5,1 - 5,5	5	8	8	8	
Многолетние травы (сено)	4,5 и ниже	18	25	27	30	5,6 - 6,4
	4,6 - 5,0	12	15	18	20	
	5,1 - 5,5	9	12	13	15	
Сеяные луга и пастбища – бобово-злаковые (сено)	4,5 и ниже	10	15	18	20	5,4 - 6,0
	4,6 - 5,0	6	8	12	-	
	5,1 - 5,5	4	-	-	-	
Естественные луга	4,5 и ниже	3	4	4	-	5,3 - 5,7
	4,6 - 5,0	2	2	-	-	

Затем были обобщены результаты 11-ти длительных полевых опытов с дозами извести, прошедших две ротации семипольного севооборота (табл.8). Результаты обобщения показали, что действие низких норм извести (0,25 г.к.) было слабым. Эффективность половинной нормы извести в первой ротации севооборота составила около 70% от полной нормы, а во второй ротации – только 50%.

Таблица 8

Средние ежегодные прибавки урожая от норм извести в полевых севооборотах по данным длительных полевых опытов

Ротации севооборота	Нормы извести (доли гидролитической кислотности)			
	0,25	0,5	1,0	2,0
Первая	1,8[x]	3,5	4,8	6,2
	37	73	100	129
Вторая	1,3	2,8	5,6	6,5
	23	50	100	116

[x] в числителе, кормовые единицы, ц/га, в знаменателе, %

Эффективность повторного известкования почв

Эффективность повторного известкования является наиболее актуальным и наименее изученным вопросом. Высокая эффективность повторного известкования наблюдается на фоне низких норм первично внесенной извести. На фоне полных по гидролитической кислотности норм извести даже через длительные

промежутки времени она бывает неустойчивой. Наши исследования объяснили это явление. Оно заключается в том, что структура кислотности произвесткованных полной нормой почв резко отличается от непроизвесткованных: при близких величинах pH, гидролитической кислотности и степени насыщенности основаниями они резко отличаются по наличию обменной кислотности и содержанию подвижного алюминия. Например, в длительном полевом опыте ЦОС ВИУА даже через 28 лет после внесения полной нормы извести (7 т/га $CaCO_3$) величины обменной кислотности и активного алюминия были ничтожно малы, хотя по остальным показателям потребность в извести была достаточно высокой.

Эффективность повторного известкования изучалась в длительном полевом опыте. Результаты учета урожая ячменя, приведенные в таблице 9, показали, что повторное известкование повысило урожайность этой культуры на 4,2-9,8 ц/га. Наиболее эффективной при этом была доза извести, соответствующая 1,5 г.к. Более высокая доза извести не повысила эффективности известкования. В условиях повторного известкования оптимальными для ячменя были следующие агрохимические показатели: pH 5,7-6,4; Hг 1,6-2,1 мг-экв/100 г почвы и степень насыщенности основаниями 84-94%. Близкие к этим результаты получены на клевере. Повторное известкование почвы в сумме за три года повысило урожайность сена люцерны на 59-89 ц/га.

Между урожайностью сельскохозяйственных культур, кислотностью почвы и степенью насыщенности ее поглощающего комплекса основаниями наблюдалась тесная корреляционная зависимость (r=0,75-0,82). Результаты наших исследований свидетельствуют о единстве методических подходов к определению потребности в первичном и повторном известковании.

Динамика кислотности произвесткованных почв

Проведено обобщение данных об изменении кислотности почвы в полевых опытах СССР с учетом последействия извести. Установлено, что имеется положительная связь между нормами извести и сдвигом pH (коэффициенты корреляции составили для супесчаных почв 0,76, для суглинистых 0,61). В резуль-

тате регрессионного анализа получены уравнения, характеризующие зависимость между нормами извести и сдвигом pH для различных по механическому составу дерново-подзолистых почв (рис.1).

Сдвиг pH от 1 тонны $CaCO_3$ составил на супесчаных почвах 0,17-0,25, суглинистых 0,12 - 0,19 и тяжелосуглинистых 0,09 - 0,11. По мере увеличения дозы извести величина общего сдвига pH возрастала, но уменьшался сдвиг от 1 тонны $CaCO_3$.

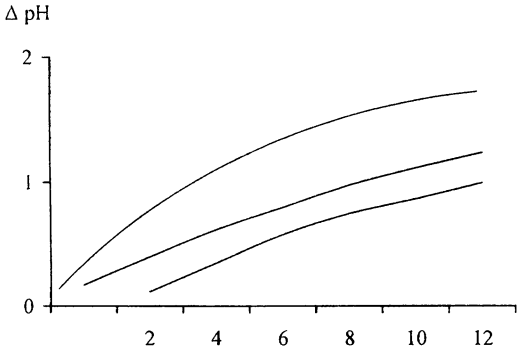

Рис. 1 Влияние доз извести ($CaCO_3$, т/га) на сдвиг pH дерново-подзолистых почв

Доза извести
$y = 0,2787x - 0,00919x^2$; R = 0,70 (супесчаная)
$y = - 0,361 + 0,541x^{0,5}$; R = 0,61 (суглинистая)
$y = - 0,458 + 0,454x^{0,5}$; R = 0,61, (тяжелосуглинистые)

Статистическая обработка экспериментальных данных показала, что между дозами извести, выраженными в долях гидролитической кислотности, и сдвигом pH также имеется прямая связь (r = 0,69 – для супесчаных, r = 0,57 для суглинистых и r = 0,51 для тяжелосуглинистых почв). Наибольшее смещение величины pH при внесении полной дозы извести наблюдалось на супесчаных почвах (1,23), наименьшее – на тяжелосуглинистых (0,98). Установлено, что на сильнокислых суглинистых и особенно тяжелосуглинистых почвах применение полных по гидролитической кислотности доз извести может быть не достаточно для достижения оптимальной реакции.

Результаты обобщения данных полевых опытов по динамике pH показали, что действие извести на реакцию почвы достигает максимума в первые два года, затем происходит постепенное ее подкисление. В течение пятилетнего периода теряется примерно третья часть достигнутого сдвига реакции, через 7-8 лет эта потеря составляет около 50% (рис.2).

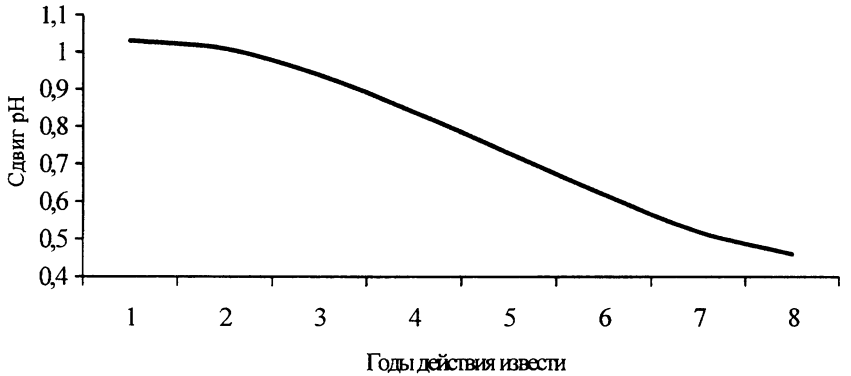

Рис. 2 Изменение сдвига величины pH произвесткованных почв во времени

Влияние известкования кислых почв на урожай льна, картофеля, люпина и качество их продукции

Лен, картофель и люпин – культуры, различные по ботаническим признакам и хозяйственному использованию, длительное время объединяли и объединяют одним общим признаком – отрицательной чувствительностью к щелочной реакции и избытку кальция в почвенном растворе. Наличие в севообороте этих растений – кальциефобов связывалось с необходимостью осторожного отношения к внесению извести. Систему известкования предлагали строить так, чтобы, повышая урожай отзывчивых на это мероприятие культур, не снизить урожай и качество льна, картофеля и люпина. Рекомендации для практики главным образом сводились к двум приемам: применению пониженных доз извести и размещению этих культур возможно дальше от места ее внесения.

Таблица 9

Влияние повторного известкования на урожай ячменя, клевера (ц/га) и агрохимические свойства почвы

Варианты опыта		Урожай	Прибавка урожая от известкования		pH	Hг	H обм.	V,%
			общая	от повторного		мг-экв/100 г почвы		
Ячмень (зерно, среднее за три года)								
$N_{90}P_{120}K_{120}$ под ячмень - фон		25,8	-	-	4,3 - 4,6	4,3 - 5,0	0,3 - 0,4	41 - 57
Фон +$CaCO_3$ по 1,0 г.к. (9 т/га)		31,1	5,3	-	5,0 - 5,7	2,4 - 3,5	0,1	58 - 78
фон + $CaCO_3$ по 1,0 г.к.	+ $CaCO_3$ 0,5 г.к. повторно	35,3	9,5	4,2	5,2 - 6,0	2,0 - 2,4	0,0 - 0,1	73 - 85
	+ $CaCO_3$ 1,0 г.к. повторно	37,5	11,7	6,4	5,6 - 6,2	1,6 - 2,1	0,0	80 - 89
	+ $CaCO_3$ 1,5 г.к. повторно	40,9	15,1	9,8	5,7 - 6,4	1,3 - 2,0	0,0	84 - 91
	+ $CaCO_3$ 2,0 г.к. повторно	38,8	13,0	7,7	5,8 - 6,7	1,0 - 1,8	0,0	89 - 95
3Е.ц/га		2,0						
Клевер (сено, среднее за три года)								
Последействие $N_{90}P_{120}K_{120}$ - фон		50,9	-	-	4,4 - 4,5	4,3 - 4,9	0,3 - 0,4	50 - 55
Фон +$CaCO_3$ по 1,0 г.к. (9 т/га)		67,1	16,2	-	5,1 - 5,6	2,2 - 3,3	0,0 - 0,1	67 - 82
фон + $CaCO_3$ по 1,0 г.к.	+ $CaCO_3$ 0,5 г.к. повторно	72,3	21,4	5,2	5,6 - 6,0	1,6 - 2,1	0,0	76 - 85
	+ $CaCO_3$ 1,0 г.к. повторно	76,3	25,8	9,6	5,4 - 6,1	1,3 - 2,5	0,0	80 - 85
	+ $CaCO_3$ 1,5 г.к. повторно	82,5	31,6	15,4	5,8 - 6,4	1,1 - 1,9	0,0	85 - 94
	+ $CaCO_3$ 2,0 г.к. повторно	81,7	30,8	14,6	5,9 - 6,4	1,0 - 1,7	0,0	86 - 94
3Е.ц/га		7,8						

В длительном полевом опыте исследована эффективность полной по гидролитической кислотности дозы извести (9 т/га $CaCO_3$) и других приемов (применение магния, бора, марганца, повышенной доза калия, силикатной магнийсодержащей форм извести), повышающих по данным исследователей ее эффективность на льне, картофеле и люпине (Л.П. Удалова, Ф.И. Семенова, В.Ф. Иванова).

Результаты исследований со льном показали, что в среднем за 8 лет известкование оказало достоверное положительное действие на урожай соломки (табл.10). Наблюдающееся некоторое снижение выхода волокна было недостоверным, на остальные показатели действие извести существенно не проявилось. На фоне известкования отмечено положительное действие бора на качество волокна и его урожай. Известкование в сочетании с бором гарантировало повышение урожайности и высокое качество продукции.

В условиях опыта не подтверждена характеристика льна как кальциефоба. Исследование корреляционной зависимости между урожаем соломки льна, формами кислотности и содержанием обменного кальция показало, что в большинстве случаев она была слабой и неустойчивой. Урожай соломки и семян льна существенно не зависел от агрохимических свойств почвы.

Погодные условия оказывали сильное влияние на урожайность и качество льна. Результаты корреляционного анализа показали, что наиболее тесная положительная связь урожая и выхода длинного волокна наблюдается с количеством осадков июня в фазу быстрого роста льна, особенно во вторую его декаду. Коэффициент корреляции составил 0,75-0,81. Между урожаем, выходом длинного волокна и температурой воздуха зависимость была обратной.

Установлено, что известкование почвы, улучшая азотное питание растений, оказывает сильное влияние на урожайность и качество льна. На неизвесткованной почве урожай волокна возрастал при увеличении дозы азота до 40 кг/га. При известковании достоверная прибавка урожая волокна получена при внесении 20 кг/га азота, дальнейшее повышение дозы азотных удобрений не дало эффекта. Выход длинного волокна на произвесткованной почве был максимальным при дозе азота 20 кг/га, дальнейшее повышение дозы азотных удобрений привело к достоверному снижению этого показателя. В динамике на произвесткованных почвах содержание азота в растениях льна было более высоким.

Таблица 10

Влияние известкования и приемов, повышающих его эффективность, на урожай и качество льна (среднее за 8 лет)

Варианты опыта		соломка		семена		выход волокна		выход длинного волокна		волокно		волокно длинное		№ длинного волокна		Ц№ длинного волокна	
		урожай	прибавка	урожай	прибавка	средн.	прибавка	среднее	прибавка	урожай	прибавка	урожай	прибавка	среднее	прибавка	среднее	прибавка
		ц/га				%				ц/га							
NPK-фон		43,0	-	7,1	-	18,9	-	12,4	-	8,2	-	5,7	-	10,4	-	61,6	-
Фон+ известняковая мука		46,4	3,4	7,3	0,2	18,4	-0,5	12,2	-0,2	8,5	0,3	5,7	-	10,6	0,2	64,2	2,6
Фон + известняковая мука	+ Mg	46,3	3,3	7,1	-	18,7	-0,2	11,6	-0,8	8,7	0,5	5,3	-0,4	10,2	-0,2	56,4	-5,2
	+ Mn	47,4	4,4	6,9	-0,2	18,3	-0,6	11,8	-0,6	9,1	0,9	5,6	-0,1	10,2	-0,2	59,3	-2,3
	+ B	46,7	3,7	7,3	0,2	18,8	-0,1	12,4	-	8,8	0,6	5,9	0,2	11,0	0,6	67,1	5,5
	+ K	47,6	4,6	6,9	-0,2	18,4	-0,5	11,7	-0,7	8,8	0,6	5,5	-0,2	10,6	0,2	61,2	-0,4
фон+доломитовая мука		45,8	2,8	6,9	-0,2	19,0	0,1	11,7	-0,7	8,7	0,5	5,3	-0,4	10,5	0,1	59,4	-2,2
фон+металлургическ. шлак		46,3	3,3	7,4	0,3	18,7	-0,2	12,3	-0,1	8,7	0,5	5,8	0,1	10,7	0,3	64,9	3,3
P%		2,0		4,2		1,3		2,6		2,3		1,8		1,6		2,8	
3E		2,4		0,9		0,7		0,9		0,5		0,3		0,5		5,1	

Таблица 11

Влияние известкования и приемов, повышающих его эффективность, на урожай и качество клубней картофеля (среднее за 9 лет)

Варианты опыта		Урожай		Выход товарных клубней		Содержание крахмала		Сбор крахмала		Количество пораженных паршой клубней, %				
		среднее	прибавка	среднее	прибавка	среднее	прибавка	среднее	прибавка	Годы после известкования				
		ц/га		%				ц/га		1-й	3-й	5-й	7-й	9-й
NPK+навоз-фон		197	-	82	-	15,8	-	31,1	-	9	29	37	84	92
Фон+известняк. мука		203	6	83	1	16,6	0,8	33,7	2,6	11	42	85	100	81
Фон+ известняковая мука	+Mg	204	7	82	-	16,7	0,9	34,2	3,1	7	44	93	100	86
	+Mn	207	10	83	1	16,2	0,4	33,3	2,2	7	41	98	100	88
	+ B	203	6	83	1	16,2	0,4	33,0	1,9	11	36	98	99	90
	+ K	211	14	86	4	15,8	-	33,1	2,0	7	47	99	100	83
фон+доломитовая мука		212	15	82	-	15,9	0,1	33,7	2,6	7	34	96	100	89
фон+металлургическ. шлак		205	8	82	-	16,1	0,3	33,1	2,0	6	30	72	98	88
P%		1,4		0,9		1,2		2,3						
3E		9		2		0,6		2,3						

Применение полной дозы извести оказало слабое положительное влияние на урожай клубней картофеля, повысило содержание крахмала и его сбор (табл.11). Среди отрицательных явлений проявилось лишь стимулирующее последствие извести на поражаемость клубней картофеля паршой. При непосредственном внесении извести под картофель и применении металлургического шлака поражаемость клубней паршой была аналогична с контрольным вариантом.

В длительном опыте в среднем за 9 лет не отмечено отрицательного влияния полной дозы извести на урожай однолетнего люпина. При известковании достоверно повысились урожай сухой массы (на 4,4 ц/га), содержание протеина в ней (на 0,7%) и его сбор. На фоне извести положительное влияние дополнительных приемов (применение магния, бора, марганца и др.) не проявилось.

Таким образом, кальциефобность льна, картофеля и люпина сильно преувеличена. Докторант лаборатории известкования почв Л.С. Федотова на основании многочисленных исследований разработала систему удобрений в интенсивном картофельном севообороте на дерново-подзолистой супесчаной почве, обеспечивающую среднегодовой урожай картофеля 350-400 ц/га с высоким качеством продукции. Установлено, что известкование оптимальными дозами является энергосберегающим элементом в технологии возделывания картофеля. Окупаемость 1 кг доломитовой муки по дозам составила : половинной 4,1-8,0 и полной – 3,5-4,6 кг клубней картофеля. Длительное время максимальная продуктивность картофельного севооборота создавалась при внесении средних доз удобрений $N_{90-135}\,P_{90-135}\,K_{120-180}$ на фоне полных и половинных доз доломитовой муки. В течение первых четырёх лет известкование не оказывало существенного влияния на поражаемость клубней картофеля паршой обыкновенной. С пятого года проявилась возрастающее отрицательное влияние доломитовой муки, но только по дозе, соответствующей двойной гидролитической кислотности. Л.С. Федотова провела глубокие исследования по динамике агрохимических свойств почвы и потерям питательных элементов в севообороте с картофелем. Ею, в частности, выявлено высокое количество магния, теряемого вследствие инфильтрации атмосферных осадков и выноса урожаями. Средние годовые потери элементов из пахотного слоя составили (кг/га): Ca – 55-127, Mg – 22-75, N –23-69, K - 6-26, S – 43-105.

Эффективность известняковой муки в зависимости от её гранулометрического состава

С целью выявления оптимальных параметров одного из важнейших показателей качества известняковой муки – ее гранулометрического состава проведено 5 полевых опытов. В полевом опыте на ЦОС ВИУА с известняком средней твердости наиболее эффективными были фракции мельче 0,3 мм, близкие по величине прибавки урожая сена люцерны получены от частиц 0,3-1 мм. Эффективность частиц от 1 до 3 мм была несколько ниже, но достигала значительной величины. Влияние крупных фракций (более 3 мм) на урожайность было слабым. Действие частиц известняка на кислотность почвы аналогично их влиянию на урожайность (С.Г. Шедеров, Ю.М. Цветкова).

В полевом опыте, проведенном в НИИСХ Северо-востока (А.П. Андрусинник) с фракциями известняка из породы высокой твердости (прочность на сжатие более 80 МПа), наиболее мелкие частицы – мельче 0,25 мм по эффективности резко превосходили остальные фракции. Применение частиц крупнее 1 мм не дало положительного агроэкономического эффекта. Наибольшее изменение кислотности почвы также наблюдалось при внесении фракции мельче 0,25 мм.

Обобщенные результаты 9 полевых опытов, включающие около 70 учетов урожая различных сельскохозяйственных культур, свидетельствуют о том, что эффективность фракций известняковой муки мельче 1 мм практически равноценна (табл.12). Действие на урожайность следующей по размерам фракции 1-3 мм понижается почти в 2 раза, что необходимо учитывать при расчете доз известковых удобрений. Фракции известняка крупнее 3 мм на урожай влияли очень слабо.

Таблица 12

Эффективность фракций известняковой муки по обобщенным данным полевых опытов СССР

Средняя ежегодная прибавка урожая	Фракции известняка (мм)		
	мельче 0,25	0,25 - 1,0	1,0 - 3,0
Кормовые единицы, ц/га	16,6	14,8	9,4
Относительные числа	100	89	57

Исследована корреляционная зависимость между эффективностью фракции известняка в полевом опыте и его химической активностью, определяемой по Шолленбергу и Хантеру, а также изменением pH, обменной и гидролитической кислотности в почве полевого опыта. Результаты показали, что химические экспресс методы определения активности известняка и действие его фракций на кислотность почвы могут быть использованы для прогнозирования влияния известняковой муки на урожай сельскохозяйственных культур (коэффициент корреляции колебался от 0,76 до 0,99, и в среднем за 4 года он составил 0,91).

В лаборатории проведены модельные опыты, в которых исследовалась зависимость эффективности известняковой муки от твердости размалываемой породы. Установлено, что известняковую (доломитовую) муку в зависимости от предела прочности карбонатных пород при сжатии в насыщенном водой состоянии по прочности отсевов дробления по ГОСТ 26873 или марки прочности следует подразделять на четыре класса:

1-й класс – прочность до 20 Мпа;

2-й класс – прочность свыше 20-40 Мпа;

3-й класс – прочность свыше 40-60 Мпа;

4-й класс – прочность свыше 60 Мпа

Для агрохимической оценки известняковой (доломитовой) муки введен новый термин «Активно действующее вещество», которое рассчитывают по формуле (%):

$$АДВ = \frac{(100 - Н) \cdot (100 - x_3) \cdot x}{10000}, \text{ где}$$

Н-содержание неактивных фракций, %

x_3 – массовая доля влаги, %

x – суммарная массовая доля карбонатов кальция и магния;

к неактивным относятся фракции с размером частиц:

1 - й класс – 100% фракций более 5 мм

20% фракций 3-5 мм

2 – й класс – 100% фракций более 3 мм

20% фракций 1-3 мм

3 -й класс – 100% фракций более 3 мм

50% фракций 1-3 мм

4 –й класс – 100% фракций более 1 мм

На основании наших 25-ти летних исследований разработан ГОСТ Р 50261-92 на известняковую и доломитовую муку, действующий по настоящее время (И.А. Шильников). В нём учтены твёрдость породы, её зерновой состав и содержание влаги (табл. 13-15)

Таблица 13

Физико-химические показатели известняковой муки
(ГОСТ Р 50261-92 на известняковую и доломитовую муку)

Наименование показателя	Известняковая (доломитовая) мука марки А			
	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс
Предел прочности исходной карбонатной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии	Менее 20 МПа	Св. 20 до 40 МПа	Св. 40 до 60 МПа	Св. 60 МПа
Суммарная массовая доля карбонатов кальция и магния, %, не менее	80	80	85	85
Зерновой состав, %, полные остатки на ситах:				
5 мм не более	0	0	0	0
3 мм не более	3*	3	2	1
1 мм не более	25	15	10	3
Массовая доля влаги, %, не более:				
октябрь - март				
группа 1	1,5	1.5	1,5	1,5
группа 2	6,0	6,0	6,0	3,0
апрель - сентябрь				
группа 1	1,5	1,5	1,5	1,5
группа 2	6,0	6,0	6,0	6,0
Показатель АД В, %, не менее:				
группа 1	78	74	78	81
группа 2	74	71	75	77

**Для известняковой (доломитовой) муки марки А класса 1 группы 2 допускается остаток не сите 3 мм не более 5%.*

Исследована смерзаемость известняковой муки различного гранулометрического состава. Установлено, что смерзание более грубой муки класса «Б» МРЗТУ-1-65 происходит при более высокой влажности (8-10%), чем у известня -

Таблица 14

Физико-химические показатели известняковой муки
(ГОСТ Р 50261-92 на известняковую и доломитовую муку)

Наименование показателя	Известняковая (доломитовая) мука марки В			
	1 класс	2 класс	3 класс	4 класс
Предел прочности исходной карбонатной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии	Менее 20 МПа	Св. 20 МПа до 40 МПа	Св. 40 МПа до 60 МПа	Св. 60 МПа
Суммарная массовая доля карбонатов кальция и магния, %, не менее	80	80	85	-
Зерновой состав, %, полные остатки на ситах:				
10 мм не более	0	0	0	-
5 мм не более	5	3	2	-
3 мм не более	10	5	4	-
1 мм не более	35	25	15	
Массовая доля влаги, %, не более:				
без введения профилактической добавки				
октябрь - март	6,0	6,0	6,0	-
апрель - сентябрь	15,0	12,0	8,0	-
с введением профилактической добавки				
октябрь - март	15,0	12,0	8,0	-
Показатель АДВ, %, не менее	64	64	71	-

ковой муки тонкого помола (5-7%). Показано, что применяющееся в практике добавление к известняковой муке хлористого калия из расчета 5% значительно сдвигает границу смерзаемости доломитовой муки, но полностью от смерзания не предохраняет.

Лизиметрические исследования

На базе ЦОС ВИУА в течение 1981-1996 годов были проведены исследования по миграции питательных элементов из корнеобитаемого слоя пахотных дерново-подзолистых почв. Площадь лизиметров с насыпной почвой 0,25 м^2, глубина 50 см. Результаты лизиметрических опытов, подтвержденные данными длительных полевых опытов, показали, что в условиях известкования и приме-

Таблица 15

Физико-химические показатели известняковой муки
(ГОСТ Р 50261-92 на известняковую и доломитовую муку)

Наименование показателя	Известняковая (доломитовая) мука марки С			
	1 класс	2 класс	3 класс	4 класс
Предел прочности исходной карбонатной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии	Менее 20 МПа	Св. 20 МПа до 40 МПа	Св. 40 МПа до 60 МПа	Св. 60 МПа
Суммарная массовая доли карбонатов кальция и магния, %, не менее	80	80	85	85
Зерновой состав, %, полные остатки на ситах:				
10 мм не более	0	0	0	0
5 мм не более	7	5	4	3
3 мм не более	25	20	15	10
1 мм не более	45	40	38	20
Массовая доля влаги, %, не более: без введения профилактической добавки				
октябрь–март	6,0	6,0	6,0	3,0
апрель–сентябрь	15,0	12,0	8,0	8,0
с введением профилактической добавки				
октябрь - март	15,0	12,0	8,0	8.0
Показатель АДВ, %, не менее	60	60	60	62

нения средних доз минеральных удобрений потери кальция из почвы составляют 100-150 кг/га. Соотношение между потерями кальция с инфильтрационными водами и вследствие выноса с урожаем сельскохозяйственных культур в среднем составило 4:1. Потери при вымывании из супесчаных почв были на 25-30% выше, чем из суглинистых. Установлено, что миграция кальция из корнеобитаемого слоя почв происходит большей частью в форме хлоридов, сульфатов и нитратов (И.А. Шильников, К.И. Сонина, М.Н. Мельникова).

Установлена положительная корреляционная зависимость между содержанием в лизиметрических водах Ca^{2+} и суммой концентраций SO_4^{2-} и Cl^- (r=0,61-0,65). Между концентрацией Ca^{2+} и HCO_3^- связь была слабой и неустойчивой. На основании исследований динамики баланса кальция в зоне известкования

почв страны за 1976-2000 годы выявлено резко усиливающееся обеднение почв основаниями (Ca, Mg, K).

Разработаны способы снижения потерь питательных элементов из корнеобитаемого слоя:

1. травосеяние – под многолетними травами потери кальция, магния, калия, серы, азота снижались на 30-40% по сравнению с зерновыми и пропашными культурами;

2. создание условий для максимальной эффективности минеральных удобрений обеспечило снижение потерь кальция на 20-25%, магния – на 25-30%, калия – на 20-60%, серы – на 40-60%, азота на 50-80%;

3. применение минеральных удобрений, не содержащих легкоподвижных, не сорбируемых почвой анионов, снижало потери из почвы кальция на 20-80%, магния – на 20-30%, калия – на 20-60%, серы на 40-60%, азота – на 50-80%;

4. введение в севооборот пожнивных посевов уменьшило вымывание из почвы кальция на 14-37%, магния – на 20-30%, калия – на 20-60%, серы – на 40-60%, азота – на 50-80%;

5. применение ингибиторов нитрификации снижает потери азота из мочевины и сернокислого аммония в 1,5-2,0 раза.

В лизиметрических опытах с меченым N органическими удобрениями при дозе азота 150 кг/га на дерново-подзолистых почвах установлено, что вымывание азота происходит на 98% в форме нитратов. Меченый азот органических удобрений вымывается в незначительном количестве: не более 9-16% от дозы меченого азота на супесчаной почве и 2-5% на тяжелосуглинистой. Внесение соломы резко снижало потери азота с инфильтрационными водами (М.В. Никифорова).

Лизиметрические исследования миграции тяжелых металлов (Cd, Zn, Pb) из корнеобитаемого слоя дерново-подзолистых почв показали, что при внесении в водорастворимой форме их концентрация в первый год составила (мг/л): Cd – 0,01-0,04, Zn – 2,1-3,2, Pb – 0,05 на супесчаной и соответственно 0,01; 0,1 и 0,13 на тяжелосуглинистой. В последующие годы концентрация тяжелых металлов снизилась в 5-10 раз и существенно не отличалась от незагрязненной почвы.

Основное количество тяжелых металлов вымывалось из почвы в первый год проведения опыта (г/га): из супесчаной почвы 72-79 Cd, 819-8894 Zn, 58-93 Pb. В последующие годы потери тяжелых металлов снизились до ничтожно малых величин. За пять лет исследований потери металлов от внесенной дозы составили (%):Cd – 2, Zn – 2, Pb – 0,1 на супесчаной почве и соответственно 0,3; 0,6 и 0,2 на суглинистой. Известкование почвы уменьшало вымывание тяжелых металлов (М.В. Никифорова, И.А. Шильников).

Исследование свойств металлургических шлаков с целью прогноза их эффективности в качестве известковых удобрений

Исследования были направлены на изучение тех свойств металлургических шлаков, на которые необходимо влиять в процессе их производства, чтобы получать известковое удобрение с наиболее благоприятными свойствами (С.Н. Васильева, И.А. Шильников).

Изучен химический и гранулометрический состав доменных, сталеплавильных и феррохромовых шлаков одиннадцати металлургических заводов. Петрографические исследования показали, что шлаки различаются по минералогическому составу. Установлено, что в ферросплавных и электросталеплавильных шлаках основным составляющим минералом является двухкальциевый силикат. Доминирующими минералами мартеновских шлаков являются мервинит и монтичеллит, доменных – мелилит, состоящий из окерманита и геленита. Скорость охлаждения шлаковых расплавов оказывает сильное влияние на образование минералов в кристаллической и стекловидной фазах.

Результаты лабораторных исследований показали, что наиболее высокую нейтрализующую способность имели ферросплавные и электросталеплавильные шлаки, несколько меньшую - мартеновские молотые стекловидные и закристаллизованные, низкую – доменные шлаки. Немолотые, натуральные гранулированные мартеновские и доменные шлаки имели наименьшую нейтрализующую способность и растворимость. Основность шлаков не является решающим фактором, обусловливающим их химическую активность.

Наибольшая растворимость кальция и магния отмечена у ферросплавных и электросталеплавильных шлаков, самая низкая – у доменных закристаллизованных. Исследование свойств основных составляющих шлаки минералов показало, что наиболее высокую нейтрализующую способность имеет двухкальциевый силикат (113%), самую низкую – геленит кристаллический (35,4%). Между нейтрализующей способностью минералов и растворимостью содержащихся в них кальция и магния установлена тесная корреляционная зависимость (r = соответственно 0,96 и 0,71). По данным вегетационных опытов наибольшее влияние на урожай растений оказали ферросплавные и электросталеплавильные шлаки, действие мартеновских и особенно доменных шлаков со стекловидной структурой была выше по сравнению с их кристаллическими аналогами. Действие шлаков на урожайность растений определялось их влиянием на кислотность почвы и степень насыщенности основаниями.

Исследование влияния на урожайность растений основных минералов, составляющих шлаки, показало, что наиболее эффективными из них являются двухкальциевый силикат и мервинит. Минералы в стекловидной форме по влиянию на продуктивность растений и агрохимические свойства почвы значительно превосходили те же, но закристаллизованные. Результаты вегетационных и лабораторных исследований показали, что нейтрализующей способности для прогнозирования агрономической эффективности известьсодержащих металлургических шлаков недостаточно. Их характеристика должна быть дополнена гранулометрическим, фазовым и минералогическим составами.

Результаты длительного полевого опыта, проведенного на Смоленском филиале ВИУА, показали, что при внесении в полной по гидролитической кислотности дозе металлургический шлак оказывал положительное действие на урожайность сельскохозяйственных культур в течение 30 лет, превосходя известняковую муку. При этом не установлено никакого отрицательного действия шлака на качество урожая и накопление токсичных элементов в почве (Л.П. Удалова, Н.И. Аканова, Н.Ф. Поливцев, Н.А. Зеленов).

Сочетание известкования почв с применением органических и минеральных удобрений

Система удобрения кислых почв состоит из двух основных приемов: известкования и применения органических и минеральных удобрений. Известь устраняет избыточную кислотность почвы, удобрения обеспечивают растения питательными элементами. Известкование почв не может заменить удобрений, а удобрения не заменяют известкования.

Влияя на мобилизацию питательных веществ, ускоряя разложение органических остатков и удобрений, улучшая условия роста и развития растений, известь оказывает сильное влияние на эффективность удобрений. Этот вопрос был центральным в многочисленных и многолетних исследованиях лаборатории. Приведем здесь лишь главные итоги.

Результаты опытов лабораторий известкования почв ВИУА (С.Г. Шедеров, М.М. Романенкова) и института сельского хозяйства АН БССР (О.К. Кедров-Зихман, А.И. Баева), где систематически, в течение ряда лет изучалось использование известковых и органических удобрений в севообороте показали, что при внесении 10-20 т/га навоза и извести, в полной или половинной дозе, получается примерно такой же или более высокий урожай, как при применении одного навоза (без извести) в дозе, превышающей указанную в 2-3 раза.

С целью изучения эффективности возрастающих доз минеральных, известковых удобрений и их сочетания в 1982-1998 гг. в Смоленском филиале ВИУА проведен двухфакторный полевой опыт на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, подстилаемой карбонатной мореной. Одним из факторов является известковое удобрение, другим – полное минеральное удобрение. Дозы обоих видов удобрений возрастающие (6 доз извести и 4 дозы NPK).

Наибольшая среднегодовая продуктивность севооборота в 32,5 ц/га з.е. обеспечивалась при сочетании высокой дозы минеральных удобрений и полной дозы извести. Однако оптимальным по окупаемости затраченных средств следует считать внесение средней дозы NPK на произвесткованной по 0,5 г.к. дозой почве. При этом среднегодовой урожай снижался всего на 9% по сравне-

нию с максимальным по продуктивности вариантом, а окупаемость затраченных минеральных удобрений возрастала в три раза (табл.16).

Таблица 16

Урожай и окупаемость минеральных удобрений сельскохозяйственной продукцией в зависимости от применяемой системы удобрений

Культура		Доза удобрения		Урожай, ц/га	Относительные числа	Окупаемость
		$CaCO_3$	NPK			
Озимая пшеница	max	1,0	$N_{90}P_{90}K_{90}$	39,3	100	7,7
	opt	0,5	$N_{45}P_{45}K_{45}$	38,2	97	14,6
Ячмень	max	1,0	$N_{135}P_{90}K_{135}$	35,6	100	6,3
	opt	0,5	$N_{45}P_{30}K_{45}$	31,0	87	14,9
Многолетние травы*	max	1,5	$N_{45}P_{30}K_{45}$	62,5	100	-
	opt	0,5	$N_{45}P_{30}K_{45}$	60,9	97	-
Озимая рожь	max	2,0	$N_{90}P_{90}K_{90}$	41	100	9,9
	opt	0,5	$N_{30}P_{30}K_{30}$	32,5	79	20,2
Лен	max	1,0	$N_{60}P_{135}K_{180}$	49,6	100	6,8
	opt	0,5	$N_{20}P_{45}K_{60}$	46,0	93	17,4
Картофель	max	0,5	$N_{135}P_{135}K_{180}$	194	100	20,7
	opt	0,5	$N_{45}P_{45}K_{60}$	182	94	54
Горохоовсяная смесь	max	2,5	$N_{135}P_{90}K_{135}$	54,3	100	9,5
	opt	0,5	$N_{45}P_{30}K_{45}$	42,9	79	18,9
Севооборот**	max	1,0	$N_{99}P_{96}K_{123}$	32,5	100	5,7
	opt	0,5	$N_{33}P_{32}K_{41}$	29,7	91	14,4

*- под многолетние травы указаны дозы, вносимые род покровную культуру (здесь учитывается их последействие)

** - дозы минеральных удобрений среднегодовые, урожай указан в зерн.ед.

Изменение продуктивности севооборота во времени:

$$Урожай = 8,3 + 10,9 \cdot Ca^{0,5} - 2,17 \cdot NPK^{0,5} - 6,0 \cdot Ca - 3,3 \cdot NPK + 0,6 \cdot X - 0,8 \cdot (Ca \cdot NPK)^{0,5} + 0,92 \cdot (Ca \cdot X)^{0,5} + 4,6 \cdot (NPK \cdot X)^{0,5};\ R=0,99$$

Из уравнения следует, что на протяжении двух ротаций происходило увеличение, как общей продуктивности севооборота, так и эффекта от известкования и применения минеральных удобрений. Однако участие каждого фактора в получении урожая по ротациям было различным.

Так, например, в первую ротацию при сочетании полуторной дозы извести и высокой дозы минеральных удобрений была достигнута продуктивность в 25,3 ц/га з.е. в год, при этом доля участия извести и NPK в получении урожая составляла 29,1 и 28,7% соответственно. Во вторую ротацию, при увеличении продуктивности на этом варианте до 39,3 ц/га з.е. в год, эти показатели равнялись 21,9 и 40,7% соответственно. При внесении одной извести доля ее участия в получении урожая снижалась с 37 до 35% за две ротации севооборота, доля NPK за этот же промежуток времени наоборот возрастала с 37 до 50%. Таким образом, с течением времени при общем росте продуктивности эффективность известкования снижается, а минеральных удобрений наоборот возрастает, причем такой характер действия наблюдается как при совместном так и при раздельном их использовании (Л.П. Удалова, Н.И. Аканова, А.А. Нестеров).

Анализ обобщенных данных учета урожая, за две ротации семипольного севооборота, показал, что применение извести и удобрений способствует повышению продуктивности культур севооборота не только в нормальные, но также в неблагоприятные по климатическим условиям годы.

Влияние известкования на эффективность фосфоритной муки

Наши исследования проводились с целью изучения эффективности фосфоритной муки на произвесткованных полными дозами извести почвах в многолетних полевых опытах, позволяющих дать объективную оценку таким отличающимся длительным последействием удобрениям как известь и фосфорит.

Результаты полевого опыта, проведенного на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве показали, что в первой ротации пятипольного севооборота на фоне полной дозы извести резко снизилась эффективность фосфоритной муки, на фоне половинной дозы – на 20%. Во второй ротации и в сумме за две ро-

тации эффективность фосфоритной муки при однократном или дробном внесении извести близка к суперфосфату (табл.17). Аналогичные данные получены и по выносу фосфора культурами севооборота. Коэффициент корреляции между суммарными урожаями сельскохозяйственных культур и выносом фосфора составил 0,98. Достаточно высокая эффективность фосфоритной муки в первой ротации севооборота получена при изменении величин pH до уровня 5,0-5,2, гидролитической кислотности 2,8-3,0 мг-экв/100 г почвы и степени насыщенности основаниями 78-82%.

После второй ротации севооборота проведено повторное известкование с доведение pH почвы до уровня 5,8-6,3. И в этих условиях в 3-6 ротации севооборота (за 20 лет) существенных различий в эффективности суперфосфата и фосфоритной муки не выявлено (И.А. Шильников, Н.А. Кирпичников, О.Ю. Белоцветова).

Исследование фосфатного состояния почвы показало, что метод Кирсанова не пригоден для его характеристики в условиях применения фосфоритной муки на свеже произвесткованных почвах. Наиболее тесной в этом случае была связь между урожаем и содержанием в почве подвижных соединений фосфора, извлекаемых фторидно-аммонийной и слабосолевой вытяжками. При длительном последействии хорошие результаты показали методы Кирсанова и Скофилда.

Высокая эффективность фосфоритной муки на фоне извести в полевых опытах объясняется длительностью неравномерного (очагового) размещения известкового удобрения в пахотном слое при современных орудиях обработки почвы.

В модельных вегетационных опытах создавалась неоднородность реакции почвы, идентичная с условиями пахотного слоя в полевом опыте. Их результаты показали, что при равномерном перемешивании с почвой половинная и полная дозы извести резко понижали эффективность фосфоритной муки. При очаговом внесении извести в почву отрицательное ее влияние на фосфорит определялось не величиной дозы, а тем количеством почвы, с которым она находилась в контакте. При смешивании любой дозы извести с 30% почвы действие фосфоритной муки оставалось таким же высоким, как и на кислой почве (табл.18).

Таблица 17

Влияние известкования на эффективность фосфорных удобрений за две ротации пятипольного севооборота

Варианты опыта		Ротации севооборота								
		первая			вторая			первая +вторая		
		прибавки урожая								
		общая	от фосфорных удобрений		общая	от фосфорных удобрений		общая	от фосфорных удобрений	
		ц/га зерн.ед.		%	ц/га зерн.ед.		%	ц/га зерн.ед.		%
Фон (навоз+NK) +Рф		16,2	16,2	108	44,7	44,7	100	60,9	60,9	101
Фон	+Рс	15,9	15,9	100	44,5	44,5	100	60,4	60,4	100
	+известь1/2 г.к. в I^{ой} и II^{ой} ротациях	11,3	-	-	21,3	-	-	32,6	-	-
	+известь1/1 г.к. в I^{ой} ротации	15,3	-	-	16,0	-	-	31,3	-	-
	+известь1/2 г.к. в I^{ой} и II^{ой} ротациях+Рф	22,6	11,3	80	50,4	29,1	90	73,0	40,4	87
	+известь1/2 г.к. в I^{ой} и II^{ой} ротациях++Рс	25,4	14,1	100	53,6	32,3	100	79,0	46,4	100
	+известь1/1 г.к. в I^{ой} ротации+Рф	20,5	5,2	52	50,0	34,0	107	70,5	39,2	92
	+известь1/1 г.к. в I^{ой} ротации+Рс	26,2	10,9	100	47,6	31,6	100	73,8	42,5	100
	+Рф $^{1}/_{2}$ дозы+Рс $^{1}/_{2}$ дозы	9,6	9,8	-	37,9	37,9	-	47,5	47,5	-
	+Рф $^{1}/_{2}$ дозы+ Рс$^{1}/_{2}$ дозы+известь 1 доза в I^{ой} ротации	21,4	6,1	61	47,7	31,7	100	69,1	37,8	89

Таблица 18

Зависимость эффективности фосфоритной муки от доз и степени перемешивания извести с почвой в вегетационном опыте (г/сосуд)

№ п/п	Варианты опыта		Кукуруза (воздушно-сухая масса)		Просо			
			урожай	прибавка	зерно		солома	
					урожай	прибавка	урожай	прибавка
1	NK - фон		20,5	-	4,2	-	10,0	-
2	фон	+Рф равномерно с почвой	63,7	43,2	20,0	15,8	32,8	22,7
3	фон	+Са $^1/_2$г.к.равномерно с почвой	12,3	-8,2	1,7	-2,5	3,3	-6,8
4	фон	+Са $^1/_1$г.к.равномерно с почвой	15,4	-5,1	3,9	-0,3	6,2	-3,9
5	фон	+Са $^1/_2$г.к. равномерно с почвой +Рф	22,7	2,2	4,1	-0,1	6,0	-4,1
6	фон	+Са $^1/_1$г.к.равномерно с почвой+Рф	17,6	-2,9	4,3	0,1	6,4	-3,7
7	фон	+Са $^1/_2$г.к.с 30% почвы очагами	35,5	15,0	5,8	1,6	8,5	-1,6
8	фон	+Са $^1/_2$г.к. с 30% почвы очагами +Рф	76,3	55,8	18,1	13,9	28,2	18,1
9	фон	+Са $^1/_2$г.к. с 65% почвы очагами	12,4	-8,1	4,4	0,2	6,1	-4,0
10	фон	+Са $^1/_2$г.к. с 65% почвы очагами +Рф	32,1	11,6	9,6	5,4	10,3	0,2
11	фон	+Са $^1/_1$г.к. с 30% почвы очагами	33,6	13,1	5,1	0,9	8,5	-1,6
12	фон	+Са $^1/_1$г.к. с 30% почвы очагами +Рф	62,6	42,1	15,2	11,0	27,6	17,5
13	фон	+Са $^1/_1$г.к. с 65% почвы очагами	14,5	-6,0	3,4	-0,8	5,5	-4,6
14	фон	+Са $^1/_1$г.к. с 65% почвы очагами+ Рф	24,9	4,4	8,1	3,9	11,3	1,2
Р, %			6,0		8,8		8,2	
ЗЕ, г/сосуд			5,7		2,0		3,0	

Результаты исследований показали, что анализ кислотности в смешанных образцах почвы не всегда дает правильный прогноз эффективности фосфоритной муки на произвесткованных почвах (И.А. Шильников).

Исследование фосфоритной муки различных месторождений и тонины помола показало, что главным фактором ее эффективности на фоне известкования является способ внесения извести и фосфоритной муки в почву. Тонина помола и особенности месторождения имели второстепенное значение.

Действие на эффективность фосфоритной муки форм известковых удобрений (карбонатных, силикатных, магнийсодержащих, гидрофобизованных и др.), различающихся по химическому составу и скорости взаимодействия с почвой, определялось их влиянием на величины pH, гидролитическую кислотность и степень насыщенности основаниями (r=0,76-0,81). Эффективность фосфоритной муки не зависела от содержания обменной и водорастворимой форм кальция в почве (r= -0,31-0,36).

Таблица 19

Окупаемость 1 кг P_2O_5 фосфорных удобрений сельскохозяйственной продукцией за 30 лет (кг зерн.ед.)

Варианты	Ротации севооборота					
	1	2	3	4	5	6
1. NK + Рф	10,5	14,9	13,5	15,3	18,0	19,1
2. NK + Рс	10,0	15,0	13,7	17,1	19,2	20,7
3. NK + Рф + 1,5 г.к.	7,1	10,0	8,9	9,4	10,5	10,5
4. NK + Рс + 1,5 г.к.	8,8	11,4	10,6	11,8	12,5	12,4

В практике обычно окупаемость 1 кг P_2O_5 фосфорных удобрений составляет 3-4 кг продукции в пересчете на зерно, а коэффициент использования питательных веществ фосфорных удобрений не превышает 20-25%. Наши многолетние исследования показали, что окупаемость фосфора удобрений без учета их последействия определять совершенно не верно. В нашем длительном опыте учтена окупаемость 1 кг P_2O_5 продукциней в динамике за 30 лет (табл.19). Эти данные также свидетельствуют о высокой и равноценной окупаемости P_2O_5 Рф и Рс сельскохозяйственной продукцией (О.Ю. Белоцветова, И.А. Шильников).

Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение

Целью исследований являлась разработка научно-обоснованных приемов детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами, и оценка влияния удобрений и свойств почв на токсичность тяжелых металлов.

При проведении исследований впервые выявлено около одного миллиона гектаров почв, загрязненных тяжелыми металлами. Установлено, что загрязнение ТМ носит локальный характер и не имеет сплошного распространения (М.М. Овчаренко). Установлено количественное содержание тяжелых металлов: Cu, Co, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd и As в калийных, фосфорных и азотных удобрениях, выпускаемых химическими предприятиями Российской Федерации и стран СНГ. Азотные, калийные и фосфорные удобрения по содержанию ТМ являются чистыми.

Прогнозными расчетами установлено, что при внесении в полевых севооборотах научно-обоснованных доз минеральных и известковых карбонатных форм удобрений в период широкой химизации земледелия с минеральными удобрениями поступало (мг/кг почвы): Cu - 0,002, Ni - 0,001, Pb – 0,0005, Cd – 0,00008, As – 0,003, Cr – 0,004. Для удвоения фонового содержания валовых или подвижных форм ТМ в почве за счет фосфорных удобрений потребуется одновременно внести на гектар пашни сотни тонн физической массы удобрений (И.А. Шильников, М.М. Овчаренко). Результаты наших длительных полевых опытов при систематическом применении удобрений в течение 20-30 лет полностью подтвердили прогнозные расчеты (Н.И. Аканова, О.Ю. Белоцветова).

Результаты многолетних исследований показали, что известкование почв позволяет уменьшить поступление в растения цинка, кадмия, меди и свинца в 5-8 раз. Теоретически обосновано и экспериментально доказано, что максимальное снижение подвижности тяжелых металлов в почве происходит при pH_{kcl} выше 6,5 (М.М. Овчаренко, С.Н. Лебедев). На дерново-подзолистых почвах, загрязненных (мг/кг, валовые формы): кадмием 10, цинком 300, свинцом 200 или одним из указанных элементов для максимального снижения поступ-

ления ТМ в растения необходимо вносить не менее 3^x доз $CaCO_3$, рассчитанных по гидролитической кислотности, при доведении pH почвы до 6,5-6,7.

Результаты длительных исследований показали, что цеолиты обладают слабым и неустойчивым влиянием на подвижность тяжелых металлов в почве и их поступление в растения. Органические удобрения оказывали детоксикационное действие на загрязненных почвах, но по влиянию на поступление ТМ в растения многократно уступали известкованию.

По результатам многолетних вегетационных и микрополевых опытов с широким набором концентраций ТМ: Cd, Zn, Pb (4 концентрации) и доз извести (6 доз) установлена закономерность изменения урожайности от токсичности тяжелых металлов и их накопления в растениях в зависимости от уровня реакции среды и содержания ТМ в почве, которая описана следующими уравнениями регрессии:

$У_{1\,Cd} = 81,97 + 26,01 \cdot Ca - 3,26 \cdot Cd - 3,96 \cdot Ca^2 + 0,72\ (Ca \cdot Cd)$; R=0,79
$У_{2\,Cd} = 1,08\text{-}1,25 \cdot Ca + 0,61 \cdot Cd + 0,18 \cdot Ca^2 - 0,02 \cdot Cd^2 - 0,06(Ca \cdot Cd)$; R= 0,93
$У_{1\,Zn} = 57,44 + 52,97 \cdot Ca - 6,73 \cdot Ca^2$; R=0,6
$У_{2\,Zn} = 130,8\text{-}85,9Ca+29,4Zn+11.4Ca^2\text{-}0,7(Ca \cdot Zn)$; R=0,93
$У_{1\,Pb} = 99,95 + 34,29 \cdot Ca - 0,39 \cdot Pb - 4,0 \cdot Ca^2$; R=0,81
$У_{2\,Pb} = 3,1+0,1Pb\text{-}0,02\ (Ca \cdot Pb)$; R= 0,88

$У_1$ –урожайность, г/сосуд; $У_2$ – содержание элемента в растениях, мг/кг;

Все уравнения рассчитаны по данным второго года исследований.

При существовавшей в 1981-1990 гг. в РФ системе удобрений и антропогенной нагрузке в земледелии, баланс для всех ТМ оказался положительным, однако ежегодное их накопление составляет десятые и сотые доли процента от фонового содержания ТМ в почве и не представляет угрозы загрязнения почв и растений за счет удобрений. В среднем с 1 кг NPK при среднем соотношении N:P:K= 1:1:0,5 вносилось Cr, Ni, Co, Pb, Zn, Cd в сумме 0,413 г/га почвы.

В целях снижения накопления Cd, Pb, Zn, Cu в растительной продукции разработаны научно-обоснованные приемы детоксикации загрязненных почв с обязательным внесением расчетных доз $CaCO_3$ и доведением величины pH_{kcl} выше 6,5, вошедшее составной частью в разработанные впервые методические указания по рекультивации загрязненных тяжелыми металлами почв.

Методические работы

1. О природе обменной кислотности почв. До сих пор нет единого мнения относительно природы почвенной кислотности. По этому вопросу имеются две основные теории. По теории К.К. Гедройца, обменная кислотность обусловлена наличием в почвах поглощенного водорода, а по теории Дайкухары и Каппена – наличием поглощенного алюминия. Работами лаборатории известкования почв установлено, что природа обменной кислотности почв зависит от свойств последних, в частности, от относительного участия в их поглощающем комплексе органического вещества и глинистых минералов. В пахотном слое почв, содержащих наряду с глинистыми минералами органическое вещество, обменная кислотность обусловливается в значительной степени обменными ионами водорода, а в глинах в основном – ионами алюминия. Основная роль в изучении этого вопроса принадлежит работам доктора С.С. Ярусова, часть которых выполнена в сотрудничестве с М.Ф. Соколовой. Наряду с этими работами различные стороны данного вопроса выяснены исследованиями Н.И. Алямовского.

Природа обменной кислотности почв оказывает влияние на их агрономические свойства, на рост растений и эффективность удобрений. Так, например, разложение фосфоритной муки протекает сильнее, а ретроградация водорастворимой P_2O_5 происходит слабее в почвах, содержащих ионы водорода, по сравнению с почвами, содержащими эквивалентные количества обменного алюминия. Присутствие в почвах обменного алюминия усиливает токсическое действие кислотности на растение. Органическое вещество, связывая обменный алюминий, ослабляет его вредное влияние на растение. С увеличением органического вещества в почвах токсичность их обменной кислотности для растений снижается. Это обстоятельство необходимо учитывать при определении нуждаемости почв в известковании.

2. Методика массового исследования почв в целях известкования. Известкованию должно предшествовать исследование почв на нуждаемость в извести. Для массовых исследований необходимы простые и достаточно надежные ме-

тоды определения нуждаемости почв в известковании и установления доз извести, чтобы пользоваться ими могли специалисты на местах.

На основании исследований почв, большого количества полевых опытов с известкованием, а также обобщения данных учреждений, лаборатория известкования установила, что существует тесная корреляционная связь между величиной pH_{kcl} и эффективностью известкования (Н.И. Алямовский).

Лабораторией известкования разработан колориметрический метод определения кислотности торфяных и заболоченных почв, основанный на том, что к торфяной или заболоченной почве прибавляется $BaSO_4$. Получается прозрачная и бесцветная вытяжка, определение pH которой возможно колориметрическим методом.

Разработан комбинированный индикатор, дающий отчетливые переходы к окраске при изменении реакции, и невыцветающая стандартная шкала, эталонами которой служат запаянные пробирки с окрашенными растворами минеральных солей. На основе комбинированного индикатора и невыцветающей шкалы сконструирован прибор для определения кислотности почвы.

Лабораторией разработаны методы определения кальция и магния в известковых удобрениях (Н.И. Алямовский, В.А. Воробьева) и растительных образцах (Ф.И.Семенова).

На основании обширных исследований и обобщения экспериментальных данных по миграции кальция и магния из почвы и их содержания в сельскохозяйственных растениях разработан метод расчета баланса кальция (точнее оснований), а также магния в почве (И.А. Шильников). В дальнейшем бала разработана методика прогнозирования кислотности почв (И.А. Шильников, Н.И. Аканова, В.Н. Баринов) на отдаленную перспективу для почвенных массивов различной величины (севооборот, район, область, регион), позволившая научно предвидеть катастрофические последствия прекращения известкования почв в стране. Ее результативность можно проиллюстрировать на примере Владимирской области (табл.20).

Таблица 20

Прогнозирование кислотности почвы (изменение pH) Владимирской области

Групп. почв по степени кислотн.	исходная		через 6 лет		через 7лет		через 8 лет		через 9 лет		через 10 лет	
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
5,6-6,0	244,6	60	97,8	24	73,4	18	48,9	12	24,5	6	-	-
5,1-5,5	117,1	29	221,7	54	239,1	59	256,6	63	274,0	67	291,4	72
4,6-5,0	35,7	9	71,4	18	77,4	19	83,3	20,5	89,3	22	95,3	23
4,5 и менее	10,8	2	16,4	4	17,5	4	18,6	4,5	19,6	5	20,7	5
всего	407,4		407,4		407,4		407,4		407,4		407,4	
в т.ч. pH 5,5 и менее	162,7	29	309,5	78	334,0	82	358,5	88	383,0	94	407,4	100

Произведены многолетние исследования известьсодержащих отходов промышленности и разработаны методы их агроэкологической оценки (Н.И. Алямовский, К.И. Сонина).

Разработаны методические подходы к определению потребности в известковании оподзоленных и выщелоченных черноземов и методы расчета доз известковых удобрений (Н.П. Богомазов, А.В. Ивойлов, Л.Н. Вислобокова).

Место и сроки внесения известковых удобрений

Обобщение результатов полевых опытов СССР, проведенные О.К. Кедровым-Зихманом, С.С. Ярусовым, Н.И. Алямовским показало, что в полевых севооборотах с многолетними травами при подсеве трав под яровые, известь сильнее повышает урожай трав при внесении ее в пару, чем непосредственно под покровные яровые (табл. 21).

Таблица 21

Эффективность известкования на клевере с тимофеевкой в пару и под покровную культуру

Фон удобрения	Год пользования травами	Урожай сена без извести	Прибавка урожая сена от известкования, ц/га	
			в пару	под яровые с подсевом трав
Навоз + NPK	1	19,5	13,7	5,0
	2	56,0	31,5	7,4
Навоз	1 и 2	48,4	36,8	29,7
PK	1 и 2	47,2	40,3	31,9

Это место является наилучшим в полевом обороте. Однако с целью быстрейшего повышения урожая многолетних трав и, в первую очередь, клеверов, следует использовать и другие места для проведения известкования, так как последействие повышения урожая трав вследствие известкования позволяет увеличить урожай последующей культуры на – 15-20 ц/га зерновых единиц.

Быстрый рост применения известковых удобрений в СССР привел к практической необходимости расширения сроков внесения извести на поля. В зимний период 1975-1985 годов на поля вносили 25-30% всех известковых удобрений. Обобщенные результаты полевых опытов показали, что зимнее и весеннее внесение известковой муки на поля равноценно по эффективности (табл. 22).

Таблица 22

Средние ежегодные урожаи при зимнем и весеннем сроке внесения извести (14 полевых опытов)

Урожай сельскохозяйственных культур	Без извести	Известь внесена	
		зимой	весной
Кормовые единицы ц/га	39,3	50,8	50,5
Относительные числа	100	128	128

В тоже время было установлено, что при зимнем внесении наиболее вероятны потери известковых удобрений вследствие переноса с поверхности снегового покрова ветром при его скорости более 5-6 м/сек. Заделывание извести в снеговой покров практически полностью предотвращало это негативное явление (табл.23). Были выявлены факторы, влияющие на потери известкового удобрения при зимнем известковании, и разработаны приемы их предотвращения (И.А.Шильников).

Таблица 23

Количество извести, оставшейся на площадях (%), через 24 часа (t - 24, скорость ветра 5,6-6,4 м/сек.) в зависимости от способа внесения и гранулометрического состава

Способ внесения известняковой муки						
На поверхн. снежного покрова	В борозды глубиной			Перемешив. с верхн. слоем снега 0-2 см		
	0-3 см	0-5 см	0-7 см			
19	94	98	99	93		
Фракции молотого известняка						
10-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25
98	77	74	35	20	11	10

Известкование оподзоленных и выщелоченных черноземов

Исследование этого слабоизученного и противоречивого вопроса проводили аспиранты и докторанты лаборатории А.А. Андрианов, Н.П. Богомазов, Ф.Г. Бурганов, Л.Н.Вислобокова, А.В. Ивойлов в длительных полевых опытах с широким набором доз известковых и минеральных удобрений. Результаты исследований А.В. Ивойлова в целом выявили достоверное положительное влияние извести на урожай (табл.24) и особенно при выращивании очень отзывчивой на этот прием культуры (табл.25).

Таблица 24

Влияние удобрений и известкования на продуктивность полевого севооборота (среднее за 9 лет, ц/га корм.ед.)

№ п/п	Варианты опыта	Урожай	Прибавка урожая	
			От NPK	От извести
1	Без удобрений и извести	26,6	-	-
2	$N_{530}P_{390}K_{370}$ за 9 лет – Фон1	37,9	11,3	-
3	Фон1 + $CaCO_3$ по 0,5 г.к	39,5	-	1,6
4	Фон1 + $CaCO_3$ по 1,0 г.к	39,7	-	1,8
5	Фон1 + $CaCO_3$ по 1,5 г.к	40,5	-	2,6
6	$N_{990}P_{1170}K_{800}$ за 9 лет – Фон 2	43,2	11,6	-
7	Фон 2 + $CaCO_3$ по 0,5 г.к	46,2	-	3,0
8	Фон 2 + $CaCO_3$ по 1,0 г.к	44,4	-	1,2
9	Фон 2 + $CaCO_3$ по 1,5 г.к	45,5	-	2,3

Таблица 25.

Влияние известкования выщелоченного чернозема на урожай люцерны синегибридной (сено, ц/га)

№ п/п	Варианты опыта	Урожай за 3 года	Прибавка урожая	
			От извести	От удобрений
1	Контроль	179	-	-
2	$CaCO_3$ по 1,0 г.к	189	10	-
3	$P_{60}K_{60}$ - фон	179	-	0
4	Фон + $CaCO_3$ по 0,5 г.к	194	15	-
5	Фон + $CaCO_3$ по 1,0 г.к	199	20	-
6	Фон + $CaCO_3$ по 1,5 г.к	202	23	-
7	Фон + $CaCO_3$ по 2,0 г.к	200	21	-
8	Фон + $CaCO_3$ по 1,0 г.к + N_{60}	200	-	0

Эффективность известкования выщелоченного чернозема в полевом севообороте была в 5-10 раз слабее минеральных удобрений. В выводном клину при выращивании люцерны получен противоположный результат: эффективность минеральных удобрений не проявлялась, а известкование в сумме за 3 года повысило урожай сена люцерны на 15-23 ц/га (табл. 25).

Ф.Г. Бурганов в Татарстане изучил эффективность известкования слабовыщелоченного чернозема в двухфакторном полевом опыте в звене севооборота: чистый пар, озимая рожь, яровая пшеница, горох. Зависимость урожая сельскохозяйственных культур от доз извести и минеральных удобрений описывалось следующим уравнением регрессии:

Озимая рожь, зерно (ц/га)

$У = 21,4 + 5,73 \cdot Ca - 2,83Ca^2 + 1,66NPK + 0,24(NPK)^2 + 1,87Ca \cdot NPK;\ R = 0,98$

Яровая пшеница, (зерно, ц/га)

$У = 18,7 + 6,22 \cdot Ca - 3,54Ca^2 + 18,55NPK - 9,24(NPK)^2 + 2,24\ Ca \cdot NPK;\ R = 0.99$

Горох, сено (ц/га)

$У = 15,0 + 10,31 \cdot Ca - 2,20Ca^2 + 8,45NPK + 0,98(NPK)^2 - 1,54\ Ca \cdot NPK;\ R = 0.98$

Где: Са – доза извести по г.к.

NPK – доза минеральных удобрений: фон I - 0,9, фон II - 1,5

Из приведенных уравнений следует, что известкование выщелоченного чернозема повышает урожай и увеличивает эффективность минеральных удобрений в 1,2 – 1,4 раза. В целом известкование слабокислого чернозема в сочетании с удобрением повысило продуктивность звена севооборота в 1,6 раза. Доля урожая за счет естественного плодородия составила 62,5%, за счет удобрений – 22,1%. За счет известкования – 15,4%.

Результаты опыта позволили установить оптимальные параметры физико-химических свойств чернозема: pH 5,8 – 6,0; Нг 2,0 – 2,5 мг-экв. на 100 га почвы; V 93-94%.

Близкие к данным А.В. Ивойлова и Ф.Г. Бурганова результаты получены Л.Н. Вислобоковой и Г.Е. Гришиным. Так, продуктивность полевого севообо-

рота на выщелоченном черноземе в зависимости от доз доломитовой муки и минеральных удобрений описана следующим уравнением регрессии:

$У = 64,54 + 2,43x_1 + 4,23x_2 + 1,41x_1x_2$; $R = 0,90$, где:

У – продуктивность севооборота, т/га
x_1 - дозы доломитовой муки; доли г.к.;
x_2 - уровни доз минеральных удобрений.

Приведенное уравнение свидетельствует об устойчивом положительном действии известкования на урожай сельскохозяйственных культур, как отдельно, так и в сочетании с удобрениями. Результаты этого опыта также выявили положительное влияние известкования на качество зерна озимой пшеницы (табл. 26).

Таблица 26

Влияние удобрений и доломитовой муки на содержание клейковины в зерне озимой пшеницы

Дозы NPK	Дозы доломитовой муки, доли г.к.					
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	Клейковина %					
$N_0P_0K_0$	23,1	23,0	24,1	24,7	24,6	24,9
$N_{50}P_{40}K_{40}$	23,8	23,8	24,0	23,3	25,0	25,6
$N_{100}P_{80}K_{80}$	24,9	25,0	25,2	25,4	25,8	26,2
$N_{150}P_{120}K_{120}$	25,7	25,9	26,0	26,2	26,4	27,0

В целом наши экспериментальные данные свидетельствуют о положительном влияние известкования на продуктивность полевых севооборотов в зоне оподзоленных и выщелоченных черноземов, кроме Белгородской области, которая является южной границей их распространения. Все проведенные исследования выявили быстро прогрессирующее подкисление среды ненасыщенных основаниями черноземов, несмотря на их достаточно высокие буферные свойства.

Эксперименты с растениями

В исследованиях с растениями лаборатория широко использовала вегетационный, лизиметрический и полевой методы. Вегетационный метод в различных модификациях (Вагнера, Митчерлиха, изолированного питания, почвен-

ные и водные культуры) широко использовался в лаборатории в течение 40 лет до тех пор, пока был вегетационный домик.

Ежегодно были задействованы 250-350 вегетационных сосудов. В последние 25 лет проводились исследования с использованием микрополевого метода в сосудах без дна.

Начиная с 1970 года и по 2003 год, лаборатория проводила исследования на лизиметрической установке, содержащей 88 лизиметров. В лаборатории разработана оригинальная конструкция лизиметрической установки, которая была построена и длительное время успешно функционировала на Калужской опытной сельскохозяйственной станции (И.А. Шильников, В.А. Богомолов).

Наибольшее внимание все же в лаборатории уделялось длительным стационарным полевым опытам, программы, проведения которых разрабатывала лаборатория. Первый длительный полевой опыт был заложен на ЦОС ВИУА в Барыбино Московской области в 1940 году и функционировал более 50 лет. В дальнейшем в проведении длительных опытов принимали активное участие сотрудники опытных станций ВИУА В.Д. Скворцов, Н.Н. Михалёв, Л.П. Удалова, Н.А. Кирпичников, Н.П. Богомазов и многие другие.

В СССР проводилось большое количество длительных полевых опытов по проблемам известкования почв, измеряемое сотнями. Их результаты многократно обобщались и являлись научной базой современной теорией известкования почв и технологией осуществления этого важнейшего мероприятия. Следует особенно подчеркнуть, что именно большое количество длительных полевых опытов позволило разработать наиболее научно обоснованные методы и приёмы известкования с точки зрения его агрономической эффективности, энерго- и ресурсосбережения и экологичности, а также избежать ошибок при прогнозировании состояния кислотности почв в стране на ближайшую и отдаленную перспективу. Без результатов длительных полевых опытов в частности невозможно разработать потребность и ассортимент известковых удобрений, требования к их качеству и динамику изменения кислотности почв в производственных условиях.

Применение Ca^{45} при изучении вопросов известкования почвы

Эти исследования под руководством О.К. Кедрова-Зихмана проводили Ф.И. Семенова и А.Н. Кожевникова с целью выявления роли кальция как питательного элемента и выявления действия излучения радиоактивного изотопа кальция (Ca^{45}) на сельскохозяйственные растения. Было установлено, что положительное действие известкования кислых почв на урожай сельскохозяйственных растений в основном обусловлено понижением избыточной, вредной для растений, почвенной кислотности, особенно при высоком содержании подвижного алюминия, до слабокислой реакции. Кроме влияния на реакцию среды, известкование оказывает положительное влияние на химический состав растений, особенно на соотношение кальция и магния. Содержание в известковом удобрении Са, как питательного элемента, так же играет определенную, нередко значительную роль, в положительном действии известкования.

Таблица 27

Действие Ca^{45} на урожай и активность органов красного клевера

Варианты опыта	Урожай клевера			
	Сено		Солома	
	г/делянка	%	г/делянка	%
Контроль	85,46	100	27,5	100
Известь	136,10	159	40,6	148
Известь + Ca^{45}	173,25	203	52,6	192

Наименование органов	Активность 100 мг сухого вещества (в тыс. имп./мин)
Листья	1,03
Черенки	0,95
Стебли	0,45
Головки	0,07

Содержание кальция и магния в различных растениях и в их отдельных органах может колебаться в широких пределах в зависимости от содержания подвижных соединений этих элементов в питательной среде. У большинства растений процентное содержание кальция больше всего в листьях и меньше всего в семенах. Было установлено, что при правильно выбранной дозе β-излучения радиоизотопа кальция (Ca^{45}), он может оказывать положительное действие на растения (красный клевер, ячмень, белую горчицу, лен, столовую свеклу) (табл. 27).

Исследование эффективности известьсодержащих отходов промышленности

Н.И. Алямовский посвятил исследованию многочисленных форм известковых удобрений и в частности известьсодеожащих отходов промышленности большую часть своей научной деятельности. Им была подготовлена крупная монография по этой проблеме, которая, к сожалению уже после его кончины вышла в сокращенном виде «Известковые удобрения в СССР», М., 1966 год.

До сих пор изложенные в ней материалы не потеряли актуальности и используются при разработке требований к качеству известковых удобрений.

Наряду с исследованиями агрономической эффективности известьсодержащих отходов промышленности Н.И. Алямовский разработал несколько методов (в том числе упрощенных) для проведения химического анализа известковых удобрений.

Подготовка кадров высшей квалификации

Лаборатория известкования почв со средней численностью 11-13 человек (с ученой степенью 3-4 человека, включая руководителя) за 70 лет подготовили 66 докторов и кандидатов наук. Хотя основной целью лаборатории, как ее очень верно сформулировал О.К. Кедров-Зихман, была разработка приёмов повышения эффективности известкования, большое внимание уделялось работе с аспирантами и докторантами. Успешному выполнению этой работы способствовал высокий уровень научной эрудиции ее сотрудников и тесная связь программы исследования с актуальными проблемами практического земледелия. Способствовал этому также высокий уровень профессионализма лаборантского состава. Не случайно лаборатория выполнила большое количество методических разработок, вошедших в программу, как исследовательских лабораторий, так и агрохимслужбы. В коллективе лаборатории с самого начала ее существования царил дух коллективизма, товарищества, взаимопомощи и взаимной поддержки, что также способствовало росту кадров. Среди сотрудников лаборато-

рии наибольший вклад в подготовку кадров высшей квалификации внесли: О.К. Кедров-Зихман, И.А. Шильников, С.Г. Шедеров, С.С. Ярусов, Н.И. Аканова.

За период деятельности лаборатория разработала современную теорию и практические приемы известкования почв. Установлена высокая агрономическая, энерго-, ресурсосберегающая и природоохранная эффективность коренной химической мелиорации почв с избыточной кислотностью.

ГЛАВА 3

ПОТЕРИ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ ИЗ ПАХОТНЫХ ПОЧВ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НИХ

В условиях сельскохозяйственного производства пахотный и корнеобитаемый слой почвы обедняется основаниями в результате их выноса с отчуждаемой растительной продукцией и миграции с инфильтрационными атмосферными осадками.

В условиях гумидного климата главный источник потерь кальция из пахотных почв – миграция его при промывании почвы атмосферными осадками.

Несмотря на то, что использование лизиметрического метода имеет в России почти вековую давность, изучение вымывания кальция и магния из пахотных почв в нашей стране началось лишь 25-30 лет назад. Отечественные экспериментальные материалы с использованием лизиметрических установок для исследования процессов миграции оснований с фильтрующимися водами малочисленны и проведены в основном почвоведами в естественных условиях (под пологом леса, в заповедных местах с травянистой растительностью) с целью изучения процессов почвообразования.

Интерес к проблеме исследования миграции возник в стране в семидесятые годы, когда после соответствующих постановлений партии и правительства, было увеличено производство минеральных удобрений, и резко возросли темпы известкования. Однако результативность этого приёма оказалась ниже

ожидаемой: площади кислых почв сокращались очень медленно, а в некоторых районах обнаружилось даже увеличение площадей почв, нуждающихся в известковании. Это и послужило толчком к изучению баланса кальция, а также магния в пахотном слое почвы. Лизиметрический метод помог расшифровать несоответствие количества вносимой в почву извести и ожидаемого эффекта в нейтрализации почвенной кислотности. Исследование расходных статей кальция в пахотном слое почвы позволяет составить ориентировочный баланс этого элемента и с его учетом определить оптимальную периодичность известкования и потребность в известковых удобрениях.

Кроме большого практического значения, исследование потерь кальция и магния из пахотных почв важно и в теоретическом отношении, так как позволяет объяснить истинную причину подкисления почвенной среды в условиях применения минеральных удобрений, особенно физиологически кислых, например, аммонийных форм азотных удобрений, которые, как считалось, вызывают подкисление за счет их физиологической кислотности и процесса нитрификации в почве.

За рубежом исследование миграции кальция и магния из пахотных почв началось значительно раньше и носило практический характер, чем у нас в стране. Особенно высокого развития этот вопрос получил в странах Западной Европы (ФРГ, Англии, Франции) и в США, где выпадает большое количество атмосферных осадеов и отмечены наиболее высокие потери кальция и магния с фильтрующимися водами, достигающие нескольких сотен килограммов с 1 га в год (табл.28).

В связи с этим за рубежом для оценки масштаба непроизводительных затрат известковых материалов рассчитывают потери кальция из почв сельскохозяйственных угодий в целом для страны. Например, по данным Гессера (Gasser J, 1974), в Англии и Уэльсе вследствие вымывания из почвы ежегодно теряется около 2 млн т $CaCO_3$.

Приведенные в таблицах 29-30 данные лизиметрических опытов, проводимых в нашей стране, свидетельствуют о резком колебании величин вымываемых из почвы кальция и магния. В опытах Бобрицкой М.А. (1966) потери кальция

Таблица 28

Потери кальция и магния из пахотных почв, по данным зарубежных лизиметрических исследований, кг/га

Автор	Страна, год	Потери	
		кальция	магния
Pfaff C.	ФРГ, 1963	150-240	25
Kőhnlein J.	ФРГ, 1966	190-850	
Kőhnlein J., Weichbrodt H.	ФРГ, 1971	80-565	2-13
Vetter H.	ФРГ, 1969	60-600	
Amberger A., Schweiger P.	ФРГ, 1973	153-475	58-73
Yurgens-Yschwind's,Yung	ФРГ, 1979	486-757	9-18
Henze P.	ФРГ, 1982	250-350	
Гарднер Г., Гарнер Г.	Англия, 1854	60-360	
Кук Д.У.	Англия, 1970	56-336	3-25
Gasser J.	Англия, 1974	84-673	5-30
Bolton J.	Англия, 1972	529-841	
Bolton J.	Англия, 1977	225-823	
Coppenet M.	Франция,1969	230-310	23
Wiklander L., Hollgren Y.	Швеция, 1971	45-257	
Wiklander L.	Швеция, 1977	24-257	1-10-34
Reiff M.	Австрия, 1971	214-357	
Bergmann W.	ГДР, 1963	200-360	
Vomel A.	ГДР, 1970	255	34
Barszczak J., Barszczak L.	ПНР, 1976	180	
Ruszkowska M.	ПНР, 1979	162-489	19-53
Solarski M., Solarska J., Mirowski L.	ПНР, 1980	38-264	
Ruszkowska M., Warcholowa M.	ПНР, 1984	75-268	9-120
Ririe D.	США, 1952	60-480	28-49
Эндрюс У.	США, 1959	112-560	
Hortenstine C.	США, 1964	106-264	
Hogg D.	Нов Зеландия,1981		40
Пустаи А.	Венгрия, 1989	360	
Шилар И.	Чехия, 1989	137	
Ruszkowska M.	Польша, 1989		
	Пар	228-68	15-120
	Полевые культуры		
	$N_1P_1K_1$	116-122	9-52
	$N_2P_2K_2$	139-164	13-56
	$N_3P_3K_3$	120-165	10-68

составили 100-232 кг с 1 га в год. Исследования, проведенные Доспеховым Б.А., Шаймухаметовой А.А., Базилинской М.В., Афанасьевой В.К. (1972) также в условиях Московской области с применением метода лизиметрических хро-

матографических колонок, выявили незначительное количество вымываемого из почвы кальция (10-14 кг/га). В опытах Раменской агрохимической опытной станции НИУИФ (Прокошев В.В., Вьюгина Т.А., 1975) с лизиметрическими водами отчуждалось более 300 кг кальция с 1 га в год. Эти данные свидетельствуют о сильном варьировании результатов исследований даже в условиях одной области. Одна из главных причин – различие методов проведения лизиметрических исследований, что затрудняет и, по существу, делает невозможным обобщение результатов отечественных и зарубежных исследований. Многие авторы использовали метод хроматографических колонок, предложенный Кауричевым И.С. и Ноздруковой Е.М. (1960) и метод лизиметрических воронок, разработанный Шиловой Е.И. (1955), которые пригодны только для изучения состава лизиметрических вод, но теряют реальное значение при пересчете этих величин на единицу площади. Однако авторы использовали эти методы для определения размера потерь элементов с фильтрующимися водами с единицы площади. Даже на вопрос о влиянии глубины лизиметра на размеры вымывания кальция и магния из почвы в литературе не дано однозначного ответа. Голубев Б.А. (1967) утверждал, что для насыпных лизиметров количество собранных фильтратов растет с глубиной лизиметра. Это означает, что из глубоких лизиметров должно было бы вымываться больше элементов, чем из мелких. Так как между потерями и объемом стока установлена тесная положительная корреляционная связь, например, для кальция R = 0,61 - 0,96 (Мельникова М.Н., 1961; Волокитина А.А., и др. 1984).

Однако ряд проведенных в нашей стране исследований указывает на то, что кальций и магний вымываются в основном из пахотного слоя почвы. В лизиметрическом опыте Свердловского СХИ (Иванов Н.А. и др., 1982) из верхнего слоя лесной тяжелосуглинистой почвы в насыпных лизиметрах вымывалось кальция и магния значительно больше, чем из слоя больше одного метра и особенно, когда почва свободна от растений (табл.30).

Таблица 29

Вымывание кальция из пахотных почв Нечерноземной зоны по данным лизиметрических опытов

Годы	Почвы и место проведения опытов	Растительный покров	Вымыто Ca, кг/га		Вымыто Mg, кг/га		Авторы
			Почва				
			Суглинистая	Супесчаная	Суглинистая	Супесчаная	
1	2	3	4	5	6	7	8
1966	Дерново-подзолистые, Ленинградская область	Полевые культуры	8-16	-	6-7	-	Крейер К.Г., Банкина Т.А., 1972
1968-1969	Дерново-подзолистая, Псковская область	Зерновые, картофель	-	95-142	-	33-48	Коротков А.А., Ипполитова Л.Ф., 1972
1969-1971	Дерново-карбонатная, дерново-глеевая, Эстония	Полевые культуры	162-272	-		7-16	Турбас Э.М., и др. 1973
1969-1971	Дерново-среднеподзолистая, Эстония	Полевые культуры		86-221	16	-	Турбас Э.М., и др. 1973
1969	Дерново-подзолистые, Эстония	Пастбищные травы, поливные	21-129	-	-	-	Рейнтам Л., Саармяи Т., 1973
1964-1966	Дерново-подзолистая, Московская область	Полевые культуры	100	232	30	53	Москаленко Н.А., Бобрицкая М.А., 1973
1967-1970	Дерново-подзолистая среднесуглинистая, Белоруссия	Без удобрений, $N_{170}P_{170}K_{170}$ $N_{340}P_{340}K_{340}$	71 180 346	146 334 726	7 19 40	25 59 86	Кулаковская Т.Н., Детковская Л.П., 1972

Продолжение таблицы №29

1	2	3	4	5	6	7	8
1973-1974	Дерново-подзолистые, Украина	Картофель, ячмень, клевер, без удобрений, 2 NPK + навоз +$CaCO_3$	- -	59 129	- -	22 23	Мазур Г.А., Симачинский В.В., 1976
1968-1971	Дерново-подзолистая суглинистая, Белоруссия	Чистый пар, без удобрений $N_{170}P_{170}K_{170}$	26 66	37 83	7 8	10 15	Юшкевич И.А., 1972
1961-1965	Дерново-подзолистые, Литва	Пар, озимая рожь, картофель, пар	87	173	26	43	Блажене С., Мекленбургас А., 1971
1969-1972	Дерново-подзолистая глееватая, Литва	Пар, вико-овсяная смесь, ячмень, многолетние травы, без извести по извести	- -	48-230 59-380			Эжеринкас В.П., 1975
1970-1972	Дерново-подзолистая глееватая, Литва	Ячмень, травы	-	90-260			Эжеринкас В.П., 1975
1973	Дерново-подзолистая суглинистая	пар под растениями	- -	219-317 114-336			Прокошев В.В., Вьюгина Т.А., 1976
1968-1971	Дерново-подзолистая	Озимая рожь, ячмень	-	10-44			Доспехов Б.А., Шаймухаметова А.А., Базилинская М.В., Афанасьева В.К., 1972

Продолжение таблицы №29

1	2	3	4	5	6	7	8
1977-1980	Дерново-среднеподзолистая, супесчаная, Украина	Лен, картофель, ячмень Без удобрений 10 т навоз + $N_{100}P_{160}K_{160}$	 - -	 120 224	 - -		Зубенко В.Ф., Майстер А.А., 1983
1976-1981	Дерново-подзолистые, Ленинградская область	Зерновые, клевер $N_{120}P_{120}K_{120}$	 165 184	 383 580			Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Яковлева Л.В., 1983
1977-1981	Дерново-подзолистая, Ленинградская область	Яровые зерновые Без удобрений NPK	 - -	 27-189 150-457	 - -		Яковлева Л.В., 1984
1975-1982	Дерново-подзолистая, суглинистая, Ленинград-Пушкин	Полевые культуры Без удобрений $N_{150}P_{150}K_{150}$+ навоз 30 т/га $N_{30}P_{30}K_{30}$+ навоз 60 т/га	 53 73 101	 - - -	 18,7 23 28		Чернов Д.В., 1985
1976-1981	Дерново-подзолистая суглинистая, Кировская область	Полевой севооборот	88-113		28-42	-	Южанина Е.Н., 1986

Окончание таблицы №29

1	2	3	4	5	6	7	8
1981-1989	Дерново-подзолистая, Кировская обл.	Картофель, рожь, ячмень, клевер полевой севооборот без удобрений NPK Ca + NPK	83 21 29 12 158 130 149		14,1 5,0 5,3 2,3 69 46 56		Юлушев И.Г., Вахрушев С.А., Матин В.В., Сафронов Е.А., 1998
1993-1996	Дерново-подзолистые, серые лесные, оподзоленный чернозем, Татарстан	Полевой севооборот, NPK	33-144		8-25		Бреус И.П., Игнатьев Ю.А., 1998
1985-1995	Дерново-подзолистая, Московская область, ВИК	Пастбищные травы	120-240	230			Семенов Н.А., Ященко Н.А., 1998
1990-1996	Дерново-подзолистая, Московская область, ВНИПТИХИМ	Полевой севооборот, Без удобрений $N_{110}P_{115}K_{150}$	 40 47		 8 13		Смирнов А.П., Филиппов А.Л., Постников А.В., 1998
	Подзолистая окультуренная, Кольский полуостров $N_{120}P_{80}K_{80}$	Пар, Овес кострец	168 37 73	81 29 45			Переверзев В.Н., 1998
1972-1995	Дерново-подзолистая, Эстония	Полевой севооборот, навоз ежегодно ~ 300 кг/га N	52.6-395	15.8-112.7			Шлейнис Р.И., Рилишаялис Ю.В., Тила А.А., 1995
	Дерново-подзолистые	Полевой севооборот	55	21	38	9	

Таблица 30

Вымывание Ca и Mg с фильтрующимися водами из разных слоев серой лесной почвы, кг/га год (в среднем за 1978-1979 гг.)

Элементы	Слой 0-30 см		Слой 0-115 см	
	без удобрений	NPK_{75-90}	без удобрений	NPK_{75-90}
Ca за год	194,8	238,1	171,6	206,0
в том числе в не вегетационный период	151,0	168,6	31,7	79,7
Mg за год	50,3	65,2	27,9	39,4

Вынос кальция и магния за пределы 1 метра в период вегетации происходил, вероятно, из слоя 50-100 см, где биологическое поглощение слабее, так как основная масса корней сосредоточена в верхних слоях почвы.

В опыте БелНИИПА (Юшкевич И.А., 1986) также с насыпными лизиметрами потери Ca и Mg на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве уменьшались с увеличением глубины слоя почвы (табл.31).

Таблица 31

Потери Ca и Mg с лизиметрическими водами, кг/га в год (среднее за 1976-1980)

Глубина лизиметра, см	Количество раствора, мм	Ca	Mg
0-30	653	139,4	26,3
0-50	507	89,6	16,0
0-80	179	77,9	11,2

И в отечественных, и в зарубежных исследованиях очень слабо изучен вопрос о подъеме вымытого кальция с восходящими по капиллярам токам воды. Имеются лишь результаты опытов Украинского НИИ земледелия с применением лизиметрических хроматографических колонок, в которых с восходящими токами воды в пахотный слой возвращалось 14,3-35,1% кальция и 22,1-34,4% магния от вымытого (Симачинский В.Н., 1976).

Изучая потери питательных веществ почвы и удобрений на мелиорируемых сенокосах и пастбищах, в институте кормов получили данные, которые свидетельствуют о том, что в результате капиллярного поднятия воды на пойменном пастбище может поступать обратно в активную зону 160-200 кг/га Ca и 47-90 кг/га Mg (табл.32).

Таблица 32

Возврат элементов питания под злаковым травостоем с глубины 150 см, в среднем за два годовых цикла

Почва, элементы	в кг/га		к % к вымытому количеству	
	при орошении	без орошения	при орошении	без орошения
Пойменно-луговая среднесуглинистая				
Ca	160,0	199,9	52,1	104,2
Mg	47,1	91,6	25,3	54,2
Дерново-подзолистая среднесуглинистая				
Ca	5,5	6,7	5,2	7,5
Mg	2,6	2,7	4,7	7,1

Потери кальция на пойменных травостоях компенсируются на 104%, в то время как на дерново-подзолистых почвах – лишь на 5-7 % (Коротков Б.И., Дизенгоф Е.Г., 1985). Этим объясняется стабильность реакции пойменных почв в нейтральном и слабокислом интервалах, в то время как на дерново-подзолистых почвах устанавливается промывной режим увлажнения, доминирование нисходящих токов приводит к обеднению кальцием и подкислению пахотного горизонта.

3.1. ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВЫ, РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И КОЛИЧЕСТВА ВЫПАДАЮЩИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ВЫМЫВАНИЕ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ ИЗ ПОЧВЫ

В нашей стране и за рубежом проведено значительное количество исследований, в которых изучены основные факторы, влияющие на потери кальция и магния из почвы с фильтрующимися атмосферными осадками. Среди них большое значение имеют биологические факторы: степень насыщенности поглощающего комплекса почвы кальцием и магнием и наличие свободных карбонатов, механический состав почвы и гидрологические факторы: количество атмосферных осадков, температура воздуха и почвы.

Степень окультуренности почвы и насыщенности её основаниями – один из главных факторов, определяющих размеры потерь из почв различных ге-

нетических типов. Например, концентрация кальция в воде дренажного стока на торфянике (Ленинградская область) была 101,9 мг/л, магния 59, 6 мг/л (Шумилова Е.А., 1985).

В лизиметрическом опыте И. Кенляйна из пахотного слоя произвесткованной почвы с высокой насыщенностью основаниями потери кальция были в 4 раза выше, чем из почвы с низкой насыщенностью основаниями (Köhnlein J., Weichbrodt H., 1971).

Амбергер А. и Швайгер П. исследовали потери кальция и магния из почв различного механического состава с различным содержанием карбонатов. По их данным, наибольшие потери кальция отмечены из карбонатного суглинка, содержащего 16% свободного $CaCO_3$. Из песчаной почвы кальция вымывалось больше, чем из суглинистой, несмотря на то, что его концентрация в воде была ниже: на супесчаной почве 80 мг/л Са, а на суглинистой 100 мг/л. В данном опыте это объясняется большим коэффициентом фильтрации у песчаных почв (табл.33).

Таблица 33

Потери кальция и магния из почв различного механического состава (среднее за 6 лет)

Показатели	Песчаная	Карбонатный суглинок	Суглинистая
Вымывание Са, кг/га в год в том числе (в %):	374	431	325
за апрель – сентябрь	49	27	27
октябрь – март	51	78	73
Вымывание Mg, кг/га в том числе (в %):	64	58	73
за апрель – сентябрь	50	25	26
октябрь – март	50	75	74

Результаты лизиметрических исследований показали, что на песчаной почве нет разницы в количестве вымывшегося Са по сезонам, а на суглинистых почвах ¾ этого элемента терялось с октября по март (Amberger A., Schweiger P., 1973).

В отличие от приведенных данных, результаты длительного лизиметрического опыта, проведенного также в ФРГ (Kohnlein, Oehring, Spielhaus, 1966) с различными по механическому составу почвами, показали, что потери кальция из глинистой почвы значительно превосходили потери этого элемента из су-

песчаной. Следовательно, влияние механического состава почвы на потери из нее кальция не однозначны. Концентрация кальция и магния в фильтратах из суглинистой почвы, более насыщенной этими элементами, как правило, бывает выше, однако величина фильтрации, которая превосходит таковую на супесчаной почве, в большей мере влияет на размеры потерь питательных веществ, чем концентрация их в растворе (Прокошев В.В., Вьюгина Т.А., 1979; Шафран С.А., Ваганов Н.А., 1979).

Экспериментальные данные Бобрицкой М.А. (1966); Блажене С, Мекленбургас А. (1971); Кулаковской Т.Н и Детковской Л.П.(1972); Юшкевича И.А. (1972); Небольсина А.Н. (1983) свидетельствуют о большей потери кальция и магния почвами легкого механического состава, несмотря на то, что они содержат оснований меньше, чем суглинки.

Исследованиями установлено сильное влияние растительного покрова на потери кальция и магния с фильтрующимися водами. Растения способствуют уменьшению фильтрации атмосферных осадков и, следовательно, снижению потерь кальция.

В модельном (вегетационном) опыте, проведенном в лаборатории известкования почв ВИУА, получены следующие данные по вымыванию кальция (в мг на сосуд) (Белоконь В.Д., 1970):

вариант	с растениями	без растений
без удобрений	219	332
NPK	617	1028

На лизиметрической установке в Лимбургерхофе (ФРГ) средние за 3 года потери кальция на чистом пару составили 640-760 кг/га Са, а при выращивании овощных и полевых культур – 490-500 кг/га (Jurgens- Gschwind S., Jung J., 1979).

Наименьшие потери кальция и магния отмечены под многолетними травами, наибольшие – под пропашными (Эжеринкас В., 1975; Штиканс Ю., 1979). Чем более мощную корневую систему развивают растения, тем больше они потребляют воды, тем ниже инфильтрация и меньше потери. Прямая связь существует и между величиной потерь и количеством атмосферных осадков.

Зависимость потерь кальция с фильтрующимися водами от количества выпадающих осадков показана в работе Кенлайна и Вайхбродта (табл.34).

Таблица 34

Вымывание кальция из лизиметров с суглинистой и супесчаной почвами в зависимости от количества выпавших осадков

(Kőhnlein J., Weichbrodt H., 1971)

Количество осадков, мм	Потери Ca, кг/га	
	суглинистая почва	супесчаная почва
868	555	484
847	491	405
733	356	249
672	242	263
556	205	136

В лизиметрических исследованиях, проводимых за рубежом, количество выпадающих атмосферных осадков считается, чуть ли не самым главным фактором, влияющим на величину потерь элементов из почвы, что объясняется большим количеством осадков и резкими колебаниями их по годам.

В Лимбургерхофе за 50-летнюю работу лизиметрической установки в сухие годы вымывалось менее 145 кг/га кальция, во влажные – более 210, а в особенно неблагоприятные годы они доходили до 450-625 кг/га в год (Jurgens-Gschwind S., Jung J., 1979).

3.2.ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА ПОТЕРИ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ ИЗ ПОЧВЫ

Опубликованные за рубежом результаты лизиметрических опытов свидетельствуют о том, что при известковании, особенно с повышением дозы извести, увеличиваются потери кальция из почвы в результате вымывания. Гарднер Г. и Гарнер Г. (1954) приводят результаты исследований, которые показали, что увеличение дозы извести в четыре раза привело к возрастанию потерь кальция в шесть раз.

Особенно опасно внесение очень высоких доз извести, которое сопровождается резким увеличением потерь кальция вследствие вымывания, в первую

очередь на почвах легкого механического состава. Приведенные в таблице 35 данные подтверждают это положение (Bolton J., 1972).

Результаты опыта свидетельствуют о том, что при увеличении доз извести с 5 до 20 т/га потери $CaCO_3$ из суглинистой почвы возросли на 816 кг, а из супесчаной – на 1167 кг/га.

При внесении в почву высоких доз извести увеличивается содержание обменного и водо-растворимого кальция, и потери этого элемента увеличиваются главным образом вследствие возрастания концентрации кальция в лизиметрических водах, так как при известковании коэффициент фильтрации атмосферных осадков из почвы меняется мало. Например, по данным лизиметрического опыта Hortenstine C. (1964), рост интенсивности известкования приводит к увеличению содержания кальция в лизиметрических водах почти в 3 раза (с 266 до 704 мг/л).

Таблица 35

Потери кальция из почв различного механического состава, произвесткованных возрастающими дозами извести

Показатели	суглинистая			супесчаная		
Дозы извести, т $CaCO_3$ на 1 га	5	10	20	5	12	19
Ежегодные потери, кг $CaCO_3$ на 1 га	88	138	904	176	703	1343

Почвенный поглощающий комплекс способен удержать определенное количество катионов кальция и магния, соответствующее его емкости катионного обмена. При внесении излишка извести в почве остаются свободные карбонаты кальция, которые в первую очередь вымываются с фильтрующимися атмосферными осадками. Значение pH почвы отражает наличие свободных карбонатов и является показателем скорости передвижения катионов кальция.

Наличие свободного карбоната кальция увеличило потери его при внесении в легкосуглинистую почву с потребностью в извести 5 т/га $CaCO_3$ в опыте Уолкера на Ротамстедской опытной станции (Gasser J., 1974). Потери извести увеличивались с ростом ее доз и были особенно велики в первый период после известкования (табл.36).

Таблица 36

Потери карбоната кальция из легкосуглинистой почвы с потребностью в извести 5 т/га за 15 лет

Годы	Внесено $CaCO_3$, т/га					
	12,6		6,3		3,1	
	Ежегодные потери $CaCO_3$, кг/га и pH почвы					
	потери	pH	потери	pH	потери	pH
0 – 5	1000		630		380	
5 – 10	500	6,5-6,0	310	5,5-6,0	190	5,0-5,5
10 - 15	250	5,5-6,0	130	5,0-5,5	60	4,7-5,5
	Общие потери $CaCO_3$ за 15 лет, т/га					
	8,8		5,3		3,1	

С увеличением pH потери кальция и магния из почвы увеличиваются. На основании данных опыта, проведенного на Ротамстедской опытной станции Болтоном, Гессер вывел уравнение регрессии, выражающее зависимость потерь Са от pH почвы, рассчитанное при 91% вариаций. Уравнение имеет вид:

$$Ежегодные\ потери\ CaCO_3,\ кг/га = 1920\text{-}702\ pH + 74pH^2$$

Согласно этому уравнению ежегодные потери $CaCO_3$ из почв в опыте Болтона составили при внесении различных доз извести следующее количество $CaCO_3$, кг/га (Bolton J., 1977):

Внесено $CaCO_3$, т/га	Потеряно $CaCO_3$, кг/га в год	pH (H_2O)
	Суглинистая почва	
0	225±28,8	4, 8
5	368±61,5	5, 6
10	467±57,7	6, 4
20	823±124,6	7, 3
	Супесчаная почва	
0	307±19,0	5, 4
4,6	360±25,2	6, 2
10,9	563±66,1	7, 0
17,3	752±124,7	7, 4

Гессер пришел к выводу, что потери кальция и магния с увеличением pH почвы возрастают в геометрической прогрессии, удваиваясь с каждой единицей pH. На основании этого предположения он составил шкалу средних потерь $CaCO_3$ из почвы для интервала pH 5,0-8,0.

pH (H_2O)	Ориентировочные ежегодные потери $CaCO_3$, кг/га
5,0	118
5,5	168
6,0	235
6,5	336
7,0	471
7,5	672
8,0	942
	(Gasser J., 1974)

Влияние известкования на потери кальция и особенно магния из почвы в нашей стране практически не исследовано. Малочисленные экспериментальные данные по этому вопросу противоречивы. В лизиметрических опытах Райла А. (1969), Кулаковкой Т.Н. и Агеец В.Ю. (1976) потери кальция при известковании возрастали в 2-3 раза. В опыте Эжеринскаса В.П. (1975) ежегодные потери кальция в среднем за четыре года составили без извести 120 кг/га, при дозе извести 0,5 г.к. – 135 кг/га, 1,0 г.к. – 138 кг/га, 2 г.к. – 173 кг/га. Внесение извести в дозе, соответствующей гидролитической кислотности почвы, увеличило потери кальция лишь на 15-% по сравнению с неизвесткованной почвой.

В лизиметрическом опыте, проведенном в Ленинградской области на подзолистых почвах разного механического состава, изучали влияние pH почвы на потери кальция и магния из пахотного слоя. Для этого кислые почвы с исходным pH 3,82 и 4,47 доводили внесением извести до уровней pH 5,9 и pH 7, вносили одинаковые дозы минеральных удобрений. Результаты исследования представлены в таблице 37 (Небольсин А.Н. и др., 1983).

Приведенные данные подтверждают положение о том, что потери кальция увеличиваются от легких почв к тяжелым, с возрастанием доз извести, и, следовательно, с повышением pH почвы. Здесь же отчетливо проявилось действие доз минеральных удобрений на размеры потерь кальция.

Форма известкового удобрения и химические соединения кальция и магния могут оказывать сильное влияние на образование водорастворимого кальция в почве и его миграцию.

Таблица 37

Вымывание кальция из пахотного слоя подзолистых почв, кг/га в лизиметрическом опыте

Фон удобрений	pHkcl	Вымыто кальция в год
Песчаная почва		
$N_{60}P_{60}K_{60}$	4,1 – 4,2	48
	4,9 - 5,1	82
	5,8 - 5,9	78
$N_{120}P_{120}K_{120}$	4,1 – 4,2	58
	4,9 - 5,1	83
	5,8 - 5,9	127
Легкосуглинистая почва		
$N_{60}P_{60}K_{60}$	4,3 – 4,4	62
	5,1 – 5,2	117
	6,3 – 6,6	184
$N_{120}P_{120}K_{120}$	4,3 – 4,4	80
	5,1 – 5,2	153
	6,3 – 6,6	232

Для определения скорости передвижения катионов из шести различных известковых материалов и гипса проведен опыт на опытной сельскохозяйственной станции Нью-Джерси (США). Результаты исследований показали, что потери кальция при внесении окиси и гидроокиси были больше, чем при внесении карбонатов (табл.38).

Материалы этих исследований объясняют более быстрое затухание действия активных форм извести в полевых опытах. Следует особо отметить кальций гипса. Потери сернокислого кальция были в 7-8 раз выше, чем при внесении окиси кальция. Высокая подвижность сернокислого кальция обусловливает одну из главных ролей этого соединения в миграции кальция из пахотного слоя почвы и преобладании сульфата в анионном составе лизиметрических вод. Это положение было экспериментально подтверждено нашими исследованиями. При внесении гипса в 5 раз возрастали потери магния из суглинистой почвы, что также свидетельствует о большой роли сульфат-аниона в миграции оснований. Формы кальциевых соединений не оказали заметного влияния на вымывание магния из почвы, потери его несколько возрастали при внесении соединений, содержащих магний, особенно при внесении окиси магния в супесчаную почву.

Таблица 38

Потери кальция и магния из почвы при внесении различных форм извести и гипса (Ririe D., 1952), кг/га

Формы химических соединений кальция и магния	суглинистая		супесчаная	
	Ca	Mg	Ca	Mg
CaO	170	41	132	6
$CaCO_3$	155	36	113	6
$Ca(OH)_2$	174	43	143	6
$CaCO_3 \cdot MgCO_3$	160	40	69	17
$Ca(OH)_2$ +MgO	171	49	89	19
$CaSO_4 \cdot H_2O$	1360	213	778	5
MgO	154	37	36	64
Контроль	116	28	48	6

Многолетние лизиметрические исследования ВИУА (Сонина К.И., Мельникова М.Н.) показали, что при известковании потери кальция из почвы увеличивались на 7-12%.

3.3. ДЕЙСТВИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОТЕРИ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ ИЗ ПОЧВЫ

Лизиметрические исследования, зарубежные и отечественные, выявили сильное действие минеральных удобрений на потери кальция и магния из почвы.

Применение минеральных удобрений, особенно в высоких дозах, резко усиливает процесс выщелачивания оснований из пахотных почв. Внесение минеральных удобрений в почву сопровождается обменными физико-химическими реакциями удобрений с почвенным поглощающим комплексом, в результате чего в почвенный раствор поступают анионы сильных кислот, вызывая его подкисление, усиливается подвижность оснований и вымывание их из пахотного слоя почвы.

В лизиметрическом опыте на Ротамстедской опытной станции (Англия) потери кальция из почв разного механического состава резко возрастали при внесении в почву минеральных удобрений, особенно азотных в форме сульфата аммония (табл.39).

Таблица 39

Влияние удобрений на вымывание кальция из почв лизиметрического опыта в Бродбоке (Bolton J., 1972)

Почва	Удобрения	Вымывание Ca, кг/га в год
Суглинистая	Без удобрений	530
	P K Na Mg	632
	N P K Na Mg	780
	N_2	841
	Навоз	594
Супесчаная	Без удобрений	899
	$NaNO_3$	633
	$(NH_4)_2SO_4$	1232
Легкосуглинистая	Без удобрений	756
	$NaNO_3$	666
	$(NH_4)_2SO_4$	832

В длительном лизиметрическом опыте Пфаффа в течение 15 лет изучалась миграция кальция с фильтрующимися водами из почв различного механического состава и кислотности на фоне применения минеральных удобрений и без них (Pfaff C., 1963). Среди неудобренных почв наибольшие потери кальция (240 кг/га) наблюдались из песчаной почвы с нейтральной реакцией.

Применение минеральных и органических удобрений привело к увеличению содержания в лизиметрических водах кальция на 40%, магния – на 35%. Одновременно повысилась концентрация хлора и сульфатов. Особенно заметно увеличились потери кальция из почвы при внесении в качестве азотного удобрения сульфата аммония (из почвы вымывалось 27 кг Ca и 1 кг Mg в расчете на 100 кг сульфата аммония).

Таблица 40

Вымывание Ca и Mg из дерново-подзолистой песчаной почвы в сосняке при использовании разных доз и форм азотных удобрений

Вариант	Ca		Mg	
	кг/га	%	кг/га	%
Контроль	28,2	100	7,9	100
Naa 100	46,4	465	11,5	145
Naa 200	80,5	286	19,4	245
Nм 200	56,6	201	12,4	157

Второе место по подкисляющему действию на почвенный раствор и усилению миграции оснований из почвы после сульфата аммония среди азотных удобрений занимает аммиачная селитра. Как и сульфат аммония, аммиачная селитра быстро растворяется в почвенной влаге, анионы NO_3^- и SO_4^{2-} передвигаются с током воды, а катион NH_4^+ вытесняет из почвенного поглощающего комплекса Ca^{2+} и Mg^{2+}. Влияние доз и форм азотных удобрений на вымывание Са и Mg из дерново-подзолистой супесчаной почвы под лесом изучали Лебедев Е.Н. и Победов В.С. (1983). Из форм азотных удобрений наименьшие потери Са и Mg из почвы отмечены при внесении карбамида (табл.40).

3.4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИХ ОПЫТОВ ВНИИА ПО МИГРАЦИИ КАЛЬЦИЯ В ПОЧВЕ

Во ВНИИА с 1971 по 2004 год проводились исследования по определению потерь кальция и магния из почвы и влиянию на них различных факторов: гранулометрического состава и генезиса почв, известкования, минеральных удобрений и состава культур полевого севооборота.

Внесение в полной дозе извести оказало незначительное влияние на концентрацию кальция в фильтратах. В среднем за 8 лет концентрация кальция в фильтратах из известкованных почв повысилась на 9%, а магния – даже снизилась на 4%. Ежегодные потери кальция и магния при известковании составили (кг/га): 207, без известкования – 198, магния соответственно 29 и 32. Известкование увеличило потери кальция из почвы в среднем на 5-7%, не оказав влияния на потери магния (табл. 41). Установлена отчетливая обратная связь между урожаем овсяницы луговой и инфильтрацией атмосферных осадков (табл. 42).

Результаты опыта показали, что путем наиболее эффективного сочетания известкования с применением удобрений можно значительно сократить просачивание атмосферных осадков.

При внесении в почву сульфата аммония концентрация кальция в лизиметрических водах возрастала в 3 раза, магния – в 2 раза по сравнению с карбамидом и натриевой селитрой.

Между концентрацией кальция и аниона сульфата была установлена тесная корреляционная зависимость, которая свидетельствует о большой роли сульфат – иона в миграции кальция. Влияние форм азотных удобрений на потери кальция из почвы представлены в таблице 43.

Потери кальция и магния под ячменем были значительно выше, чем под овсяницей луговой, что свидетельствует о большой почвозащитной роли многолетних трав, проявляющейся в уменьшении потерь оснований из почвы (табл. 44).

Таблица 41

Потери кальция и магния с фильтрующимися водами из дерново-подзолистой супесчаной почвы (кг/га)

Годы	Ca		Mg	
	без извести	с известью	без извести	с известью
Первый	162	192	23	27
Второй	32	34	9	8
Третий	804	853	120	113
Четвертый	122	90	28	20
Пятый	73	79	13	12
Шестой	152	189	25	25
Седьмой	19	23	3	3
Восьмой	218	199	35	21
В среднем	198	207	32	29

Таблица 42

Инфильтрация атмосферных осадков и урожай луговых трав на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (в среднем за 4 года)

Вариант	Инфильтрация, %	Урожай трав (сено), г/лизиметр
РК	32	160
РК+ $CO(NH_2)_2$	24	203
РК+ $NaNO_3$	28	223
РК+ $(NH_4)_2SO_4$	34	169

Действие минеральных удобрений на вымывание Са и Mg из почвы под различными культурами было не одинаковым (табл. 46). Минеральные удобрения увеличивали вымывание только под ячменем, вико – овсяной смесью на суглинистой и супесчаной почвах и кукурузой – на супесчаной.

Исследование потерь кальция из почв различного генезиса показало (табл. 45), что главным фактором является высокое содержание поглощенных оснований (у луговой почвы степень насыщенности основаниями – 92%). Эти данные в дальнейшем были подтверждены результатами длительных полевых опытов.

Таблица 43

Влияние форм азотных удобрений на потери кальция и магния из почвы с фильтрующимися осадками, кг/га

Варианты	Ca	Mg
РК	326	87
РК+ $CO(NH_2)_2$	248	79
РК+ $NaNO_3$	257	75
РК+ $(NH_4)_2SO_4$	799	203

Таблица 44

Потери кальция и магния из почвы посредством вымывания в зависимости от вида сельскохозяйственных растений, кг/га

Варианты	Ca		Mg	
	овсяница	ячмень	овсяница	ячмень
РК	0	149	22	31
РК+ $NaNO_3$	82	220	18	41
РК+ $(NH_4)_2SO_4$	137	183	26	43

Таблица 45

Потери кальция из почв различного генезиса (кг/га)

Почва	Годы			Среднее за три года
	1-ый	2-ой	3-ий	
Дерново-подзолистая:				
Супесчаная	97	97	356	183
Суглинистая	73	50	269	131
Луговая	342	181	546	356
Торфяная	189	106	294	196

Таблица 46

Влияние минеральных удобрений на выщелачивание оснований, кг/га в год

Дерново-подзолистая почва	Культура	Вымывание Ca и Mg			
		Фон без удобрений	Увеличение		$НСР_{05}$
			от (N)1PK	от (N)2PK	
Супесчаная	Ячмень	191	+50	+60	35
	Вико-овес	114	+22	+44	42
	Озимая пшеница	86	-2	-4	17
	Кукуруза	104	-20	-1	41
Суглинистая	Ячмень	180	+40	+50	41
	Вико-овес	112	+32	+46	33
	Озимая пшеница	86	-2	-4	25
	Кукуруза	94	+29	+69	58
Луговая	Травы 1-го года	115	-7	-7	25
	Травы 2-го года	122	-30	-56	17
	Травы 3-го года	92	-1	+16	34
	Травы 4-го года	83	+15	+22	29

Была отмечена связь между урожаем сельскохозяйственных культур и вымыванием оснований. Чем более эффективны были минеральные удобрения, чем выше прибавка урожая, тем меньше потери оснований из почвы.

Расчет корреляционной зависимости между прибавками урожая от удобрений и увеличением выщелачивания оснований показали, что по озимой пшенице и травам связь была тесной и отрицательной ($r = - 0,65 - 0,85$).

Следовательно, чем сильнее положительное действие удобрений на урожай растений, тем слабее отрицательное действие их на почву.

Таким образом, величина потерь кальция и магния с инфильтрационными водами различаются в зависимости от генетического типа, механического состава и плодородия почв. Большие потери выявлены из почв легкого механического состава и почв с высокой насыщенностью основаниями.

Кальций и магний в основном вымывались из пахотного слоя почв (0 - 30 см). Величина их потерь в основном определяется инфильтрацией осадков через почву. Установлена тесная корреляционная зависимость между количест-

вом вымываемых из почвы оснований и объемом инфильтрационного стока (r = + 0,61 – 0,96). Потери кальция и магния из корнеобитаемого слоя подвержены резким колебаниям. Среднегодовые потери кальция составляют 140 - 180 кг/га, магния 25 - 40 кг/га.

Результаты многолетних исследований лаборатории известкования почв ВНИИА показали, что применение оптимальных доз известковых удобрений увеличивает потери кальция из почвы в среднем на 7-12%. Достижение уровня реакции среды в почве выше оптимального при известковании может увеличивать потери кальция в 2,5-3 раза.

Минеральные удобрения увеличивают вымывание оснований из почвы в среднем на 20 - 40%. Однако повышение эффективности минеральных удобрений способствует снижению потерь кальция и магния из почвы.

Исследования последних лет на лизиметрической установке ВНИИА (М.В. Никифорова, 2003) показали, что загрязнение почвы тяжелыми металлами приводит к увеличению потерь кальция из почвы вследствие миграции с инфильтрационными водами.

Эти материалы стали исходными теоретическими положениями при разработке баланса кальция в земледелии и приёмов, снижающих потери оснований из корнеобитаемого слоя почв.

ГЛАВА 4

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ ИЗ ПОЧВЫ

Уменьшить вымывание элементов из почвы можно, воздействуя на определяющие его размеры : инфильтрацию воды через почву и концентрацию растворённых в ней веществ.

Из всех способов снижения потерь питательных элементов из почвы самым прямым и действенным является рациональное эффективное применение минеральных удобрений, способствующее повышению урожая растений, увеличению его массы.

Повышение урожая растений, коэффициента использования питательных веществ удобрений, увеличение продолжительности вегетационного периода снижают инфильтрацию воды в почве и концентрацию растворённых в ней солей и способствуют сокращению вымывания Ca и Mg и других питательных элементов из почвы. Даже при сравнительно высокой дозе минеральных удобрений ($N_{130}P_{90}K_{120}$), внесённой под озимую пшеницу на 3-ем году лизиметрического опыта на ЦОС ВНИИА в благоприятное для растений время, умеренных осадках, вымывание кальция из почвы снизилось на 20-25% по сравнению с неудобренной почвой, вопреки утвердившемуся положению об обязательном увеличении подвижности и миграции оснований под действием минеральных удобрений. Потери магния снизились при этом на 25-30%, калия – на 10-12%, азота –20-30%. Это снижение явилось следствием высокого урожая зерна озимой пшеницы – свыше 55 центнеров с гектара при урожае на контроле 29 ц/га. Именно тогда была обнаружена тесная отрицательная корреляционная связь между прибавкой урожая от удобрений и вымывания оснований (r = - 0,85).

Благоприятная роль в охране плодородия почвы принадлежит травосеянию. Под многолетними травами почвы в условиях интенсивного земледелия теряют с инфильтрацией на 30-40% меньше кальция, магния, калия, серы, азота, чем под зерновыми и пропашными культурами.

В лизиметрическом опыте на ЦОС ВНИИА потери элементов под травами снизились по сравнению с культурами полевого севооборота (%): Ca на 30, Mg – на 18, K – на 38, S – на 21 и N – на 38.

Повышение урожая трав способствовало ещё большему снижению потерь. Поэтому такие средства, как минеральные удобрения и полив, которые обычно повышают миграцию элементов и увеличивают вымывание, при условии обеспечения высоких урожаев дают обратные результаты – способствуют снижению потерь.

Повышение поливной нормы до 450 $м^3$/га на тяжелосуглинистых почвах с многолетним злакобобовым травостоем при дозах удобрений $N_{180}P_{180}K_{160}$ в условиях среднего Урала практически не увеличили потери питательных веществ из корнеобитаемого слоя (Иванов Н.А. и др., 1982). На осушаемых долголетних

пастбищах наибольшие потери питательных элементов были отмечены на неудобренных участках. Внесение удобрений сокращало потери на 30%. Орошение совместно с удобрениями сократили потери питательных элементов в среднем за пять лет на 46% (табл.47).

Таблица 47

Вымывание питательных элементов из почвы в зависимости от агрофона и орошения за пределы 70 см, кг/га (Коротков Б.И., Гречишников Н.Н., 1987)

Уровень питания	N	$N-NO_3$	$N-NH_4$	P	K	Ca	Mg	Σ
Травостой, без орошения								
Без удобрений	11,8	7,5	2,9	3,9	5,3	313,0	110,3	460,8
$N_{240}P_{60}K_{120}$	16,5	11,6	3,3	1,7	4,2	235,9	79,0	355,4
Травостой, при орошении								
Без удобрений	19,7	11,5	4,1	2,3	6,1	239,8	126,3	414,0
$N_{240}P_{60}K_{120}$	27,9	17,4	3,2	1,7	4,2	175,7	82,5	315,6

Из данных, приведённых в таблице 47, видно, что особенно сильно сокращались потери Ca и Mg при орошении и удобрении трав. Кальций охранную способность травосеяния отмечают Словцова Т.А. (1974), Штиканс Ю.А. (1979), Мельникова М.Н. (1990), Никифорова М.В. (2002).

Некоторые авторы наблюдали уменьшение вымывания кальция при внесении в почву органических удобрений (Лещенко В.В., 1974; Эжеринскас В.П., 1976). В литературе вопрос о приёмах снижения вымывания элементов из почвы освещён очень слабо, но актуальность проблем заставляет искать пути её решения.

Проблема сокращения потерь питательных веществ, прежде всего, должна решаться по линии совершенствования структуры посевных площадей, с минимизацией доли паровых полей в пахотных угодьях. В лесостепной и лесной зонах функция пара как регулятора влагообеспеченности почвы снижается. Кроме того, в этих зонах при возрастании уровня химизации земледелия размеры вымывания элементов питания в удобренном паровом поле значительно увеличиваются.

В районах, где годовая сумма осадков превышает 380-400 мм, площадь паровых полей должна быть сведена до минимума.

Большое влияние на сохранение элементов плодородия почвы и предотвращение потерь минеральных удобрений имеет система основной обработки поч-

вы, которая должна сводиться к минимизации, т.е. сокращению или даже исключению вспашки при возделывании сельскохозяйственных культур, особенно на черноземах и торфяных почвах, отличающихся высоким содержанием органического вещества (Шаманаев В.А., 1984; Кирюшин В.И., Ткаченко Г.И., 1966).

Для уменьшения вымывания элементов питания, поступающих в почву с удобрениями, рекомендуется вносить удобрения после сброса избыточной влаги (Замараев А.Г и др, 1977). Заделка поверхностно внесённых удобрений или внесение их специальными точечными инжекторами снижает потери питательных веществ до уровня неудобренных вариантов.

Капсулирование туков смолами, которое было испытано за рубежом, способствует медленному растворению удобрений и постепенному включению их компонентов в питание растений, что предохраняет элементы питания от вымывания (Шконде Э.И., Благовещенская З.К., 1979).

С этой же целью применяются медленнодействующие азотные удобрения и ингибиторы нитрификации, которые, уменьшая вымывание азота, сокращают потери других элементов, например, катионов, связанных с нитратом (Петербургский А.В., 1983).

Для компенсации потерь кальция и магния во Франции выпускают удобрение - скорилор, содержащее Ca, Mg и P_2O_5. Внесение 15-20 ц/га такого удобрения полностью восстанавливает уровень кальция, вымывшегося из почвы (Шконде Э.И., Благовещенская З.К., 1979).

При внесении известково-аммиачной селитры в Голландии потери Ca в почве в расчете на 100 кг N резко уменьшаются, что видно из следующих данных:

Виды удобрений	Потери Ca, кг на 100 кг N	
	Пашня	Пастбище
Сульфат аммония	-207	-194
Карбамид	-71	-57
Известково-аммиачная селитра	-36	-21
Магниево-аммиачная селитра	-1,4	+13
Кальциевая селитра	+55	+74

Большое значение в снижении потерь кальция и магния из почвы имеет выбор форм азотных удобрений, которые не только не увеличивают миграцию

элементов, но даже способствуют накоплению их в почве. К таким удобрениям относятся известково-аммиачная (ИАС) и магниево-аммиачная селитры. Содержание $CaCO_3$ в ИАС – 14-40%, N – 20-30%.

Простые удобрения, применяемые в основном в земледелии, содержат в анионной части легкоподвижные, не сорбируемые почвой ионы Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, обладающие высокой миграционной способностью и увеличивающие подвижность катионов, приводящую к обеднению почав основаниями. В лизиметрическом опыте Северо-западного НИИ сельского хозяйства на дерново-подзолистой супесчаной почве изучалось влияние форм удобрений на вымывание кальция. В качестве испытуемых форм удобрений были взяты нитроаммофоска и смесь «чистых солей», не содержащих легкоподвижных анионов – $(NH_4)_2CO_3$, K_2CO_3, $(NH_4)_3PO_4$. Их действие на вымывание кальция сравнивали с аммиачной селитрой, простым суперфосфатом и хлористым калием. Исследования проводили на двух уровнях известкования (Яковлева Л.В., 1980). Внесение нитроаммофоски уменьшило потери кальция в среднем в 1,5-2 раза по сравнению с простыми удобрениями, а «чистых солей» в 1,5-3,6 раза, в зависимости от выращиваемой культуры (табл. 48).

Таблица 48

Внесение известкования и форм минеральных удобрений на вымывание кальция из супесчаной почвы, кг/га

Вариант	Удобрения	Яровая пшеница	Клевер
Без извести	Без удобрений	15	18
	Нитроаммофоска	99	25
	NaaPcKx	232	28
	«Чистые соли»	44	23
Известкование до pH 5,0	Без удобрений	65	31
	Нитроаммофоска	150	26
	NaaPcKx	266	46
	«Чистые соли»	81	26
Известкование до pH 7,0	Без удобрений	189	98
	Нитроаммофоска	300	101
	NaaPcKx	457	105
	«Чистые соли»	198	74

В лизиметрической установке МГУ изучались размеры потерь питательных элементов из пахотного слоя неизвесткованной среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы при внесении различных форм и доз азотных удобрений: растворимых – $NaNO_3$, $(NH_4)_2SO_4$, медленнодействующих – мочевины и слаборастворимых – мочевино-формальдегидного удобрения (МФУ).

Результаты опыта МГУ показали, что при использовании медленнодействующих азотных удобрений (мочевины и МФУ) потери азота снизились в 2-3 раза, кальция – в 2 раза по сравнению с растворёнными формами.

Изучаемые в опыте сорбенты (торф и клиноптилолит) снизили потери от применяемых совместно с ними растворимых и медленнодействующих азотных и калийных удобрений (Болышева Т.Н., Соловьев Г.А., 1983).

Применение нового химического мелиоранта для известкования кислых почв – конверсионного карбоната кальция (ККК) в лизиметрическом опыте на дерново-подзолистой суглинистой почве в Кировской области снизило кислотность, улучшило физико-химические свойства и питательный режим почвы и одновременно уменьшило концентрацию кальция и магния в лизиметрических водах из корнеобитаемого слоя почвы в сравнении со стандартной известняковой мукой, мг/л (Южанина Е.Н., 1988):

	Без удобрений и извести	NPK	NPK+ККК	NPK+ известняковая мука
Ca^{2+}	55,2	65,2	60,8	74,5
Mg^{2-}	24,1	22,8	23,8	25,8

Из агротехнических приёмов воздействия на снижение вымывания элементов из почвы наиболее эффективными является посев промежуточных культур: рапса, горчицы, редьки масляной, кормового гороха и др.

В лизиметрическом опыте в Лимбургерхофе вымывание элементов из песчаной почвы в зерно – пропашном севообороте в среднем за несколько лет составило, кг/га:

	N	P	K	Ca
без промежуточных культур	86	3	53	437
с промежуточными культурами	39	2	47	386

Запашка соломы в почву после уборки зерновых также может быть мерой компенсации потерь кальция, магния и других катионов, так как солома обладает высоким содержанием зольных элементов, и удаление её с поля вызывает обеднение почвы основаниями и увеличивает потребность в извести (Westermann K., 1981).

В лизиметрическом опыте лаборатории известкования почв ВНИИА (насыпные лизиметры 50 см x 50 см x 50 см) исследовали приёмы сокращения потерь кальция, магния и других элементов из дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы.

С целью сокращения потерь кальция и других элементов в схеме были включены следующие варианты:

1. Для увеличения срока вегетации растений после уборки ячменя была посеяна горчица белая. Горчица белая была убрана 28 октября.
2. Использование для нейтрализации почвенной кислотности вместо известняковой муки по ГОСТу 14050 –78 менее грубой растворимой фракции муки 0,5-1,5 мм.
3. Применение разных доз органических удобрений (торфонавозный компост).
4. Использование безбалластных форм минеральных удобрений: двойного гранулированного суперфосфата и безхлорного калийного удобрения – поташа.
5. Дробное внесение азотных удобрений – доза азота дробилась на три части, которые были внесены при посеве ячменя, в фазу кущения и в фазу выхода в трубку.
6. Выращивание многолетних трав (сравнивается с ячменём).

Анализ данных показал, что наиболее эффективным из изученных способов снижения потерь элементов из почвы был вариант с посевом пожнивной культуры (табл. 49). Благодаря удлинению вегетации растений, вымывание элементов из почвы по сравнению с вариантом без посева пожнивной культуры, уменьшилось Ca – в 1,6 раза, K – в 2-3 раза, S – в 1,4 раза, $N\text{-}NO_3$ – в 3-5 раз. Увеличение урожая растительной массы за счёт посева горчицы (в 1,5 раза) позволило снизить инфильтрацию воды из почвы, а также концентрацию в ней кальция, магния и нитратов – в 2-6 раз, сульфатов – в 1,6 раза.

Таблица 49

Влияние различных приёмов на потери элементов с фильтрующимися водами из дерново-подзолистой суглинистой почвы, кг/га в год

	Варианты опыта	Потери				
		Ca	Mg	K	S	$N\text{-}NO_3$
1	Контроль	75,9	34,4	16,7	54,8	28,4
	Контроль +пожнивная культура	46,9	25,8	8,7	38,3	5,5
2	Известь, 2 г.к.	96,5	55,1	14,3	74,8	30,1
	Известь, 2 г.к (фракция 0,5-1,5 мм)	77,8	39,2	13,4	44,5	23,7
3	Известь, 2 г.к. + навоз 20 т/га	110,4	43,3	20,8	73,8	32,5
	Известь, 2 г.к. + навоз 40 т/га	109,6	51,6	11,4	67,2	28,7
4	N1PKx	84,5	53,9	16,8	76,4	21,3
	N1PK K_2CO_3	66,9	27,9	8,5	27,9	27,8
5	N1PK+ известь, 1 г.к.	97,2	40,4	16,1	57,9	24,7
	N1PK+ известь, 1 г.к. + пожнивная культура	62,3	38,6	5,7	40,3	8,5
6	N1PK+ известь, 2 г.к.	87,0	36,4	9,5	47,9	22,3
	N1PK+известь 2 г.к (фракция 0,5-1,5 мм)	92,4	50,9	5,6	50,1	24,1
7	N2PсдK	63,5	38,5	8,5	47,8	20,8
	N2PcK	76,9	38,3	4,1	56,3	20,6
8	N2PK+ известь, 1 г.к.	89,8	42,7	11,0	58,5	24,0
	N2 дробно PK+ известь, 1г.к	74,0	42,4	5,8	42,4	25,9
9	N2PK + известь, 2 г.к.	122,6	56,8	5,8	40,5	24,7
	N2PK+ известь, 2 г.к. +травы	77,6	35,0	10,1	45,0	22,6

Вторым по эффективности средством снижения потерь элементов можно считать применение безбалластных форм минеральных удобрений. При внесении в почву поташа в качестве калийного удобрения потери калия снизились по сравнению с внесением хлористого калия почти в 2 раза, кальция – 1, 3 раза, магния – в 2 раза, серы – почти в 3 раза. Концентрация хлора снизилась в фильтрате из почвы 1, 6 раза. Внесение двойного суперфосфата снизило потери кальция и серы из почвы в 1,2 раза, по сравнению с простым. Дробное внесение азотных удобрений уменьшило потери Ca – в 1, 2 раза, K – в 2 и S – в 1,4 раза.

Некоторое уменьшение вымывания наблюдалось при внесении грубой фракции извести из удобренной почвы. Но на фоне минеральных удобрений потери кальция и магния из почвы при внесении такой извести несколько увеличились.

Приёмы снижения потерь элементов, изучаемые в опыте, воздействовали в основном на концентрацию элементов в лизиметрическом растворе. Посев пожнивной культуры (горчица белая) после уборки основной культуры (ячмень) обеспечил снижение концентрации в фильтратах из суглинистой почвы (%): Ca^{2+} – на 20, K^+ – на 45, NO_3 – на 30, SO_4^{2-}- на 25 и уменьшил потери из супесчаной почвы (%) : Ca – на 37, Mg – на 15, K – на 56, S – на 30.

При внесении безхлорных калийных удобрений (поташа) концентрация Ca^{2+} снизилась на 27%, Mg^{2+} – на 42%, K^+- на 50 %, SO_4^{2-}- на 62% по сравнению с применением хлористого калия. Потери их при этом уменьшились Ca на 21%, Mg – на 48%, K – на 49%, S – на 63%.

При внесении двойного суперфосфата концентрация Ca^{2+} в фильтратах была на 20% ниже, чем при внесении простого суперфосфата, SO_4^{2-} – на 16%, что обеспечило снижение потерь из почвы Ca – на 17%, S – на 15%.

Таким образом, результаты лизиметрических опытов свидетельствуют о том, что мы располагаем достаточно широким набором приёмов, снижающих потери кальция, магния и других элементов из корнеобитаемого слоя почв с инфильтрационными водами.

ГЛАВА 5

МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОТЕРИ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ

Способность тяжелых металлов к миграции по профилю почвы и вымыванию их в грунтовые воды обусловлена подвижностью их форм и соединений, а также прочностью связывания с почвой. Скорость и глубину передвижения тяжелых металлов по профилю почв обуславливают три типа геохимических барьеров, которые способствуют их осаждению, отложению и накоплению : механический, физико-химический и биологический.

Факторами, влияющими на миграцию ТМ, являются следующие характеристики почвы: гранулометрический состав, окислительно-восстановительные ус-

ловия, кислотно-щелочные условия, количество органического вещества, микроэлементный состав почвообразующих пород, рельеф местности, агротехнические приёмы и др. Регулируя эти факторы можно изменять миграцию тяжелых металлов по профилю почв и добиваться снижения их попадания в грунтовые воды.

Гранулометрический состав почвы определяет ее удельную поверхность, а, следовательно, и содержание ТМ, связанных с глинистой фракцией, а также водный режим и интенсивность водной миграции. В почвах тяжелого гранулометрического состава, как правило, обнаруживаются более высокие концентрации ТМ (Jankauskite M.I. et al, 1986; Иванов Г.М, 1989). Так, в почвах с высоким наличием глинистой и илистой фракций содержится повышенное количество Ca, Mg, Fe. Глинистые минералы чаще всего сорбируют Cr, Cu, Ni, Zn, имеющие небольшой ионный радиус.

Окислительно-восстановительный потенциал почв существенно изменяет миграционную способность тяжелых металлов, регулируя окклюзию ТМ окислами железа и марганца. В условиях преобладания восстановительных процессов при увлажнении и анаэробном разложении органического вещества уменьшается миграционная способность Cu, Ni, Co, Zn (Большаков В.А. и др., 1988; Обуховская Т.Д. и др., 1983; Покровская С.Ф., Касатиков В.А., 1987; Алексеев Ю.В., 1987).

Кислотно-щелочные условия влияют на растворимость и подвижность органических соединений тяжелых металлов. В кислом интервале pH образуются низкомолекулярные органические соединения, снижается катионная поглотительная способность почвы, и возрастает мобильность тяжелых металлов. По мере нейтрализации почвенной кислотности увеличивается ёмкость катионного обмена; железо, алюминий и марганец превращаются в нерастворимые гидроксиды, которые как коллоиды, адсорбируют тяжелые металлы. При известковании почв тяжелые металлы образуют малоподвижные соединения гидроксидов, карбонатов и гидрокарбонатов, при этом снижается доступность растениям подвижных форм железа, меди, цинка, марганца, алюминия, никеля.

Подвижность химических элементов в различных условиях в обобщенном виде приведена в таблице 50 (Рэуце К., Кырстя С., 1986), из материалов которой следует, что подвижность приоритетных по токсичности тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Hg) и их миграционная способность определяются свойствами почвенной среды. Большинство исследователей отмечают высокую миграционную способность Sr и As, среднюю способность к выщелачиванию Zn, Co, Ni, Cu, Pb, и слабую миграционную предрасположенность Cr.

Количественные параметры миграции ТМ из корнеобитаемого слоя почв могут быть установлены только по результатам лизиметрических опытов. Наиболее длительный лизиметрический опыт с ТМ проведен в ВНИИА на дерново-подзолистых супесчаной и тяжелосуглинистой почвах.

Таблица 50

Подвижность химических элементов в процессе гипергенеза

Подвижность	Элемент	Условия подвижности
Очень подвижные	S, Cl, B, Br	Растворы
Подвижные	Ca, Na, Mg, Sr, Ra, F	Растворы
Слабо подвижные	K, Ba, Rb, Li, Be, Cs, Te, Si, P, Sn, Ge	Особенно в форме растворов
Подвижные и слабо подвижные в окислительной среде	Zn, Ni, Cu, Pb, Cd, Hg, Ag	Энергичная миграция в кислых растворах и слабо подвижные в нейтральных и щелочных растворах, особенно в форме анионов
Инертные в восстановительной среде	U, V, Mo, Se, Ra	Энергичная миграция в кислых и щелочных растворах, особенно в форме анионов
Подвижные и слабо подвижные в восстановительной среде и инертные в окислительной среде	Fe, Mn, Co	Умеренная миграция
Слабо подвижные в большинстве сред	Al, Ti, Zr, Cr, Nb, Ga, Ta, W, Bi, Pt, Au, Te	Миграция слабая с образованием химических комбинаций

Его результаты показали, что в первый год после внесения в супесчаную почву, концентрация кадмия в инфильтрационных водах возросла до 0,01-0,04 мг/л, на следующий год она снизилась в 3- 4 раза, а в последующие годы –

уменьшилась до уровня 0,002-0,003 мг/л и существенно не отличалась от вариантов с незагрязненной почвой. Аналогичная закономерность имела место и на тяжелосуглинистой почве с той лишь разницей, что в первый год после внесения концентрация кадмия была на порядок ниже (0,006-0,009 мг/л). Потери кадмия с инфильтрационными водами в первый год составили 0,02-0,03 мг/кг почвы, а в последующем снизилась до 0,01-0,04% от внесенной дозы и составили менее 0,001 мг/кг почвы. Суммарное количество отчуждаемого из почвы кадмия (вымывание + вынос растениями) за 4 года не превысило 2,4 % из супесчаной и 6% из суглинистой почвы от внесенной дозы.

Концентрация цинка в лизиметрических водах из обеих почв контрольного варианта (без удобрений) составили 0,5-0,05 мг/л. Известкование почвы на протяжении 4 лет устойчиво снижало концентрацию этого элемента в 2 раза. Внесение водорастворимой соли Zn в 1-ый год увеличило концентрацию в среднем в 100 раз на супесчаной почве, доведя её до 2-3 мг/л. На второй год концентрация цинка в варианте с однократной дозой этого элемента уменьшилась до 0,03 мг/л и в последующие годы не превышала 0,02 мг/л.

При внесении тройной дозы Zn в супесчаную почву концентрация этого металла в инфильтрационных водах уменьшилась на второй год до 0,06-0,16 мг/л и в последующие годы находилась в интервале 0,002-0,06 мг/л. Концентрация Zn в лизиметрических водах из тяжелосуглинистой почвы в динамике изменялась аналогично, но в количественном выражении была в 2-3 раза ниже, чем из супесчаной. Концентрация Zn в лизиметрических водах под травами во все годы наблюдений не превышало 0,03 мг/л.

Потери Zn с лизиметрическими водами из супесчаной почвы в среднем были в 10-18 раз больше, чем из суглинистой. На обеих почвах 90-95 % потерь этого элемента произошли в первый год. В последующие годы, по мере перехода водорастворимой формы Zn в менее подвижное состояние, потери этого металла снижались на 2 порядка и становились минимальными.

В целом суммарные среднегодовые потери цинка составили десятые и сотые доли процента от внесенной в почву дозы, что свидетельствует о чрезвычайно медленном процессе очищения загрязнения этим элементом почвы.

Концентрация Pb в лизиметрических водах в течение 4 лет была подвержена меньшим колебаниям, чем Zn и Cd. В первый год на супесчаной почве она колебалась в интервале 0,03-0,05 мг/л и сохранилась такой же в течение следующих двух лет. На четвертый год она уменьшилась до 0,002 мг/л. На тяжелосуглинистой почве концентрация Pb в инфильтрационных водах находилась в интервале 0,06-0,13 мг/л и в следующие годы снизилась до 0,002 мг/л. На обеих почвах при внесении тройной дозы ТМ содержание Pb в воде было примерно в 2 раза выше. Заметного влияния доз $CaCO_3$ на концентрацию Pb в лизиметрических водах не отмечено.

Суммарные потери Pb из корнеобитаемого слоя почвы за 4 года составили 0,1-0,3 внесенной дозы. В целом это свидетельствует об очень медленном процессе естественного очищения почвы от этого металла. При этом существенной разницы между потерями вследствие выноса урожаем и вымыванием с инфильтрационными водами не отмечено.

В таблице 51 приведены данные по потерям из почвы Pb, Zn и Cd из загрязнённых по 1 и 3 ПДК почв этими металлами в разные периоды проведения опыта. В целом результаты опыта свидетельствуют о крайне медленном очищении почвы от загрязняющих её ТМ. Мала вероятность загрязнения грунтовых вод ТМ на почвах с содержанием Pb, Zn и Cd не более 3 ПДК, так как за весь период проведения лизиметрического опыта не зафиксировано ни одного случая содержания в инфильтрационных водах Pb, Zn и Cd выше ПДК для питьевой воды.

Аналогичные нашим получены данные другими исследователями. Так, в Калининградском ФГУЦАС в течение трех лет исследовались потери микроэлементов из почвы вследствие их вымывания с дренажными водами (Панасин В.И., 1995) на пашне и лугопастбищных угодьях. Результаты исследований показали, что потери и концентрация микроэлементов из пахотных почв в среднем примерно в 2 раза выше (табл. 52), что объясняется интенсивным сельскохозяйственным использованием этих земель.

Результаты многолетних лизиметрических исследований в Польше также показали незначительные потери Mn, Cu, Zn из почвы вследствие вымывания (табл.53). При этом известкование, как и в нашем опыте существенно снизило

Таблица 51

Потери ТМ с лизиметрическими водами из дерново-подзолистых почв
(данные Никифоровой М.В.)

Варианты	Дерново-подзолистые почвы											
	Супесчаная						Суглинистая					
	Cd		Zn		Pb		Cd		Zn		Pb	
	г/га	% от дозы	г/га	% от дозы	г/га	% от дозы	г/га	% от дозы	г/га	% от дозы	г/га	% от дозы
Контроль	4,1-1,3		782-43,6		48,5		4,5-1,0		92,2-20,1		107,4	
Известь 2 г.к.	3,2-0,65		29,0-21,3		48,5		4,3-1,0		18,8-14,2		64,2	
Изв.1+ NPK +1ТМ	72,0-1,83	0,86-0,02	2764-0,12	0,7-0	58,0-53,6	0,07-0,06	11,4-2,44	0,13-0,03	205,9-12,03	0,05-0,003	121,4-40,0	0,14-0,05
Изв.2+ NPK+ 1 ТМ	11,9-3,22	0,14-0,04	8394-6,24	2,1-0,001	61,8-45,6	0,08-0,05	12,7-3,65	0,15-0,04	72,0-32,8	0,02-0,008	103,0-40,8	0,12-0,05
Изв.1+ NPK+ 3 ТМ	79,2-2,36	0,31-0,01	3570-1,23	0,8-0,0001	59,0-43,5	0,02-0,01	21,0-2,95	0,08-0,01	206,1-22,03	0,02-0,002	151,0-37,4	0,04-0,01
Изв.2+ NPK+ 3ТМ	12,2-1,34	0,05-0,01	819-1,52	0,2-0,0001	93,4-26,2	0,04-0,01	14,4-6,5	0,06-0,03	62,9-27,4	0,01-0,002	153,0-60,7	0,04-0,02

Таблица 52

Динамика сезонного выноса микроэлементов из почв дренажными водами (Панасин В.И., 1995)

Элементы	Зима		Весна		Лето		Осень		Годовой вынос, г/га
	концентрация	вынос, г/га	концентрация	вынос, г/га	концентрация	вынос, г/га	концентрация	вынос, г/га	
Пашня									
B	4,8	2,9	2,3	2,2	1,2	0,45	5,7	0,83	6,5
Cu	19,3	11,8	11,2	11,0	5,1	1,8	28,9	4,2	28,8
Mn	28,3	174	169	166	132	46,5	201	29,1	41,5
Mo	0,91	0,56	0,60	0,59	0,45	0,16	1,0	0,16	1,4
Co	1,2	0,74	0,74	0,73	0,47	0,17	1,5	0,22	1,8
Zn	166	102	104	102	47	16,6	208	30,1	250
Луг									
B	1,6	1,0	1,0	1,0	0,57	0,2	1,9	0,28	2,5
Cu	11,3	6,9	6,8	6,7	3,9	1,4	15,7	2,3	17,3
Mn	147	90	93	92	82	28,9	166	24,0	234
Mo	0,31	0,19	0,2	0,2	0,17	0,06	0,36	0,05	0,5
Co	0,87	0,53	0,5	0,5	0,32	0,11	1,0	0,15	1,3
Zn	79,4	48,7	41,8	41,1	25,4	8,9	96	13,9	112

поступление ТМ в дренажные воды. Общий уровень выноса микроэлементов дренажными водами относительно запаса их подвижных форм в профиле незначителен. На почвах пашни для бора, меди, марганца и кобальта он колеблется от 0,032 до 0,085%, у молибдена составил 0,13% и у цинка 2%. Наиболее высокое количество этих элементов поступает в мелиоративную сеть в зимний период – более 50%, а с мая по октябрь – не превышало 8% от годового количества.

В то же время в условиях сельскохозяйственного производства на песчаных почвах в условиях высокого загрязнения почвы тяжелыми металлами, вследствие систематического внесения осадков сточных вод зафиксировано проникновение ТМ на большую глубину. Это положение можно проиллюстрировать данными Московского ГЦАС по содержанию кадмия по профилю почвы до глубины 100 см на незагрязнённых и загрязнённых участках Люберецкого района Московской области (табл. 54).

Приведённые в таблице 54 данные свидетельствуют о том, что на песчаных почвах может происходить миграция ТМ по профилю почвы на большую

глубину. Почвы более тяжёлого гранулометрического состава исполняют роль «депо» для тяжелых металлов.

Таблица 53

Потери Mn, Cu, Zn вследствие вымывания по данным лизиметрических опытов Польши (Ruszkowska M., et al 1976)

	Mn		Cu		Zn	
	без $CaCO_3$	$CaCO_3$	без $CaCO_3$	$CaCO_3$	без $CaCO_3$	$CaCO_3$
средние потери за год, г/га	345	238	17,5	15,0	163	142
соотношение потерь с выносом растениями к потерям вследствие вымывания	2,0	1,9	0,27	0,23	0,15	0,20

Таблица 54

Миграция кадмия на загрязнённой дерново-подзолистой почве (Болотина В.В., 1999)

Слои почвы, см	Незагрязнённый участок			Загрязнённый участок		
	Скважины					
	1	2	3	1	2	3
	Содержание кадмия, мг/кг					
0 – 20	0,24	0,37	0,31	8,4	7,0	8,5
20 – 40	0,31	0,24	0,25	10,1	6,2	8,6
40 – 60	0,37	0,30	0,23	5,3	3,2	3,8
60 – 80	0,40	0,25	0,17	2,4	1,6	2,5
80 - 100	0,36	0,21	0,20	1,8	1,1	2,5

Загрязнение почвы тяжелыми металлами имеет и побочное косвенное отрицательное влияние на миграцию из корнеобитаемого слоя кальция и магния. Это положение можно проиллюстрировать результатами лизиметрического опыта ВИУА, проведённого М.В. Никифоровой (2002), которые свидетельствуют о том, что на вариантах с загрязнённой ТМ почвой потери кальция и магния увеличивались в 2-3 раза (табл.55), что ведёт к ускоренному разрушению плодородия.

Увеличение потерь оснований с инфильтрацией из дерново-подзолистых почв, загрязненных Cd, Zn, Pb под различными культурами севооборота происходили в результате роста концентрации элементов питания в водах (табл. 56), и в основном Ca и Mg. Концентрация в водах Na и K, в зависимости от уровня загрязнения почвы Cd, Zn и Pb, менялась очень незначительно.

Таблица 55

Влияние загрязнения почв тяжёлыми металлами на выщелачивание оснований из дерново-подзолистых почв (в среднем за год, кг/га) (данные Никифоровой М.В.)

Варианты опыта	Тяжелосуглинистая почва				Супесчаная почва			
	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K
0	34	10	4	4	25	8	3	8
Ca 2	38	11	5	4	43	16	4	3
NPK + Ca 1	50	20	8	3	36	18	6	4
NPK + Ca 2	60	26	5	4	88	21	9	6
NPK+Ca1+1TM	89	39	8	4	96	27	8	6
NPK+Ca1+3TM	155	48	4	5	144	42	7	3
NPK+ Ca 2+1TM	100	40	6	4	88	30	7	5
NPK +Ca 2+3TM	165	48	5	4	199	35	6	5

Таблица 56

Концентрация элементов питания в водах под растениями зернопропашного севооборота из загрязненных дерново-подзолистых почв (мг/литр) (данные М.В. Никифоровой)

N пп	Варианты опыта	Ячмень		Кукуруза на силос		Овес на зеленую массу		Озимая пшеница	
		Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
Дерново-подзолистая супесчаная почва									
1	Контроль(б/у)	12,4	8,0	24,2	3,2	27,0	10,0	21,1	7,1
2	Известь 2 г.к.	19,6	8,3	27,3	16,6	70,0	17,0	30,0	12,0
3	Ф1	24,8	8,3	51,5	13,4	38,2	10,9	38,0	10,0
4	Ф2	21,5	4,8	88,3	33,8	51,7	17,0	65,0	36,0
5	Ф1 + 1ТМ	63,4	10,7	152,3	44,1	60,0	25,0	140,0	38,0
6	Ф1 + 3ТМ	44,1	3,0	165,9	20,4	90,0	23,0	110,0	32,0
7	Ф2+ 1ТМ	27,5	4,8	99,8	29,4	52,5	21,0	41,0	20,0
8	Ф2 + 3ТМ	274,4	40,0	127,1	23,0	100,0	29,0	89,0	22,0
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва									
1	Контроль(б/у)	20,2	7,2	25,1	12,1	45,0	22,0	25,0	11,8
2	Известь 2 г.к.	28,8	6,8	20,7	10,8	25,0	8,0	32,5	14,5
3	Ф1*	34,0	13,5	48,3	14,7	65,0	28,0	50,0	21,0
4	Ф2	35,3	8,3	66,2	28,7	53,0	23,0	68,0	30,0
5	Ф1 + 1ТМ	48,3	33,4	59,9	21,7	140,0	51,0	100,0	39,0
6	Ф1 + 3ТМ	158,1	54,8	17,7	30,7	125,0	37,0	135,0	42,0
7	Ф2+ 1ТМ	64,1	29,4	109,3	37,0	85,0	32,0	80,0	50,0
8	Ф2 + 3ТМ	150,9	44,5	221,7	47,9	220,0	76,0	235,0	72,0

**Ф1 – известь по 1 гидролитической кислотности + NPK;*

Ф2 – известь по 2 гидролитической кислотности + NPK;

В последующие 4 года (2001-2004 гг.) М.В. Никифоровой в лизиметрических установках ВНИИА проводится опыт по изучению миграции ТМ и оснований под действием высокой дозы извести. Почвы искусственно загрязняли медью, свинцом, стронцием по 1 и 3ПДК (для Cu и Pb) и 05 и 1,5ПДК (для Sr). Вносили окись меди, уксуснокислый свинец и хлористый стронций. Одинарные дозы ТМ составляли (мг/кг): Cu – 66, Pb – 65. Доза по Sr 0,5ПДК составила 300 г/кг почвы. Взятые с полей ЦОС ВНИИА образцы дерново-подзолистой почвы были загрязнены никелем, валовое количество которого составляло 159 мг/кг для дерново-подзолистой средне окультуренной почвы и 128 мг/кг для высоко окультуренной почвы.

В зерно-полевом севообороте (ячмень – травы 1-го года – травы 2-го года пользования – яровая пшеница) вносили минеральные удобрения под культуры в виде натриевой селитры, Рсд и Кх в следующих дозах соответственно культурам: $N_{90}P_{90}K_{90}$; $N_{60}P_{60}K_{60}$ под каждый укос, $N_{75}P_{60}K_{75}$.

На обеих дерново-подзолистых почвах (табл. 57), загрязненных Ni, Cu, Pb, Sr отмечались потери оснований с инфильтрацией, которые зависели от уровня загрязнения почв, культуры севооборота, срока учета проб воды. Сумма потерь оснований с инфильтрацией основных элементов питания достигала значительных величин на почвах, загрязненных Ni, Cu, Pb, Sr (табл.58). На чистых почвах контроля и фона потери оснований с инфильтрацией в сумме за четыре года севооборота из обеих дерново-подзолистых почв составили не более (кг/га) : 121 Ca, 22 Mg, 54 Na, 13 K. При загрязнении почв Cu, Pb, Sr потери оснований с инфильтрацией возрастали в 3-7 раз из обеих дерново-подзолистых почв (табл. 58).

Таблица 57

Агрохимическая характеристика исходных почв

Дерново-подзолистые почвы	pHkcl исх. почвы	Hг	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	Гумус, % по Тюрину	pHkcl, после известк.
			мг/100 почвы (по Кирсанову)		мг-экв на 100 г почвы (в 1н NaCl)			
Среднеокультуренные	5,4	2,5	10,72	81,0	10,0	2,4	1,27	6,7-6,9
Высокоокультуренные	4,8	3,8	24,69	183,0	13,0	2,8	1,65	6,8-7,1

Таблица 58

Потери элементов питания с инфильтрацией в сумме за 4 года опыта (кг/га) при загрязнении почвы Ni, Cu, Pb, Sr

Варианты опыта	Сумма за 4 года опыта (кг/га)			
	Ячмень - травы 1г.п. – травы 2 г.п. – яровая пшеница			
	Ca	Mg	Na	K
Дерново-подзолистая среднеокультуренная почва				
Контроль (б/у)	106,5	23,7	45,4	11,3
NPK –фон	104,8	22,4	50,2	11,6
Фон + 0,5 Sr	258,4	58,8	47,4	16,3
Фон +0,5 Sr +$CaCO_3$	319,0	61,3	46,3	5,0
Фон +0,5 Sr +1TM	307,7	61,5	49,1	21,2
Фон + 0,5 Sr + 1TM +$CaCO_3$	322,9	58,8	49,8	8,6
Фон + 1,5 Sr	692,8	115,9	66,0	13,2
Фон +1,5 Sr +$CaCO_3$	707,5	124,8	68,7	15,8
Фон +1,5 Sr +3TM	631,5	125,8	73,4	10,9
Фон + 1,5 Sr + 3TM +$CaCO_3$	734,2	134,3	59,0	6,1
Дерново-подзолистая высокоокультуренная почва				
Контроль (б/у)	108,4	22,2	40,9	15,9
NPK –фон	120,7	22,3	54,0	13,6
Фон + 0,5 Sr	258,1	44,1	45,8	15,5
Фон +0,5 Sr +$CaCO_3$	404,1	60,9	39,0	7,1
Фон +0,5 Sr +1TM	288,1	39,7	49,4	16,5
Фон + 0,5 Sr + 1TM +$CaCO_3$	312,7	48,8	49,2	13,2
Фон + 1,5 Sr	657,0	117,6	60,0	18,8
Фон +1,5 Sr +$CaCO_3$	787,8	133,5	59,5	12,5
Фон +1,5 Sr +3TM	593,3	92,2	54,7	16,3
Фон + 1,5 Sr + 3TM +$CaCO_3$	715,3	102,5	50,1	17,2

Таблица 59

Поступление тяжелых металлов с атмосферными осадками

Элемент	Выпадение, г/га в год		
	жидкие	твердые	всего
Zn	441	500	941
Cu	120	83	203
Pb	12	16	28
Cd	0,4	0,4	0,8
Ni	8	12	20

ГЛАВА 6

БАЛАНС ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ

Баланс тяжелых металлов в почве – это количественное выражение процесса, учитывающего все источники их поступления и расхода в течение определенного промежутка времени. Он характеризует перспективу (отдаленную и близкую) изменения экологической обстановки по загрязнению почвы токсичными элементами и включает в себя приходные и расходные части.

В приходную часть баланса входят следующие источники их поступления: известковые, органические и минеральные удобрения, посевной материал, привнос с жидкими и твердыми атмосферными осадками. Расходная часть учитывает вынос с урожаем основной и побочной продукции, а так же потери вследствие вымывания инфильтрационными водами.

В настоящее время рядом исследователей произведены расчеты баланса ТМ в почве, как по фактическим данным в конкретных полевых опытах, так и по справочным и фактическим материалам для конкретных регионов.

Н.А. Черных и др. (1999) произведён расчет баланса цинка, меди, свинца, кадмия и никеля в дерново-подзолистой почве при длительном применении удобрений в Домодедовском районе Московской области, который отличается развитым промышленным и сельскохозяйственным производством.

Анализ данных по поступлению тяжелых металлов из атмосферы на территорию агроландшафта показал, что поступление Cu на 60 % происходило с жидкими осадками, в то время как Pb и Ni поступали на поверхность почвы в основном с сухим потоком (табл.59).

Сопоставление полученных значений атмосферных выпадений с фоновым содержанием металлов в почвах свидетельствует о существенном привносе исследуемых элементов, как с жидким, так и с сухим потоками. Так, например, поступление Zn составило 0,3 мг/кг в год, что соответствует десятым долям процента среднего содержания этого металла в почвах.

На основании полученных при анализе удобрений данных по содержанию в них примесей тяжелых металлов проведена оценка количественного поступления их в почву при различных системах удобрения, с учетом материалов полевых опытов, которые длительное время проводятся на ЦОС ВНИИА в Домодедовском районе Московской области (Барыбино). Основной привнос Zn и Cu в почву происходит с атмосферными выпадениями, поступление этих элементов с удобрениями и известью составляет 2-10% от общего поступления. Исключение составляет применение органических удобрений, где процент от суммарного поступления составил для Zn – 61%, для Cu – 59%. Совершенно иная закономерность в приходной статье баланса выявлена для Pb, Cd и Ni. Основная масса этих элементов поступала в почву с удобрениями и известью.

Вынос элементов из почв с основной и побочной продукцией для Zn и Cu составил основную статью расхода (70-90%) суммарного выноса. Для Pb, Cd и Ni вынос урожаем был примерно равен потерям элементов в результате внутрипочвенного стока. Биологический вынос элементов был обусловлен величиной урожая и концентрацией металлов в сельскохозяйственных культурах. На базе полученных данных рассчитан баланс тяжелых металлов в длительных полевых опытах (табл.60).

Баланс показал, что для всех металлов привнос элементов превышает вынос, то есть, происходит аккумуляция в поверхностном слое почвы. Однако при этом содержание тяжелых металлов в почве в течение 25-30 лет ведения сельскохозяйственного производства сохраняется на уровне фонового. При сравнении запасов тяжелых металлов в пахотном слое с поступлением их в почву вследствие положительного баланса установлено, что произошло ежегодное увеличение содержания Cd - на 0,05-0,15% (0,0002-0,0005 мг/кг), Pb – на 0,1% (0,01 мг/кг), Ni - на 0,1% (0,01 мг/кг), Zn – на 0,4-0,5% (0,15-0,20 мг/кг), Cu – на 0,2% (0,035 мг/кг) от общего запаса.

На основании полученных данных о величине ежегодного поступления тяжелых металлов в агроценоз и оценки верхней и нижней границ средних запасов элементов в слое почвы 0-20 см было рассчитано количество лет, через которые

можно будет зафиксировать достоверное увеличение валового содержания металлов. Результаты расчетов показали, что при существующем балансе металлов в почве потребуется очень длительный период, измеряемый сотнями лет. Следовательно, современная научно обоснованная система удобрения в полевых севооборотах не является источником загрязнения почвы тяжелыми металлами.

Таблица 60

Баланс тяжелых металлов в почве при различных системах удобрения в длительных полевых опытах

Варианты опыта	Баланс									
	г/га в год					мг/кг почвы в год				
	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
Опыт 1										
Абс. контроль	890	190	21	0,3	14	0,30	0,06	0,007	0,0001	0,005
$N_{120}P_{270}K_{300}$-фон	895	195	33	1,7	20	0,30	0,06	0,011	0,0006	0,007
фон +$CaCO_3$ 2 г.к	925	205	90	1,7	68	0,31	0,07	0,030	0,0006	0,023
фон +$CaCO_3$ 3 г.к	950	210	115	1,8	93	0,32	0,07	0,038	0,0006	0,031
Опыт 2										
$CaCO_3$ 1 г.к. -фон	925	200	71	0,5	55	0,31	0,07	0,024	0,0002	0,018
фон+навоз 50т/га	1170	250	80	0,7	69	0,39	0,08	0,027	0,0002	0,023
фон NPK (экв.50 т/га навоза)	870	190	75	1,2	58	0,29	0,06	0,025	0,0004	0,019
Опыт 3										
$CaCO_3$ 1 г.к. - фон	915	195	49	0,5	37	0,31	0,06	0,016	0,0002	0,012
фон+$N_{650}P_{630}K_{860}$	890	190	66	2,5	52	0,30	0,06	0,022	0,0008	0,017
фон + $N_{650}P_{630}$	880	190	50	1,1	40	0,29	0,06	0,017	0,0004	0,013
фон + $P_{630}K_{86}$	910	195	66	2,5	50	0,31	0,06	0,022	0,0008	0,017

В результате проведенных исследований выявлена весьма актуальная проблема, связанная, с одной стороны с необоснованными утверждениями о загрязнении почвы тяжелыми металлами в результате применения минеральных удобрений и мелиорантов, с другой - с вопросами разработки рекомендаций по внесению в дерново-подзолистые почвы микроэлементов (в частности Zn и Cu). Для получения достоверных результатов необходима комплексная оценка, опирающаяся на балансовые расчеты. Без учета приходных или расходных статей складывается совершенно неверное представление о реальной необходимости внесения микроэлементов в почву, в результате чего положительного эффекта от применения микроудобрений нет. Так, в почвах, исследуемой территории с

системами удобрений, широко распространенными для дерново-подзолистых почв Московской области и других регионов, сложился положительный баланс Zn и Cu. При этом ежегодный прирост содержания Zn составляет 0,87-1,17 кг/га, для Cu изменяется от 0,2 до 0,25 кг/га. Результаты баланса свидетельствуют о нецелесообразности внесения этих микроэлементов, так как идет постоянный процесс обогащения ими почвы.

Обухов А.И., Попова А.А. (1992) произвели исследования баланса ТМ в агроценозе на дерново-среднеподзолистых окультуренных почвах тяжелого механического состава на покровных суглинках (Солнечногорский район Московской области). Поле – водораздельная территория рек Сходни и Клязьмы, площадью 80 га, охвачено системой искусственного дренажа.

Баланс тяжелых металлов в агроценозе свидетельствует о том, что основной источник поступления ТМ – удобрения (табл. 61). В целом баланс тяжелых металлов положительный. Однако ежегодное накопление в почве тяжелых металлов составляет сотые и тысячные доли от среднего фонового их содержания и в настоящее время существенного отрицательного значения не имеет. Система удобрений, при которой среднегодовые дозы составляли : 15 т/га навоза, 1 т/га извести и $N_{100}P_{90}K_{60}$ не оказала существенного влияния на содержание валовых форм ТМ в почве.

Балансовые расчеты ТМ в почвах Московской области показывают, что не наблюдалось непосредственной опасности загрязнения почв тяжелыми металлами за счет применения минеральных, органических удобрений, известкования и фосфоритования на уровне 1981-1990 годов. Однако ненормированное применение осадков сточных вод в качестве органических удобрений может приводить к избыточному накоплению токсических элементов в почве и ухудшать качество сельскохозяйственной продукции (табл. 62).

Так, например, за период 1981-1990 годов баланс кадмия в земледелии Московской области был положительным и составил + 22,6 г/га или 0,007 мг/кг почвы в год. Одновременно в районах, применяющих осадки сточных вод, накопление кадмия составило уже +51,6 г/га или 0,02 мг/кг ежегодно или в 2,8 раза выше.

Таблица 61

Баланс тяжелых металлов в агроценозе (Обухов А.И., Попова А.А.)

Элементы	Поступление на поверхность почвы					Вынос из почвы			Баланс	
	Атмосферные выпадения		Удобрения и мелиоранты	Посевной материал	Суммарный приход	Урожай с.-х. растений	Внутрипочвенным стоком	Суммарный расход	г/га в год	мг/кг почвы
	жидкие	твердые								
Zn	32	48	963	2,5	1046	90	6	96	950	0,3
Pb	8	13	77	0,07	98	3	4	7	91	0,03
Cd	0,5	0,5	9	0,01	10	0,4	0,3	0,7	9,3	0,003
Cu	4	6	162	0,7	173	18	3	21	151	0,05
Fe	16	1622	4636	3,5	6278	233	14	247	6031	2,1
Mn	33	38	2493	1,9	2546	121	12	133	2413	0,8
Ni	6	9	93	0,07	108	6	3	9	99	0,03

Таблица 62

Баланс тяжелых металлов в агроценозе некоторых районов Московской области, применяющих осадки сточных вод (по данным за 1987 год)

Районы	Баланс тяжелых металлов с учетом применения осадков сточных вод, +г/га / мг/кг					
	Pb	Zn	Cu	Cd	Ni	Cr
Балашихинский	8277 2,8	141102 47,0	19632 6,5	1612 0,5	6349 2,1	39635 13,0
Люберецкий	674 0,2	13160 4,4	4719 1,6	624 0,2	1226 0,4	3586 1,2
Ленинский	606 0,2	14469 4,8	3107 1,0	512 0,2	1552 0,5	5584 1,9
Щелковский	369 0,1	2254 0,8	2534 0,8	69 0,02	922 0,3	1340 0,4
Домодедовский	150 0,05	1738 0,6	237 0,08	55 0,02	200 0,07	397 0,1

В районах же с интенсивным и не контролируемым применением этой формы органических удобрений среднегодовое превышение прихода кадмия над его расходом составило по районам : Балашихинскому +1612 г/га или 0,54 мг/кг, Ленинскому + 512 г/га или 0,2 мг/кг, Люберецкому + 524 или 0,2 мг/кг почвы. То есть, в этих районах интенсивность накопления кадмия в почве в 30-70 раз выше, чем в среднем по области. Следствием такого неблагоприятного

баланса кадмия стала необходимость проведения детоксикационных мероприятий с целью получения пригодной для приготовления пищевых продуктов и кормов растительной продукции. Аналогичная, но менее острая ситуация возникла и с загрязнением почвы цинком.

Химический состав осадков сточных вод г. Москвы и некоторых городов Московской области свидетельствует о том, что даже среднее содержание в них может превышать фоновое в почве для Cd в 30 раз, Zn в 60 раз, Cu в 25 раз, As – в 20 раз. Максимальное же содержание этих элементов может быть еще в 2-3 раза выше.

Таблица 63

Прогноз загрязнения почв тяжелыми металлами в некоторых хозяйствах Нижегородской области

Тяжелые металлы	Валовое содержание ТМ в почве, мг/кг	Запас ТМ в пахотном слое почвы, кг/га	Ежегодное поступление ТМ на поверхность почвы, кг/га	Ежегодное поступление ТМ в % от запаса их в почве	Запас ТМ в пахотном слое, соответствующий ПДК, кг/га	Время достижения ПДК, лет
с/х «Россия» Кстовского района						
Cd	0,40	1,2	0,019	1,60	9,0	474
Pb	8,67	26,0	0,086	0,33	96,0	1116
Zn	26,34	79,0	0,090	0,11	255,0	2833
Cu	9,1	27,3	0,023	0,08	185,0	8087
Ni	23,19	69,6	0,119	0,17	105,0	882
Cr	11,33	34,0	0,112	0,33	-	-
с/х «Ильич» Д – Константиновского района						
Cd	0,41	1,2	0,016	1,33	9,0	563
Pb	8,7	26,1	0,079	0,30	96,0	1215
Zn	27,0	81,0	0,107	0,13	255,0	2383
Cu	8,65	26,0	0,028	0,107	186,0	6643
Ni	30,5	91,5	0,109	0,12	105,0	963
Cr	13,16	39,5	0,094	0,24	-	-

Проведено также определение баланса тяжелых металлов в почвах Нижегородской области. Для расчета приходных и расходных статей баланса использована среднегодовая информация за период 10 лет. Данные баланса свидетельствуют о том, что он положительный, но период времени для достижения ПДК ТМ в почве измеряется сотнями и даже тысячами лет (табл. 63). Результа-

ты расчёта свидетельствуют о том, что ежегодное поступление свинца, цинка, меди, никеля и хрома составляет десятые доли процента от запаса этих элементов в почве. В целом же можно констатировать, что в настоящее время существенной опасности загрязнения почвы тяжелыми металлами нет, что и подтверждено результатами агрохимического обследования почв области.

Таким образом, расчет баланса ТМ позволяет определить состояние экологической обстановки в отношении загрязнения почв ТМ и дать научно-обоснованный прогноз о вероятной опасности ухудшения ситуации. Задача в состоит в том, чтобы при расчетах была максимально использована достоверная информация о содержании ТМ во всех объектах как приходной, так и расходной частей баланса.

В целом для большинства регионов характерен очень слабо положительный баланс ТМ в почве, что и подтверждают агрохимические обследования на содержание ТМ в почве.

ГЛАВА 7

БАЛАНС КАЛЬЦИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Для оценки состояния режима оснований и направленности изменения кислотности почв производится расчет баланса кальция, а точнее баланса оснований (суммы кальция и магния) в почве. Преимущественно потери оснований, приводящие к подкислению среды в почве, на 75-85% представлены кальцием, поэтому принят термин – баланс кальция.

Баланс кальция состоит из приходных и расходных статей. Приходные статьи баланса включают поступление кальция и магния с известковыми и органическими удобрениями и фосфоритной мукой. Расходные статьи баланса включают вымывание из почвы карбонатов (с суммарным выносом карбонатов кальция и магния в пересчете на $CaCO_3$) и выноса урожаями.

Содержание кальция в атмосферных осадках в расчет не принимается, так как этот элемент находится в них в неактивной форме и на кислотность почвы

существенного влияния не оказывает. Затраты кальция на нейтрализацию физиологически кислых форм минеральных удобрений учтены при определении потерь этого элемента при вымывании.

В качестве примера приведем результаты расчета баланса кальция по Нечерноземной зоне, Московской, Владимирской и Смоленской области за 1993 год (табл. 64). Приведённые данные показывают, что в 1993 году баланс кальция в Нечерноземной зоне, Владимирской и Смоленской области был отрицательным, и шло подкисление среды в почве, в Московской области, наоборот, почва обогащалась основаниями.

Таблица 64

Регион, область	Поступление с известковыми удобрениями и фосфоритной мукой	Суммарные потери карбонатов из почвы	Баланс $CaCO_3$
	тысяч тонн $CaCO_3$		
Нечерноземная зона	6775	10583	- 3808
Московская область	776	331	+ 445
Владимирская область	376	508	- 132
Смоленская область	251	473	- 222

На рисунке 3 приведён баланс кальция в земледелии Российской Федерации за последние 40 лет. Данные свидетельствуют о том, что лишь краткосрочный период в конце 80-х годов и начале 90-х годов прошлого столетия он был положительным, что привело к снижению площадей кислых почв. В настоящее время он стал резко отрицательным и идет подкисление среды в почве со средней скоростью 0,02-0,03 pH в год.

Для сравнения целесообразно сопоставить Российский баланс кальция с таковым Республики Беларусь. Расчеты баланса кальция в Республике Беларусь использованы при составлении прогноза состояния кислотности. В республике проведены семь циклов известкования при средней суммарно внесенной дозе 17,0 т $CaCO_3$ на гектар интенсивно используемых земель (в среднем + 150 кг/га в год). Всего было затрачено около 2 млрд. в пересчете на доллары США.

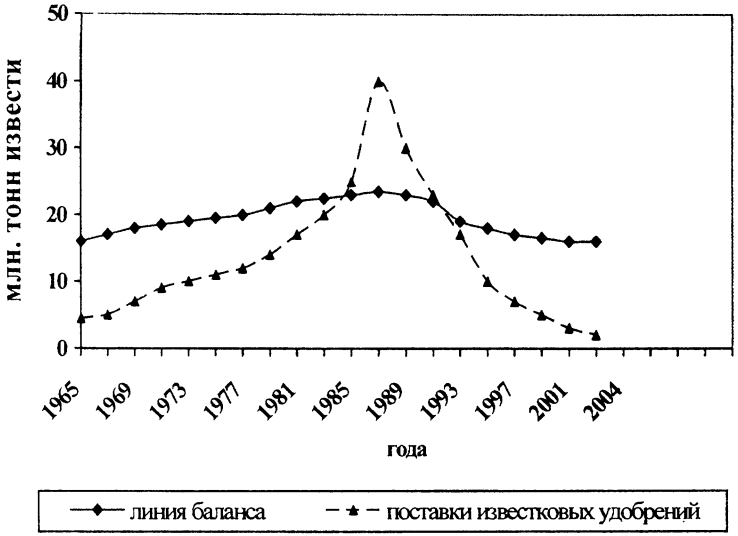

Рис. 3 Баланс кальция в земледелии Российской Федерации за 1956-2005 гг.

Таблица 65

Прогноз наличия кислых почв на пашне Республики Беларусь на 2020 год при различной интенсивности известкования и применения удобрений

Год	$CaCO_3$ в год, млн т	NPK, кг/га	Наличие почв по группам кислотности, %							Средневзвешенный pH
			<4.51	4,51-5,0	5,01-5,5	5,1-6,0	6,01-6,50	6,51-7,0	7,0 и более	
2000	-	-	1,3	4,4	13,1	28,0	36,9	13,6	2,8	5,99
2020	2,5	250	0,8	3,2	10,5	30,0	43,0	10,0	2,5	6,00
2020	2,5	150	0,8	3,0	10,0	29,0	44,7	10,0	2,5	6,02
2020	1,5	250	1,0	4,3	13,0	35,0	34,2	10,0	2,5	5,95
2020	1,5	150	1,0	4,0	12,5	33,0	37,0	10,0	2,5	5,97
2020	0	0	5,0	11,0	30,0	30,0	13,5	8,0	2,5	5,81

Интенсивная работа по химической мелиорации кислых почв Беларуси, создавшая положительный баланс кальция, нашла отражение в резком сокращении количества кислых почв : доля почв 1-ой группы кислотности на пашне упала за последние 35 лет в 23 раза, почв 2-ой группы кислотности в 7,5 раз, на почвах сенокосов и пастбищ доля этих почв уменьшилась соответственно в 12 и 4 раза.

Средний урожай зерновых в республике в 2004 году составил 36 ц/га, а в трех областях – 55-60 ц/га.

В результате систематического применения доломитовой муки в почве Беларуси сложился положительный баланс магния, и содержание подвижных форм этого макроэлемента за последние 25 лет удвоилось, что практически сняло проблему внесения магнийсодержащих удобрений. Средневзвешенное содержание обменного магния в настоящее время составляет в среднем около 200 мг на кг почвы (при первом агрохимическом обследовании почв оно равнялась 109 мг/кг). В таблице 65 приведен прогноз изменения кислотности почв Беларуси на 2020 год.

ГЛАВА 8

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ БАЛАНСА КАЛЬЦИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Для оценки состояния режима оснований и направленности изменения кислотности почв производится расчет баланса кальция, а точнее баланса оснований (суммы кальция и магния) в почве. Преимущественно потери оснований, приводящие подкислению среды в почве, на 75-85% представлены кальцием, поэтому принят термин – баланс кальция.

Содержание кальция в атмосферных осадках в расчет не принимается, так как этот элемент находится в них в неактивной форме и на кислотность почвы существенного влияния не оказывает. Затраты кальция на нейтрализацию физиологически кислых форм минеральных удобрений учтены при определении потерь этого элемента при вымывании в таблице 68. При положительном балансе кальция можно определить ожидаемый положительный сдвиг pH, используя «Нормы расхода известковых материалов для сдвига реакции почвенной среды до оптимального уровня pH на различных типах почв, Москва, 1986» или для Московской области использовать материалы таблицы 66.

Баланс кальция состоит из приходных и расходных статей.

Таблица 66

Норматив расхода $CaCO_3$ (т/га) для сдвига pH на 0,1

Тип почвы, угодья	Исходное значение pH почвы	Расход $CaCO_3$ для сдвига pH на 0,1 (т/га)
Дерново-подзолистые и серые лесные пахотные почвы	менее 4,5	0,75
	4,6 – 5,0	0,91
	5,1 – 5,5	1,30
	> 5,6	1,95

Таблица 67

Содержание $CaCO_3$ в известковых, органических и минеральных удобрениях (средняя, нейтрализующая способность)

Удобрение	$CaCO_3$, %	Удобрение	$CaCO_3$, %
Мука известняковая пылевидная из месторождений:		туф известковый	80
		мергель	50
Воскресенское	85	цементная пыль	60
Песковское	93	сланцевая зола	60
Серпуховское	92	фосфоритная мука	22
Домодедовское (магнезиальное)	100	бесподстилочный навоз КРС (на сырое вещество)	0,53
Щуровское	90		
Щелковское (доломитовое)	95	навоз свиной	0,65
Судогодское (доломитовое)	100	птичий помет	2,55
Мука доломитовая из месторождений:		Сапропель	30
ковровское	98	Торф с pH более 6.0	3
владимирское	100		
скрипинское	99		
добрятинское	100		

Приходные статьи баланса включают поступление Ca и Mg с известковыми материалами, органическими удобрениями и фосфоритной мукой (табл. 67). ***Расходные статьи*** баланса включают вымывание из почвы карбонатов (табл. 68) и выноса урожаями (табл.69). При использовании данных таблицы 69 следует использовать графу с суммарным выносом карбонатов кальция и магния в пересчете на $CaCO_3$.

Таблица 68

Ориентировочные размеры вымывания $CaCO_3$ из почвы (кг/га) в год

Угодья	Гранулометрический состав почв					
	глинистый, суглинистый			песчаный, супесчаный		
	уровень применения минеральных удобрений, кг/га д.в.					
	до 100	100-250	> 250	до 100	100-250	> 250
почвы с pH > 5,5						
Пашня	200	350	500	400	500	600
Сенокосы и пастбища	100	200	300	200	300	400
почвы с pH 4,6 - 5,5						
Пашня	150	300	400	350	450	550
Сенокосы и пастбища	80	150	200	150	250	350
почвы с pH 4,5 и менее						
Пашня	120	250	350	300	400	500
Сенокосы и пастбища	70	120	180	120	200	300
мелиорируемые и орошаемые почвы						
Пашня	400	500	600	500	600	800
Сенокосы и пастбища	200	300	400	400	500	600

Средневзвешенный показатель pH для Московской области 5,4. Значит, ежегодный сдвиг pH составит:

$$\frac{445}{1300 \cdot 10} = + 0{,}03,$$

где 445 кг/га $CaCO_3$ - баланс кальция; 1300 кг/га - норматив расхода $CaCO_3$, 10 – коэффициент для пересчета в единицы pH;

Средневзвешенный показатель pH для Смоленской области составляет 4,9. Значит, ежегодный сдвиг pH составит:

$$\frac{-222}{910 \cdot 10} = - 0{,}02,$$

где – 222 кг/га $CaCO_3$ – баланс кальция, 910 кг/га – норматив расхода $CaCO_3$, 10 – коэффициент для пересчета в единицы pH.

Таблица 69

Средний вынос урожаем из почвы (кг на 1 т продукции) кальция и магния и их сумма в пересчете на карбонаты

Культуры *	$CaCO_3$**	$MgCO_3$**	Сумма карбонатов*** в пересчете на $CaCO_3$
Озимая рожь	8,8	6,0	15,9
Озимая пшеница	6,3	6,5	17,0
Яровая пшеница	5,6	7,8	14,9
Яровой ячмень	7,7	6,3	15,2
Овес	9,7	7,2	18,3
Гречиха	18,0	8,5	28,1
Горох	31,5	10,0	43,4
Лен долгунец	17,1	16,4	36,6
Картофель (клубни)	0,5	1,0	1,7
Кормовые корнеплоды	0,5	1,0	1,7
Кормовой люпин (зел.масса)	2,9	1,5	5,6
Клевер красный (сено)	42,2	19,0	64,8
Люцерна (сено)	45,5	7,8	54,8
Многолетние травы (сено)	27,0	12,5	41,9
Однолетние травы	30,0	10,6	42,6
Луговые бобово-злаковые травы (сено)	17,1	10,2	29,2
Луговые злаковые травы (сено)	7,2	5,0	13,2
Капуста	1,3	0,8	2,3
Морковь	2,2	1,6	4,1

**зерновые – зерно + солома, корне-, клубнеплоды, овощи – сырая масса*

*** из произвесткованных почв вынос кальция и магния на 10-20%;*

**** на почвах с pH >5,5 вынос кальция и магния урожаем увеличивать на 20%*

**** на почвах с pH < 4,5 вынос кальция и магния урожаем снижать на 20 %*

ГЛАВА 9

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ БАЛАНСА МАГНИЯ В ПОЧВЕ

Баланс магния отражает состояние обеспеченности почвы и растений магнием и является средством научного обоснования потребности хозяйства, района и области в целом в магниевых удобрениях. Отрицательный баланс магния указывает на возможность истощения почв доступными формами и на необходимость безотлагательного применения магнийсодержащих удобрений для его восстановления и увеличения.

При составлении баланса учитывались все приходные и расходные статьи магния в почве.

Приходная часть баланса. В практике земледелия магний поступает в почву, главным образом, с магнийсодержащими известковыми удобрениями; доломитовой (до 50% $MgC0_3$), доломитизированной (25-15%) и магнезиальной (15-10% $MgCO_3$) известняковой мукой, а также местными залежами рыхлых пород и металлургическими шлаками. Например, в Московской области из шести предприятий, обеспечивающих область известковыми удобрениями, только в доломитовой муке Щелковского комбината содержится от 18 до 22% MgO, в известняковой муке Воскресенского завода около 6,7%, Песковского 3,3%, а Серпуховского всего лишь 1,3%.

Второй существенной приходной статьей в балансе магния является поступление его с органическими удобрениями. В безподстилочном навозе крупного рогатого скота содержание MgO составляет 0,08% на сырое вещество, в свином 0,1%, в птичьем помете 0,4%. Торф низинный, содержащий до 0,13% MgO, следует учитывать лишь в составе органоминеральных компостов.

Третья часть приходных статей - магнийсодержащие минеральные удобрения, (калимагнезия 8-12% MgO, эпсомит 14% MgO, каинит 6-7% MgO), но в земледелии доля их участия незначительна.

Поступление магния с атмосферными осадками ничтожно мало и при составлении баланса не учитывается.

Расходная часть. Основной расходной статьей является вымывание этого элемента из пахотного слоя, фильтрующимися атмосферными осадками. По данным многолетних лизиметрических исследований из дерново-подзолистых пахотных почв независимо от их гранулометрического состава в среднем вымывается 40-60 кг/га MgO в год, а на лугах 30-45 кг/га MgO. Эти величины позволяют рассчитать ориентировочные потери магния с фильтрующимися водами с любой площади пашни, сенокосов и пастбищ.

Второй расходной статьей магния в балансе является вынос урожаями сельскохозяйственных культур. Он рассчитывается по величине урожая, умноженной на содержание в растительной продукции магния (табл.70). Ориентировочно для полевых севооборотов (50% зерновых, 40% однолетних и многолетних трав, 10% пропашных) с 10 т в пересчете на зерновые единицы продукции отчуждается из почвы 3-4 кг MgO.

Таблица 70

Среднее содержание магния в основных сельскохозяйственных культурах

Культура	кг MgO на 1т продукции	Культура	кг MgO на 1т продукции
Озимая рожь*	2,5	Кормовые корнеплоды	0,5
Озимая пшеница*	3,2	Люпин (зеленая масса)	0,7
Яровая пшеница*	3,2	Клевер красный (сено)	7,7
Яровой ячмень*	2,5	Люцерна	3,2
Овес*	3,0	Многолетние травы (сено)	5,0
Гречиха*	3,5	Однолетние травы (сено)	4,3
Горох*	4,0	Капуста	0,3
Лен-долгунец*	6,7	Луговые бобово-злаковые травы (сено)	4,2
Сахарная свекла (корни)	0,5	Луговые злаковые травы (сено)	2,0
Картофель (клубни)	0,7		

**зерно и солома*

На примере земледелия в Московской области расчет баланса магния свидетельствует о том, что за короткий промежуток времени - 12 лет резкое уменьшение применения известковых и органических удобрений изменило слабо положительный баланс магния на резко отрицательный (табл.71).

Таблица 71

Баланс магния (MgO) в почвах Московской области в 1986 и 1999 годах

Статьи баланса	1986		1999	
	тыс.т	кг/га	тыс.т	кг/га
Приход				
Известковые удобрения	130,6		61,2	
Органические удобрения	19,2		8,7	
Магнийсодержащие удобрения	0,2		-	
Всего	150,0	89,8	69,9	41,8
Расход				
Вымывание	88,0		79,2	
Вынос урожаями	43,8		21,7	
Всего	131,8	78,9	100,9	60,4
Баланс	+18,2	+10,9	-31,0	-18,6

Прогноз содержания магния в почве

Прогноз изменения содержания обменного магния в почве производится по формуле: **У = а - б · х,** где **у** - содержание магния в почве на прогнозируемый период мг/кг; **а** - исходное содержание мг в почве, мг/кг; **б** - среднегодовые потери мг из почвы, мг/кг; **х** - прогнозируемый период, лет.

Расчет потребности в магнийсодержащих удобрениях производится с учетом следующих градаций почв по содержанию обменного Mg (табл. 72).

Таблица 72

Градация дерново-подзолистых почв по содержанию обменного магния

Уровень обеспеченности	Песчаные и супесчаные		Суглинистые и Тяжелосуглинистые	
	мг MgO на 1 кг почвы	мэкв MgO на 100 г почвы	мг MgO на 1 кг почвы	мэкв MgO на 100 г почвы
Очень низкий	менее 40	менее 0,2	менее 80	менее 0,4
Низкий	41-80	0,2-0,4	81-120	0,4-0,6
Средний	81-120	0,4-0,6	121-160	0,6-0,8
Повышенный	121-160	0,6-0,8	161-200	0,8-1,0
Высокий	161-200	0,8-1,0	201-240	1,0-1,2
Очень высокий	более 200	более	более 240	более 1,2

За 2 года почвы Московской области теряют более 1,0 мг MgO на 100 г почвы. При таком балансе почвы со средним уровнем обеспеченности обменным магнием (для песчаных почв 80-120 мг MgO на 1 кг почвы) перейдут в категорию с низким уровнем обеспеченности этим питательным элементом (40-80 мг MgO на 1 кг почвы) через 4-6 лет. Компенсация потерь магния за счет его мобилизации на песчаных почвах ничтожно мала. При очень низком содержании обменного магния в почве (менее 40 мг MgO на 1 кг почвы) за этот период запас подвижных соединений этого питательного элемента в почве может быть полностью исчерпан, он перейдет в первый минимум и без внесения магниевых удобрений земледелие станет невозможным.

В настоящее время вследствие резкого снижения применения известковых удобрений баланс магния в почвах Московской области отрицательный.

ГЛАВА 10

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ pH ОТ ДОЗ ИЗВЕСТИ И ДИНАМИКА ПРОИЗВЕСТКОВАННЫХ ПОЧВ ПО ОБОБЩЁННЫМ ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

Оптимизация темпов известкования почв должна сопровождаться созданием и поддержанием заданного уровня реакции почв. Только в этом случае будет получена наивысшая оплата урожаем затрат на химическую мелиорацию почв Нечерноземной полосы. Нормативы расхода известковых удобрений для получения планируемых значений pH являются базой при установлении научно обоснованной потребности в известковых удобрениях.

Цель настоящих исследований состояла в изучении влияния доз извести на смещение величины pH в разных по гранулометрическому составу и уровню кислотности почвах.

Исследования проводили методом обобщения результатов полевых опытов с разными дозами извести. Обобщены опытные данные научно-исследовательских учреждений и опытных сельскохозяйственных станций Нечерноземной зоны (преимущественно сильно, реже среднекислых) почв дерно-

во-подзолистого типа различного механического состава в типичных севооборотах, на фоне применения минеральных и органических удобрений (Шильников И.А., Колосова А.Ф., Щелкунова А.А., 1981). Всего обобщено 569 полевых опытов с дозами извести на почвах различного гранулометрического состава и исходной кислотности, из которых в 182 опытах почвы супесчаные (иногда песчаные), в 228 – легкосуглинистые, в 96 - среднесуглинистые и в 63 - тяжелосуглинистые. Помимо непосредственного действия извести на сдвиг pH учитывалось и её последействие в течение шести лет.

Дозы извести в опытах колебались в следующих пределах: на легких почвах (супесчаных, суглинистых) от 1 до 18 т/га (преимущественно 2,5-9 т), среднесуглинистых от 2 до 12 т (преимущественно 3-12 т) и тяжелосуглинистых от 3 до 12 (преимущественно 3-6,5 т/га $CaCO_3$). Сделанный отбор данных случаен, что в сочетании с объемом выборки характеризует её репрезентативность.

Исследования методом обобщения данных полевых опытов с дозами извести показали, что во всех опытах известкование (как прямое действие извести, так и последействие) на фоне различной насыщенности минеральными и органическими удобрениями способствовало снижению кислотности почв и увеличению значения pH.

В целях выяснения связи между дозами извести и изменением (сдвигом) величины pH, установления силы (тесноты) и направления этой связи проведен корреляционный анализ. Анализу были подвергнуты данные 569 полевых опытов с предварительным разделением их на три группы с учетом гранулометрического состава почв: супесчаные (+ песчаные), суглинистые (+ легкосуглинистые) и тяжелосуглинистые.

В результате проведенного корреляционного анализа установлено, что имеется отчетливая прямая связь между дозами извести ($CaCO_3$ т/га) и сдвигом pH (ΔpH): с увеличением дозы извести увеличивается и сдвиг pH; это наблюдается, как при прямом действии извести, так и её последействии. Фактически полученные коэффициенты корреляции (R) следующие : 0,76 для супесчаных, 0,61 для суглинистых и 0,61 для тяжелосуглинистых почв.

Для наиболее полного изучения сопряженности между изучаемыми признаками и определения сдвига pH при изменении дозы извести на единицу измерения (1 т/га) был проведен регрессионный анализ. Получены следующие уравнения регрессии: для супесчаных почв $y = 0{,}2787x - 0{,}00919x^2$; суглинистых $y = -0{,}361 + 0{,}541x^{0{,}5}$ и тяжелосуглинистых $y = -0{,}468 + 0{,}454x^{0{,}5}$, где y - величина сдвига pH от извести, x - доза $CaCO_3$, т/га.

По уравнениям регрессии вычислены расчетные (теоретические) сдвиги pH, которые и являются основой суждения о закономерности действия извести, наблюдающейся в опытах. По уравнениям регрессии представлялось возможным вычислить ожидаемое смещение pH и по тем дозам извести, которые не изучались в опытах, но лежали в интервале доз изучавшихся в опытах.

Как видно из таблицы 73 при внесении одной и той же дозы извести наибольший сдвиг pH (общий от 1 т $CaCO_3$) происходил на супесчаных почвах, наименьший – на тяжелосуглинистых; показатели смещения реакции суглинистых почв занимали промежуточное положение. В то же время, расход извести на сдвиг pH на 0,1 был наибольшим на тяжелосуглинистой почве и почти в 2 раза меньше на супесчаной почве.

Таблица 73

Влияние известкования на смещение реакции дерново-подзолистой почвы и расход извести на сдвиг pH на 0,1

Доза извести,	Супесчаная почва			Суглинистая почва			Тяжелосуглинистая почва		
т/га	1*	2	3	1	2	3	1	2	3
3	0,75	0,25	0,40	0,57	0,19	0,53	0,32	0,11	0,94
4	0,97	0,24	0,41	0,72	0,18	0,55	0,44	0,11	0,91
5	1,16	0,23	0,43	0,85	0,17	0,59	0,55	0,11	0,91
6	1,34	0,22	0,45	0,96	0,16	0,62	0,64	0,11	0,94
7	1,50	0,21	0,47	1,07	0,15	0,65	0,73	0,10	0,96
8	1,64	0,20	0,49	1,17	0,15	0,68	0,81	0,10	0,99
9	1,76	0,19	0,51	1,26	0,14	0,71	0,89	0,10	1,01
10	1,86	0,19	0,54	1,35	0,13	0,74	0,97	0,10	1,03
11	1,95	0,18	0,56	1,43	0,13	0,77	1,03	0,09	1,07
12	2,02	0,17	0,59	1,51	0,12	1,79	1,10	0,09	1,09

**Примечание: в графе 1-общий сдвиг pH; в графе 2–сдвиг pH от 1 т/га $CaCO_3$; в графе 3 – расход $CaCO_3$ тга на изменение pH на 0,1*

По мере увеличения доз извести по каждой группе почв возрастала величина общего сдвига pH, но уменьшался сдвиг pH от 1 т $CaCO_3$, одновременно увеличивался расход извести на смещение pH на 0,1. Например, от внесения трёх тонн извести на супесчаной почве сдвиг pH составил: общий 0,75, от одной тонны $CaCO_3$ 0,25. При изменении дозы извести с 3 до 12 т/га общий сдвиг возрос с 0,75 до 2,02 (в 2,7 раза), а сдвиг pH от 1 т извести, наоборот, уменьшился с 0,25 до 0,17 (в 1,5 раза); в тоже время увеличился расход извести на смещение pH на 0,1 с 0,40 до 0,59 т/га.

Аналогичную закономерность изменения реакции вызывает известкование и на тяжелосуглинистой почве: при изменении доз извести с 3 до 12 т/га общий сдвиг pH возрос с 0,32 до 1,10 (в 3,4 раза), сдвиг от 1 т $CaCO_3$ уменьшился с 0,11 до 0,09 (в 1,2 раза), одновременно увеличился расход $CaCO_3$ на смещение pH на 0,1 с 0,91 до 1,09 т/га. Однако на тяжелосуглинистой почве показатели сдвига pH (общего и от 1 т $CaCO_3$) почти в 2 раза ниже, а расход извести на смещение pH на 0,1 почти в 2 раза выше по сравнению с теми же показателями на супесчаной почве.

Установлена и определена прямая связь между дозами извести, выраженными в долях гидролитической кислотности, и сдвигом величины pH (коэффициенты корреляции: 0,69 для супесчаных почв, 0,57 для суглинистых и 0,50 для тяжелосуглинистых почв).

Как и в случае измерения доз извести в тоннах на гектар, выражение доз в долях гидролитической кислотности также показало, что сдвиг pH по каждой группе почв возрастал по мере увеличения дозы извести по гидролитической кислотности и тем больше, чем легче почва по гранулометрическому составу (табл.74).

Таким образом, метод обобщения действия различных доз извести в полевых опытах на смещение реакции (ΔpH) кислых дерново-подзолистых почв показал, что возрастание сдвига величины pH происходило по мере увеличения доз внесенной извести, но от каждой последующей дозы абсолютный сдвиг pH уменьшался, что выражалось в уменьшении сдвига pH от 1 т $CaCO_3$ и увеличении расхода извести на смещение pH на 0,1.

Таблица 74

Действие доз извести в долях гидролитической кислотности на смещение реакции дерново-подзолистой почвы

Доза извести, доли г.к.	Супесчаная почва		Суглинистая почва		Тяжелосуглинистая почва	
	1*	2	1	2	1	2
0,5	0,68	0,07	0,69	0,07	0,53	0,09
0,75	0,98	0,08	0,93	0,08	0,77	0,10
1,0	1,23	0,08	1,14	0,09	0,98	0,10
1,25	1,45	0,09	1,32	0,09	1,16	0,11
1,5	1,65	0,09	1,48	0,10	1,32	0,11
2,0	2,00	0,10	1,77	0,11	1,60	0,12

**Примечание: в графе 1- сдвиг pH; в графе 2 – расход $CaCO_3$ (доли г.к.) на изменение pH на 0,1*

Обобщены результаты полевых опытов, в которых проведены наблюдения за динамикой изменения pH произвесткованных почв по годам (до восьми лет) (рис. 4). В результате статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение, дающее хорошее приближение теоретических данных к фактическим:

$$У = 1{,}244\ x^{0{,}2787L\ -0{,}1968x}$$, где у- сдвиг pH; х – годы;
L = 2,718 – основание натуральных логарифмов

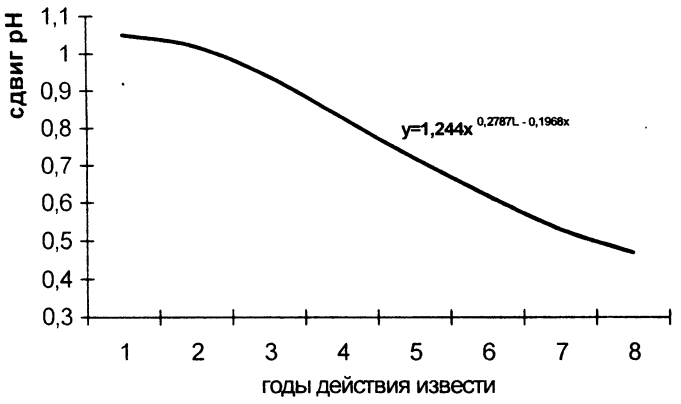

Рис. 4 Изменение сдвига величины pH произвесткованных почв во времени

В таблице 75 приведены сдвиги pH, фактически наблюдаемые по годам и рассчитанные по указанной формуле. Для 9-го и 10-го года, когда фактических наблюдений не было, вычислены ожидаемые сдвиги. Соответствие между фактическими и теоретическими данными характеризуется коэффициентом корреляции R = 0,995 ± 0,004, что говорит о хорошем их совпадении.

Таблица 75

Влияние извести ($CaCO_3$, т/га) на сдвиг pH дерново-подзолистой почвы во времени

Год действия извести	Количество образцов	Сдвиг pH		
		фактический	теоретический	
			ед. pH	%
1	164	1,02	1,02	100
2	124	1,00	1,02	100
3	125	0,98	0,94	92
4	78	0,83	0,83	82
5	49	0,70	0,73	71
6	35	0,62	0,63	62
7	15	0,55	0,54	53
8	28	0,46	0,46	45
9	-	-	0,39	38
10	-	-	0,33	32

Материалы, характеризующие динамику изменения pH произвесткованных почв за 10-летний период, свидетельствуют о том, что действие извести на реакцию почвы достигает максимума в первые два года. Затем происходит постепенное подкисление среды в почвы. В течение 5-летнего периода теряется примерно третья часть (29%) достигнутого сдвига реакции в щелочную сторону. Через 7-8 лет эта потеря уже достигает половины достигнутого в первые годы уровня pH. Эти данные могут быть использованы в практических условиях для планирования проведения повторного известкования. Преобладающими дозами извести в приведенных материалах были дозы $CaCO_3$ 4-6 т/га, т.е. наиболее часто применяемые в Нечерноземной зоне.

При рассмотрении данных о подкислении реакции произвесткованной почвы в динамике можно произвести условный расчет потерь ею кальция в пересчете на $CaCO_3$. Если реакция почвы за 7-8 летний период снизилась на 50%, то это косвенно свидетельствует о потере ею примерно половины внесенного карбона-

та кальция ~2 т/га. Следовательно, средняя ежегодная потеря за этот период составила 250-300 кг/га $CaCO_3$, что довольно близко к результатам лизиметрических исследований, проведенных лабораторией известкования почв ВНИИА в 1970-1998 гг. При использовании данных табл.75 следует иметь в виду, что в качестве фона при проведении полевых опытов ежегодные дозы минеральных удобрений составили преимущественно 40-60, реже 90-120 кг/га питательных элементов, навоза 4-6 т/га.

ГЛАВА 11

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕАКЦИИ СРЕДЫ В ПОЧВЕ МЕТОДОМ ЛАБОРАТОРНЫХ КОМПОСТОВ

Исследования проводились с использованием метода лабораторных компостов. Их цель состояла в изучении влияния доз извести на изменение реакции в зависимости от гранулометрического состава почвы и исходного уровня pH. При этом исследовалось время взаимодействия извести с почвой, при котором стабилизировалась её реакция, и применимость метода компостирования для определения доз извести в полевых условиях.

Дозы известковых удобрений устанавливали по гидролитической кислотности из расчета следующих её величин: 0,5, 1,0, 1,5, 2,0. Были приняты следующие сроки отбора проб почв для анализа: при кратковременном компостировании – ежедневно в течение декады; при длительном компостировании - ежедекадно в первые два месяца, в последующие - 1 раз в месяц. Кроме того, определяли pHсол. сухой почвы с навеской извести и влажной – сразу после внесения извести.

По прошествии четырех месяцев компостирования почвы с известью этот материал подсушивали, размалывали и использовали вновь для эксперимента с повторным внесением четырех доз того самого молотого известняка на каждом из созданных с определенной реакцией фонов. Дозы $CaCO_3$ были теми же, что и при закладке компостов на кислых почвах, т.е. по исходной гидролитической кислотности.

В качестве известкового удобрения использовали мелкую фракцию (<0,25 мм) известняка Веневского карьера, полученного путем размола породы невысокой твердости (100 – 250 кгс/см^2); нейтрализующая способность его 100% $CaCO_3$.

Таблица 76

Действие извести на изменение реакции дерново-подзолистой почвы с разным исходным уровнем pH

Доза извести в долях г.к. при известковании		pH		Общий сдвиг pH	Сдвиг pH от 1 т $CaCO_3$	Расход $CaCO_3$(т) на Δ pH на 0,1
1		2		3	4	5
первичном	повторном	в день закладки опыта	после компостирования			
Супесчаная почва						
Без извести	0	4,04	4,12	-	-	-
	0,5	4,61	4,91	0,79	0,25	0,40
	1,0	5,14	5,94	1,82	0,28	0,35
	1,5	5,72	6,39	2,27	0,24	0,42
	2,0	6,08	6,58	2,46	0,19	0,52
0,5	0	4,72	4,66	0,54	-	-
	0,5	5,41	5,63	0,97	0,30	0,33
	1,0	5,87	6,21	1,55	0,24	0,41
	1,5	6,27	6,55	1,89	0,20	0,51
	2,0	6,51	6,77	2,11	0,16	0,60
1,0	0	5,84	5,73	1,61	-	-
	0,5	6,25	6,27	0,54	0,17	0,59
	1,0	6,71	6,64	0,91	0,14	0,70
	1,5	6,83	6,88	1,15	0,12	0,83
	2,0	6,91	7,02	1,29	0,10	0,99
1,5	0	6,54	6,42	2,30	-	-
	0,5	6,84	6,77	0,35	0,12	0,91
	1,0	7,03	6,96	0,54	0,08	1,18
	1,5	7,15	7,11	0,69	0,07	1,39
	2,0	7,22	7,16	0,74	0,06	1,72
2,0	0	6,92	6,85	2,73	-	-
	0,5	7,06	7,24	0,39	0,12	0,82
	1,0	7,24	7,30	0,45	0,07	1,42
	1,5	7,31	7,39	0,54	0,06	1,77
	2,0	7,36	7,40	0,55	0,04	2,32

Окончание таблицы №76

Тяжелосуглинистая почва						
1		2		3	4	5
Без извести	0	4,21	4,23	-	-	-
	0,5	4,70	5,00	0,77	0,24	0,43
	1,0	5,42	5,73	1,50	0,22	0,45
	1,5	5,76	6,02	1,79	0,18	0,56
	2,0	6,11	6,52	2,29	0,17	0,58
0,5	0	5,09	5,32	-	-	-
	0,5	5,81	5,99	0,67	0,20	0,50
	1,0	6,19	6,41	1,09	0,16	0,61
	1,5	6,35	6,65	1,33	0,13	0,75
	2,0	6,55	6,86	1,54	0,11	0,87
1,0	0	6,00	5,90	-	-	-
	0,5	6,41	6,35	0,45	0,13	0,74
	1,0	6,69	6,61	0,71	0,10	0,94
	1,5	6,84	6,84	0,94	0,09	1,07
	2,0	6,96	6,95	1,05	0,08	1,28
1,5	0	6,56	6,36	-	-	-
	0,5	6,86	6,71	0,35	0,10	0,96
	1,0	6,91	6,90	0,54	0,08	1,24
	1,5	7,12	7,06	0,70	0,07	1,43
	2,0	7,16	7,05	0,69	0,05	1,94
2,0	0	6,79	6,67	-	-	-
	0,5	7,04	6,96	0,29	0,09	1,15
	1,0	7,22	7,04	0,37	0,05	1,81
	1,5	7,20	7,17	0,50	0,05	2,01
	2,0	7,22	7,20	0,53	0,04	2,53

Компостирование почвы с дозами извести проводили в термостате при t 28^{0}С. Компосты периодически поливали дистиллированной водой для поддержания относительной влажности почвы 50%. Для длительного компостирования почвы с известью использовали сосуды, вмещающие 6 кг почвы, для кратковременного – 400 г.

Общая закономерность взаимодействия извести с почвой в отношении влияния её доз на кислотность имела одинаковую направленность как в опытах первичного, так и повторного внесения извести.

Результаты исследований показали, что по мере увеличения доз извести возрастала величина pH и величина общего сдвига pH. В то же время, с каждой

последующей возрастающей дозой, по сравнению с предыдущей, величина абсолютного сдвига pH уменьшалась. Например, спустя 30 дней после закладки компостов тяжелосуглинистой почвы с возрастающими дозами извести от 0,5 до 2,0 г.к. сдвиг pH составил соответственно 1,01, 1,83, 2,35, 2,55. Однако абсолютный сдвиг реакции (ΔpH) по тем же дозам извести убывал и составил соответственно 1,01; 0,82; 0,52; 0,20, что и отразилось на уменьшении сдвига pH на 0,1 по мере возрастания её дозы.

Следует отметить, что сильный сдвиг pH от известкования отмечен даже при отсутствии компостирования почвы с известью в смеси сухой почвы и известняка. Это свидетельствует о том, что процесс взаимодействия почвы с известняком происходит и во время проведения анализа.

Проведённые с почвенными компостами исследования в случае повторного внесения извести свидетельствуют о влиянии доз извести на почве с разным исходным уровнем pH на изменение общего уровня pHсол., а также сдвига pH (таблица 76). На фоне pH исходной почвы от 4,04 до 6,79 при известковании происходило дальнейшее увеличение pH от всех изучаемых доз извести. Однако при внесении одной и той же дозы извести по мере повышения величины pH исходной почвы происходило уменьшение сдвига pH (общего и от 1 т $CaCO_3$) и, наоборот, увеличение расхода извести на смещение pH на 0,1.

Например, повторное известкование в дозе по 0,1 г.к. тяжелосуглинистой почвы с исходным уровнем pH 4,21; 5,09; 6,0; 6,56; 6,79, спустя 10 дней после компостирования, обеспечило повышение величины pH с 5,73 до 7,04, однако общий сдвиг pH уменьшился с 1,5 до 0,37, а сдвиг pH от 1 т $CaCO_3$ с 0,22 до 0,05; в то же время расход извести на смещение pH на 0,1 увеличился соответственно с 0,45 до 1,81 т/га.

Чем выше исходный уровень pH почвы, тем меньший абсолютный сдвиг pH достигался от каждой последующей увеличивающейся дозы извести. Так, при исходном уровне pH тяжелосуглинистой почвы 5,09 с повышением доз внесенной извести от 0,5 до 2,0 г.к. общий сдвиг pH составил 0,67; 1,09; 1,33; 1,54; абсолютный же сдвиг pH убывал и составил 0,67; 0,42; 0,24; 0,21. При ис-

ходном уровне pH почвы 6,79 абсолютный сдвиг pH от соответствующих доз извести упал до 0,29; 0,08; 0,13; 0,03.

Статистическая обработка экспериментальных данных показала, что между исходным уровнем pH почвы и сдвигом pH (общим и от 1 т $CaCO_3$) имеется тесная обратная корреляционная зависимость: коэффициенты корреляции составляли от 0,84 до 0,95.

При исходном уровне pH > 6,0, когда большинство культур не реагирует на известкование, применение извести уже не приводило к значительному изменению кислотности. В этом интервале pH наблюдался очень высокий расход $CaCO_3$ на смещение реакции почвы, который может привести к нарушению оптимального соотношения в почвенном растворе между кальцием и другими питательными элементами и бесцельному вымыванию кальция из корнеобитаемого слоя.

Сравнительное действие доз извести на смещение реакции почвы (ΔpH) по результатам полевого и лабораторного опытов показало, что по одной и той же дозе извести сдвиг pH в лабораторных условиях был значительно выше, а расход извести гораздо ниже, чем в полевых условиях (табл. 77). Разные условия внешней среды и техники внесения оказывали существенное влияние на смещение pH.

Таблица 77

Сравнительное действие доз извести на сдвиг pH в разных условиях постановки опытов

Доза извести, доли г.к.	Супесчаная почва				Тяжелосуглинистая почва			
	Полевые опыты		Лабораторные компосты*		Полевые опыты		Лабораторные компосты*	
	1	2	1	2	1	2	1	2
0,5	0,68	0,07	0,74	0,06	0,53	0,09	1,00	0,05
1,0	1,23	0,08	1,68	0,06	0,98	0,10	1,79	0,06
1,5	1,65	0,09	2,43	0,06	1,32	0,11	2,38	0,06
2,0	2,00	0,10	2,69	0,07	1,60	0,12	2,60	0,08

**данные после 90 дней компостирования;*

Примечание: в графе 1- ΔpH; 2 – расход $CaCO_3$ (в долях г.к.) на ΔpH на 0,1

Метод почвенных компостов с известью позволяет планировать уровни реакции для полевых условий, но требует введения эмпирических коэффициентов.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что цикличность агрохимического обследования пахотных почв должна быть не более 5 лет, иначе подкисление среды в почве может достигнуть значительного уровня и привести к снижению урожаев культур, особенно на фоне применения высоких доз минеральных удобрений. С этой же периодичностью следует планировать проведение повторного известкования на основе фактических анализов почв. При определении потребности в известковых удобрениях на пятилетие целесообразно использовать зависимость между смещением pH и дозами для конкретных условий региона.

Таким образом, по обобщениям данных полевых опытов и анализам почв лабораторных компостов можно сделать следующие выводы:

1. С увеличением доз извести повышается общий уровень pH почв и его сдвиг, как при прямом действии, так и последействии;
2. С увеличением доз извести снижается сдвиг pH от 1 т $CaCO_3$ и повышается расход извести на смещение pH на 0,1;
3. Действие извести на pH зависит от гранулометрического состава почвы и исходного уровня её реакции. Между исходным уровнем pH почвы и его сдвигом имеется тесная обратная корреляционная зависимость;
4. Действие извести на реакцию почвы достигает максимума в первые два года, затем наблюдается её постепенное подкисление. Через 7-8 лет достигнутый сдвиг реакции среды в щелочную сторону снижается на половину.

ГЛАВА 12

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАНИЯ ИЗВЕСТКОВАНИЯ С МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Изучение эффективности сочетания минеральных и известковых удобрений проводили в полном двухфакторном полевом опыте в Смоленском НИИСХ в трех повторениях (6 х 4 х 3 = 72 делянки) на 3-х полях. Площадь учетной делянки 48 м². Дозы удобрений возрастающие (6 доз извести, представленных в долях гидролитической кислотности от 0,5 до 2,5, полная доза - 8,3 т/га и 4 дозы NPK, включая нулевую и соответствующие трем уровням среднему – 1(NPK), повышенному – 2(NPK) и высокому – 3(NPK) (табл.78).

Таблица 78

Дозы минеральных удобрений в полевом севообороте

Культура	доза NPK	N	P_2O_5	K_2O
		кг, действующего вещества на 1 га		
Озимая пшеница	Средняя	45	45	45
	Повышенная	90	90	90
	Высокая	135	135	135
Ячмень + травы; Горохо - овсяная смесь	Средняя	45	30	45
	Повышенная	90	60	90
	Высокая	135	90	135
Лен	Средняя	20	45	60
	Повышенная	40	90	120
	Высокая	60	135	180
Картофель	Средняя	45	45	60
	Повышенная	90	90	120
	Высокая	135	135	180
Рожь	Средняя	30	30	30
	Повышенная	60	60	60
	Высокая	90	90	90

Примечание: клевер не удобряли

Почва дерново-подзолистая легкосуглинистая, слабоокультуренная. Агрохимические показатели почвы: pHсол. 4,0, Hг- 5,5 мг-экв., сумма поглощенных оснований 3,5 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 35%, содержание подвижного алюминия (по Соколову) 7 мг, подвижного фосфора (по Кирсанову) 8,5 мг, подвижного калия (по Масловой) 10 мг/100 г почвы, гумуса (по Тюрину) 2%. Чередование культур севооборота: озимая пшеница, ячмень с подсевом клевера, клевер, озимая рожь, лен, картофель, горохо-овсяная смесь.

Схема опыта

1. Без извести и NPK.
2. Ca 0.5 г.к.
3. Ca 1.0 г.к.
4. Ca 1.5 г.к.
5. Ca 2.0 г.к.
6. Ca 2.5 г.к.
7. NPK 1*
8. NPK 1 + Ca 0.5 г.к.
9. NPK 1 + Ca 1.0 г.к.
10. NPK 1 + Ca 1.5 г.к.
11. NPK 1 + Ca 2.0 г.к.
12. NPK 1 + Ca 2.5 г.к.
13. NPK 2
14. NPK 2 + Ca 0.5 г.к.
15. NPK 2 + Ca 1.0 г.к.
16. NPK 2 + Ca 1.5 г.к.
17. NPK 2 + Ca 2.0 г.к.
18. NPK 2 + Ca 2.5 г.к
19. NPK 3
20. NPK 3 + Ca 0.5 г.к.
21. NPK 3 + Ca 1.0 г.к.
22. NPK 3 + Ca 1.5 г.к.
23. NPK 3 + Ca 2.0 г.к.
24. NPK 3 + Ca 2.5 г.к.

**Примечание: для сокращения в таблицах слово известь заменено знаком - Ca, а дозы извести выражены в долях : 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 г.к., (NPK) - дозы минеральных удобрений в кодированных единицах от 1 до 3;*

Для определения динамики эффективного последействия факторов использовали следующую регрессионную модель:

$$У = A_0+A_1(NPK)^{0.5}+A_2(NPK)+A_3Ca^{0.5}+A_4Ca+A_5T^{0.5}+A_6T +$$
$$+A_7(Ca(NPK))^{0.5}+A_8(CaT)^{0.5}+A_9((NPK)T)^{0.5};$$

где: У –анализируемый параметр; Т - год последействия извести.

Исследования по изменению величины pH$_г$ гидролитической кислотности и суммы поглощенных оснований в почве в течение двух ротаций севооборота позволили выявить влияние возрастающих доз извести и минеральных удобрений, а так же их сочетаний на величину этих показателей дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

Известкование способствовало снижению кислотности почвы, причем эффективность мелиорации в значительной степени зависела от дозы внесения и срока взаимодействия извести с почвой. Максимальный сдвиг реакции почвенной среды наблюдался через два года последействия: величина pH в зависимости от дозы увеличилась с 4,3 - 4,4 до 4,8-6,1. Динамика изменения pH произвесткованных почв за 7-летний период свидетельствует о том, что наибольшая нейтрализация кислотности почвы обеспечивалась дозами извести, рассчитанными по 2,0 и 2,5 г.к.

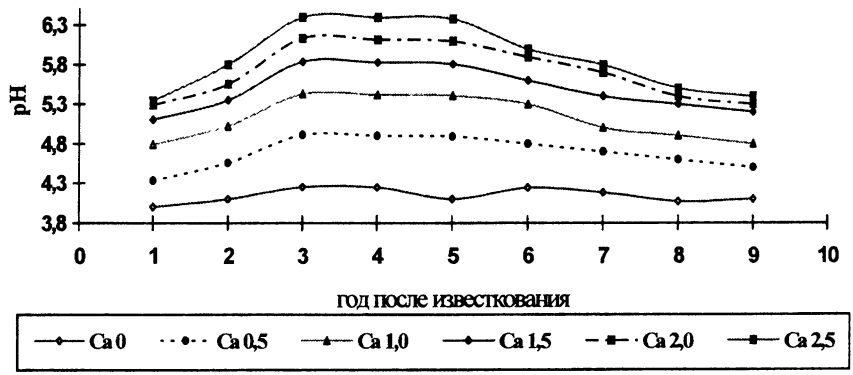

Рис. 5 Изменение реакции почвенной среды после известкования

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить регрессионную модель изменения основных агрохимических параметров в длительном последействии известкования и систематического применения минеральных удобрений. Регрессионные модели зависимости величины pH от изучаемых факторов в зависимости от срока действия извести имеют следующий вид:

$$pH_1 = 4{,}25+0{,}92Ca-0{,}16Ca^2;\ R=0{,}95 \quad (1)$$

$$pH_2 = 4{,}33+0{,}97Ca-0{,}15Ca^2;\ R=0{,}95 \quad (2)$$

$$pH_3 = 4{,}18+1{,}17Ca-0{,}2Ca^2;\ R=0{,}95 \quad (3)$$

$$pH_4 = 4{,}12 - 0{,}02(NPK)^2+1{,}42Ca - 0{,}22Ca^2;\ R=0{,}992 \quad (4)$$

$$pH_5 = 4{,}51-0{,}03(NPK)+0.86Ca - 0.14Ca^2 - 0{,}02(NPK \cdot Ca);\ R=0{,}997 \quad (5)$$

$$pH_6 = 4{,}25+1{,}24Ca -0{,}2Ca^2;\ R =0{,}96 \quad (6)$$

$$pH_7 = 4{,}42 + 1{,}07 - 0{,}17Ca^2;\ R=0{,}999 \quad (7)$$

где, *во всех уравнениях (NPK) – дозы минеральных удобрений, выраженные в условных единицах (от 0 до 3); Са – дозы известняковой муки, рассчитанные в долях гидролитической кислотности (от 0 до 2,5 г.к., с интервалом 0,5), pHkcl суспензии; 1, 2, 3 - годы после известкования.*

Высокое значение коэффициента корреляции (0,92 – 0,99) свидетельствует о том, что представленные уравнения с большой степенью достоверности описывают полученные закономерности. Установлено, что внесение минеральных удобрений, за исключением четвертого и пятого года проведения опыта, не оказало значимого влияния на кислотность почвенной среды, достоверным было только действие извести. При внесении высоких доз мелиоранта pH длительный период остается в благоприятном для возделывания сельскохозяйственных культур интервале. За период первой ротации наблюдается равномерное нарастание действия известняковой муки. Максимальные значения pH достигаются на 3-6-ой год последействия, на 9-10-ый годы действие известкования носит затухающий характер.

Графически динамика кислотности в первой ротации представлена на рисунке 5. Показано, что наиболее резко снижается величина pH_{kcl} на вариантах с

внесением доз извести по 2,5-2,0 г.к., более спокойно как нарастание, так и падение pH отмечается при использовании низких доз извести.

Зависимость величины pH_{kcl} от срока взаимодействия извести с почвой в первой ротации севооборота имеет следующий вид (8):

$pH_{kcl} = 4,16+0,21T-0,02T^2+1,24Ca - 0,17Ca^2 - 0,03\ (T \cdot Ca) - 0,05(NPK \cdot Ca);$
1 ротация $R=0,994$ (8)

где Са - дозы извести в т/га; NPK - доза NPK в кг/га севооборотной площади в год; Т - год после известкования.

Результаты исследований по динамике кислотности почвы за 15-ти летний период показывают, что наибольший эффект по устранению всех форм кислотности отмечается при дозах извести по 2,0 и 2,5 г.к.– после двух ротаций севооборота реакция почвенной среды находится в слабокислом интервале. Заслуживает особого внимания тот факт, что при дозе мелиоранта по 0,5 г.к. как отдельно, так и при совместном применении с минеральными удобрениями даже через 15 лет прекращения действия известкования не отмечено Регрессионные модели зависимости величины pH от доз минеральных и известковых удобрений во второй ротации имеют следующий вид:

$pH_8 = 4,39 + 0,96Ca - 0,15Ca^2;\ R=0,95$ (9)

$pH_9 = 4,2 + 0,98(NPK) - 0,16Ca^2;\ R=0,94$ (10)

$pH_{10} = 4,25 + 0,79Ca - 0,1Ca^2;\ R=0,999$ (11)

$pH_{12} = 4,09 + 1,34Ca - 0,27Ca^2;\ R=0.93$ (12)

$pH_{13} = 4,1+ 0,57(NPK) + 1,12Ca -0,18Ca^2 - 0,2(NPK \cdot Ca);\ R=0,95$ (13)

$pH_{14} = 4,3+ 0,47Ca;\ R=0,9$ (14)

$pH_{15} = 4,14+0,91Ca-0,15Ca^2;\ R=0,92$ (15)

Нижний индекс у показателя pH показывает год действия извести. Данные уравнения (9-15) показывают, что при длительном применении минеральных удобрений, влияние их на реакцию почвенной среды становится значимым, чем выше доза, тем ощутимее снижение величины pH.

Для определения научно-обоснованной потребности в известковых удобрениях и планирования его периодичности необходимо располагать экспериментальным материалом, характеризующим общие закономерности действия

извести на реакцию среды. Выявлено, что наибольший сдвиг достигается на 3-6-ой год последействия, при этом в течение последующих десяти лет теряется порядка одной трети (от 28,4 до 38,2 %) достигнутого сдвига реакции среды в нейтральную сторону. В течение последующих двух лет снижение сдвига pH идет на 0,02-0,04 ед., затем увеличивается до 0,05-0,06. Однако при пересчете на 1 т /га мелиоранта высокие дозы были соответственно в 1,5-2,5 раза ниже по эффективности в сравнении с дозой по 0,5 г.к (табл.79).

Таблица 79

Влияние известкования на смещение реакции среды и расход извести на сдвиг pH и Hг на 0,1

Доза извести в долях г.к.	pH			Hг		
	Сдвиг pH		Расход $CaCO_3$ на сдвиг на 0,1	Сдвиг pH		Расход $CaCO_3$ на сдвиг на 0,1
	общий	от 1 т извести		общий	от 1 т извести	
0,5	0,89	0,21	0,47	1,4	0,34	0,3
1,0	1,14	0,14	0,73	1,7	0,2	0,49
1,5	1,36	0,11	0,92	2,0	0,16	0,62
2,0	1,57	0,09	1,06	2,3	0,14	0,72
2,5	1,76	0,08	1,18	2,5	0,12	0,83

Для второй ротации севооборота, как и для первой, решающим фактором в оптимизации реакции среды является срок взаимодействия извести с почвой. Функциональная зависимость величины pH от периода последействия известкования представлена в виде следующего уравнения (16):

$$pH = 3,57 + 0,28\,T - 0,03T^2 - 0,01(NPK)^2 + 1,25Ca - 0,26Ca^2 + 0,04(T \cdot Ca); \quad R=0,982 \quad (16)$$

2-ая ротация

Параметры модели второй ротации показывают, что после 7-и лет применения минеральных удобрений, их действие на реакцию среды становится достоверным. Однако необходимо отметить, что величины изменений pH от этого фактора, хотя и значимы, но находятся в пределах 0,07-0,12 ед. Поэтому во временной модели за весь период исследований влияние минеральных удобрений, как фактора не проявилось :

$$pH_{kcl} = 3,42 + 0,27 \cdot Ca^{0,5} + 0,86 \cdot T^{0,5} + 0,03 \cdot Ca - 0,16 \cdot T - 0,04 \cdot (Ca \cdot T)^{0,5}; \; R=0,90 \quad (17)$$

Полученная регрессионная модель позволяет прогнозировать изменение кислотности дерново-подзолистой почвы в зависимости от дозы известняковой муки и срока её взаимодействия с почвой.

Нейтрализующее действие извести, хотя и более слабое, распространялось и на подпахотный горизонт (20- 40 см): спустя три года после известкования величина pH увеличилась с 3,97 до 4,5 при больших дозах извести (табл.80).

Таблица 80

Влияние возрастающих доз минеральных и известковых удобрений и их сочетаний на кислотность дерново-подзолистой почвы (горизонт 20 - 40 см)

Доза NPK в условл. ед.	Доза известняковой муки в долях г.к.					
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
NPK0	4,01	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5
NPK1	4,01	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5
NPK2	4,01	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5
NPK3	4,01	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5

Производственная функция зависимости реакции среды от изучаемых факторов имеет следующий вид:

$$pH_{20-40} = 4,01 + 0,18Ca;\ R=0,62 \qquad (18)$$

Максимальный эффект от известкования был достигнут на 4 - 5 год последействия (табл.81): при дозах по 2,0-2,5 г.к. величина pH достигала 4,6 - 4,8, от одной тонны известняковой муки величина pH повышается на 0,2 ед. pH, а полученная закономерность описывается уравнением:

$$pH_{20-40} = 4,18 + 0,312Ca;\ R=0,78 \qquad (19)$$

Таблица 81

Влияние возрастающих доз минеральных и известковых удобрений и их сочетаний на кислотность дерново-подзолистой почвы (горизонт 20 - 40 см)

Доза NPK в условл. ед.	Доза известняковой муки в долях г.к.					
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
NPK0	4,18	4,3	4,5	4,6	4,7	4,8
NPK1	4,18	4,3	4,5	4,6	4,7	4,8
NPK2	4,18	4,3	4,5	4,6	4,7	4,8
NPK3	4,18	4,3	4,5	4,6	4,7	4,8

В последующие годы, в силу миграции кальция и магния в нижележащие горизонты и отчуждения с выносом урожаем, систематического применения удобрений и промывного режима увлажнения, отмечается повышение кислотности почвы и к концу второй ротации величина pH практически возвращается к исходной (табл.82). При максимальной дозе извести pH не превышает значения 4,2, по фону минеральных удобрений 3,9 - 4,1. Регрессионная модель полученной зависимости имеет вид:

$$pH_{20-40} = 3,96 - 0,0383(NPK) + 0,0974Ca;\ R = 0.92 \qquad (20)$$

Таблица 82

Влияние возрастающих доз минеральных и известковых удобрений и их сочетаний на кислотность дерново-подзолистой почвы (горизонт 20 - 40 см)

Доза NPK в условн. ед.	Доза известняковой муки в долях г.к.					
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
NPK0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2
NPK1	3,9	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1
NPK2	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,1
NPK3	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	3,9

Аналогичные закономерности выявлены при анализе динамики гидролитической кислотности и описаны регрессионными моделями (с 1-ого по 7-ой год действия извести) в уравнениях 21-24. Величина сдвига определялась сроком действия и дозой мелиоранта, но при этом от 1 т/га $CaCO_3$ с повышением дозы извести от 0,5 до 2,5 г.к. она снижалась в 2,8 раза: при дозе 0,5 г.к. сдвиг от 1 т/га $CaCO_3$ – 0,34, при дозе 2,5 г.к. – 0,12 ед. Нг (табл. 83-86).

$$Нг_l = 4,28 - 2,37Ca + 0,6Ca^2;\ R=0,81 \qquad (21)$$

Таблица 83

Влияние возрастающих доз минеральных и известковых удобрений на гидролитическую кислотность дерново-подзолистой почвы (мэкв/100 г почвы)

Доза NPK в условн. ед.	Доза известняковой муки в долях г.к.					
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
NPK0	4,28	3,25	2,51	2,08	1,95	2,11
NPK1	4,28	3,25	2,51	2,08	1,95	2,11
NPK2	4,28	3,25	2,51	2,08	1,95	2,11
NPK3	4,28	3,25	2,51	2,08	1,95	2,11

$Нг_3 = 3,81 - 2,38Ca + 0,45Ca^2$; R=0,94 (22)

$Нг_5 = 3,875 - 2,06Ca + 0,489Ca^2$; R=0,89 (23)

$НГ_7 = 3,83 - 2,09CA + 0,42CA^2$; R=0,81 (24)

Таблица 84

Влияние возрастающих доз минеральных и известковых удобрений на гидролитическую кислотность дерново-подзолистой почвы (мэкв/100 г почвы)

Доза NPK в условн. ед.	Доза известняковой муки в долях г.к.					
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
NPK_0	3,81	2,73	1,88	1,25	0,85	0,68
NPK_1	3,81	2,73	1,88	1,25	0,85	0,68
NPK_2	3,81	2,73	1,88	1,25	0,85	0,68
NPK_3	3,81	2,73	1,88	1,25	0,85	0,68

Таблица 85

Влияние возрастающих доз минеральных и известковых удобрений на гидролитическую кислотность дерново-подзолистой почвы (мэкв/100 г почвы)

Доза NPK в условн. ед.	Доза известняковой муки в долях г.к.					
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
NPK_0	3,88	2,97	2,31	1,88	1,71	1,78
NPK_1	3,88	2,97	2,31	1,88	1,71	1,78
NPK_2	3,88	2,97	2,31	1,88	1,71	1,78
NPK_3	3,88	2,97	2,31	1,88	1,71	1,78

Таблица 86

Влияние возрастающих доз минеральных и известковых удобрений на гидролитическую кислотность дерново-подзолистой почвы (мэкв/100 г почвы)

Доза NPK в условн. ед.	Доза известняковой муки в долях г.к.					
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
NPK_0	3,83	2,90	2,17	1,65	1,34	1,24
NPK_1	3,83	2,90	2,17	1,65	1,34	1,24
NPK_2	3,83	2,90	2,17	1,65	1,34	1,24
NPK_3	3,83	2,90	2,17	1,65	1,34	1,24

Даже на контроле под влиянием естественных факторов, агротехнических приемов и возделываемых культур гидролитическая кислотность пахотного слоя уменьшается на 10%. Изменения гидролитической кислотности почвы находятся в тесной зависимости от срока последействия известкования и описываются уравнением регрессии (25):

$Нг = 4,63 - 0,27T + 0,02T^2 - 1,74Ca + 0,27Ca^2 + 0,02(T \cdot NPK) + 0,02(T \cdot Ca) -$
$- 0,03(NPK \cdot CA)$; R=0,975±0,06 (25)

ротация I

Из приведенного уравнения (25) видно, что наиболее значимым фактором в изменении агрохимических свойств почвы является известкование.

Ежегодный анализ гидролитической кислотности не выявил достоверного воздействия на ее величину минеральных удобрений, однако обобщение результатов за весь период ротации показывает, что чем выше **Т** при систематическом применении минеральных удобрений, тем более значимым становится параметр **(Т·NPK)**, то есть отмечается повышение кислотности почвы, что было доказано дальнейшими исследованиями (табл. 87).

Таблица 87

Влияние возрастающих доз минеральных и известковых удобрений на гидролитическую кислотность дерново-подзолистой почвы (мэкв/100 г почвы)

Доза NPK	Доза известняковой муки в долях г.к.											
	0		0,5		1,0		1,5		2,0		2,5	
	Год после известкования											
	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
NPK_0	3,69	3,62	2,94	2,90	2,31	2,32	1,93	1,87	1,48	1,56	1,26	1,38
NPK_1	3,79	3,82	3,03	3,09	2,39	2,49	1,89	2,03	1,52	1,71	1,29	1,52
NPK_2	3,9	4,01	3,11	3,27	2,64	2,66	1,96	2,19	1,58	1,85	1,33	1,65
NPK_3	4,0	4,21	3,2	3,46	2,54	2,87	2,01	2,35	1,62	2,0	1,37	1,78

Действие мелиоранта на гидролитическую кислотность почвы подразделялось на два периода. Первоначально после внесения извести происходило снижение кислотности почвы. Максимальное смещение в нейтральную сторону отмечалось через 5-7 лет после внесения мелиоранта. В последующем наблюдалось постепенное подкисление почвы. Действие известняковой муки определялось ее дозой, однако при дозе по 0,5 г.к. не прекращала свое нейтрализующее действие даже через 15 лет после внесения в почву, как отдельно, так и на фоне применения высоких доз минеральных удобрений (табл.88).

На основании экспериментальных данных были получены регрессионные модели динамики кислотности (26-27), которые, судя по коэффициенту корреляции (0,85-0,996) с высокой степенью вероятности описывают выявленные закономерности:

$$Нг_{10} = 3,26+0,05NPK^2-0,57Ca;\ R=0,85 \pm 0,12 \quad (26)$$

$$Нг_{15} = 3,63+0,17NPK-1,71Ca+0,32Ca^2-0,05(NPK\cdot Ca);\ R=0,996 \pm 0,07 \quad (27)$$

Из приведенных уравнений видно, что систематическое применение минеральных удобрений, наоборот, приводило к увеличению кислотности, причем с возрастанием дозы усиливалось отрицательное действие. Известкование способствовало снижению кислотности почвы, однако не устраняло ее полностью. В последующем наблюдалось постепенное подкисление почвы, действие известняковой муки определялось ее дозой.

Таблица 88

Динамика гидролитической кислотности под действием, возрастающих доз известковых и минеральных удобрений

Дозы извести по г.к.	Величина Нг во времени, (мг-экв/100г почвы)						Сдвиг Нг во времени, (по сравнению с исходной) ед. Нг					
	Годы последействия											
	1	3	6	9	12	15	1	3	6	9	12	15
Без минеральных удобрений												
Са 0,0	3,7											
Са 0,5	2,8	2,4	2,3	2,5	2,7	3,1	-0,9	-1,3	-1,4	-1,2	-1,0	-0,6
Са 1,0	2,5	2,1	2,0	2,1	2,4	2,7	-1,2	-1,6	-1,7	-1,6	-1,3	-1,0
Са 1,5	2,2	1,8	1,7	1,8	2,1	2,4	-1,5	-1,9	-2,0	-1,9	-1,6	-1,3
Са 2,0	2,0	1,5	1,4	1,6	1,9	2,2	-1,7	-2,2	-2,3	-2,1	-1,8	-1,5
Са 2,5	1,7	1,3	1,2	1,4	1,6	2,0	-2,0	-2,4	-2,5	-2,3	-2,1	-1,7
Средние дозы минеральных удобрений												
Са 0,0	3,8	3,4	3,3	3,5	3,8	4,1	0,1	-0,3	-0,4	-0,2	0,1	0,4
Са 0,5	3,0	2,5	2,5	2,6	2,9	3,2	-0,7	-1,2	-1,2	-1,1	-0,8	-0,5
Са 1,0	2,6	2,1	2,1	2,2	2,5	2,8	-1,1	-1,6	-1,6	-1,5	-1,2	-0,9
Са 1,5	2,3	1,9	1,8	2,0	2,2	2,6	-1,4	-1,8	-1,9	-1,7	-1,5	-1,1
Са 2,0	2,1	1,7	1,6	1,7	2,0	2,3	-1,6	-2,0	-2,1	-2,0	-1,7	-1,4
Са 2,5	1,9	1,5	1,4	1,5	1,8	2,1	-1,8	-2,2	-2,3	-2,2	-1,9	-1,6
Повышенные дозы минеральных удобрений												
Са 0,0	4,0	3,6	3,5	3,6	3,9	4,2	0,3	-0,1	-0,2	-0,1	0,2	0,54
Са 0,5	3,1	2,7	2,6	2,7	3,0	3,3	-0,6	-1,2	-1,1	-1,2	-0,7	-0,4
Са 1,0	2,7	2,3	2,2	2,4	2,6	3,0	-1,0	-1,4	-1,5	-1,3	-1,1	-0,7
Са 1,5	2,4	2,0	1,9	2,1	2,3	2,7	-1,3	-1,7	-1,8	-1,6	-1,4	-1,4
Са 2,0	2,2	1,8	1,7	1,8	2,1	2,5	-1,5	-1,9	-2,0	-1,9	-1,6	-1,2
Са 2,5	2,0	1,6	1,5	1,6	1,9	2,2	-1,7	-2,1	-2,2	-2,1	-1,8	-1,5
Высокие дозы минеральных удобрений												
Са 0,0	4,1	3,7	3,6	3,7	4,0	4,3	0,4	0,0	-0,1	0,0	0,3	0,6
Са 0,5	3,2	2,8	2,7	2,9	3,1	3,5	-0,5	-0,9	-1,2	-0,8	-0,6	-0,2
Са 1,0	2,9	2,4	2,3	2,5	2,8	3,1	-0,8	-1,3	-1,4	-1,2	-0,9	-0,6
Са 1,5	2,6	2,2	2,1	2,2	2,5	2,8	-1,1	-1,5	-1,6	-1,5	-1,2	-0,9
Са 2,0	2,3	1,9	1,8	2,0	2,2	2,6	-1,4	-1,8	-1,9	-1,7	-1,5	-1,1
Са 2,5	2,1	1,7	1,6	1,8	2,0	2,4	-1,6	-2,5	-2,1	-1,9	-1,7	-1,3

Зависимость величины гидролитической кислотности от времени взаимодействия факторов с почвой за весь период исследований выражена следующим уравнением:

$$Hг_{\text{I и II ротации}} = 4,82 - 0,43Ca^{0,5} - 1,41T^{0,5} + 0,0011(NPK) + 0,30T; \quad R = 0,74 \qquad (28)$$

Наиболее токсичной формой почвенной кислотности является обменная, особенно в тех случаях, когда она представлена почти полностью обменным алюминием. Содержание подвижного алюминия в кислых дерново-подзолистых почвах колеблется от 1 до 20 мг/100 г почвы (О.К. Кедров-Зихман, 1951; С.С. Ярусов, 1955; М.Ф. Корнилов и др., 1971).

Исследования показали, что уже на второй год после внесения извести содержание подвижного алюминия резко падает и на высоких дозах мелиоранта не превышает 0,45 мг/100 г почвы. Регрессионная модель зависимости содержания алюминия от дозы извести спустя два года действия имеют следующий вид (29):

$$Al_2 = 10,2 - 10,61Ca + 3,98Ca^2; \quad R = 0,916 \qquad (29)$$

К концу 1-ой ротации севооборота содержание алюминия в почве даже на контроле значительно снизилось, а по фону известкования дозами 0,5 -1,0 г.к. не превышало соответственно 1,8 и 0,9, при дозах 1,5-2,5 г.к. – ниже 0,27 мг/100 г почвы. Полученная зависимость выражается следующим уравнением (30):

$$Al_7 = 3,29 - 4,01Ca + 1,165Ca^2; \quad R = 0,84 \qquad (30)$$

Спустя 10 лет после известкования содержание Al, хотя и несколько увеличилось, но величина его находилась в безопасном интервале (табл.89). Минеральные удобрения не оказали влияние на подвижность этого элемента, решающим фактором его регулирования было известкование.

Выявленная, на основе экспериментальных данных зависимость представлена уравнением (31):

$$Al_{10} = 3,31 - 3,23Ca + 0,82Ca^2; \quad R = 0,964 \qquad (31)$$

Непосредственное внесение известняковой муки резко снизило обменную кислотность, на четвертый год последействия величина обменной кислотности

снизилась с 1,33 до 0,6 при дозе по 0,5 г.к. и до 0,02 мг-экв./100 г почвы – по 2,5 г.к. (32-33):

$$Нобм. = 1{,}33 - 1{,}7Ca + 0{,}49Ca^2; \quad R = 0{,}942 \pm 0{,}07 \qquad (32)$$

$$Нобм. = 1{,}09 - 1{,}46Ca + 0{,}43Ca^2; \quad R = 0{,}892 \pm 0{,}10 \qquad (33)$$

К концу второй ротации в вариантах с дозами по 0,5 и 1,0 г.к. величина $Н_{обм.}$ не превышала 0,17 мг-экв./100 г почвы, при дозах 1,5-2,5 г.к. – значение показателя было в пределах 0,01 мг-экв./100 почвы.

Наряду с нейтрализацией кислотности почвы известкование повышало преимущественно в пахотном слое насыщенность почвы поглощенными основаниями, а в слое 20-40 см содержание их практически не менялось, очевидно, в связи с большой подвижностью в этом слое Са и Mg и вымыванием их в более глубокие горизонты.

Таблица 89

Влияние известкования на содержание подвижного алюминия в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мг/100 г почвы (фактические данные)

Вариант	Доза доломитовой муки в долях г.к.					
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Контроль	3,31	1,91	0,90	0,53	0,32	0,13
1(NPK)	3,38	1,22	0,89	0,56	0,33	0,16
2(NPK)	3,57	1,38	0,82	0,57	0,16	0,19
3(NPK)	3,71	1,49	0,99	0,66	0,38	0,22
$НСР_{05}$	0,3					

Уравнения 34-37 отображают зависимость содержания обменного кальция в пахотном слое от доз извести. Характер полученной зависимости на протяжении всех лет исследований прямолинейный.

$$Ca_3 = 2{,}63 + 0{,}8Ca; \quad R = 0{,}922 \pm 0{,}04 \qquad (34)$$

$$Ca_5 = 3{,}34 + 1{,}13Ca; \quad R = 0{,}92 \pm 0{,}06 \qquad (35)$$

$$Ca_7 = 4{,}03 + 1{,}15Ca; \quad R = 0{,}93 \pm 0{,}06 \qquad (36)$$

$$Ca_{10} = 4{,}78 + 2{,}27Ca - 0{,}46Ca^2; \quad R = 0{,}897 \pm 0{,}09 \qquad (37)$$

Сопоставление данных по содержанию кальция в пахотном слое и величины pH позволило выявить высокую корреляционную зависимость между этими показателями : в первой ротации коэффициент корреляции был в пределах 0,85-

0,94, во второй ротации – на уровне 0,68-0,91. Чем выше содержание обменных оснований, в том числе кальция, тем, как показали наши исследования, меньше величина обменной кислотности, значение отрицательной коррелятивной связи на уровне – 0,78-0,96.

Исследуемая почва слабо насыщена основаниями, поэтому обеднение основаниями – естественный процесс, обуславливающий необходимость компенсации этих потерь и поддержания реакции почвы на оптимальном уровне.

Результаты показали, что как в отношении кальция, так и в отношении суммы поглощенных оснований наиболее высокое и стабильное положительное действие оказывала известь: с увеличением дозы возрастал и положительный эффект, максимум которого приходился на 3-6 год последействия в зависимости от доз (табл. 90).

Таблица 90

Динамика суммы обменных оснований и степени насыщенности почв основаниями, под действием возрастающих доз извести и минеральных удобрений

Дозы извести по г.к.	Величина S во времени, (мг-экв./100г почвы)						Величина V (%) во времени					
	Годы последействия											
	1	3	6	9	12	15	1	3	6	9	12	15
Без минеральных удобрений												
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
	2,9						43,9					
Са 0,5	4,2	4,9	5,1	4,9	4,5	4,0	60,0	67,1	68,9	66,2	62,5	56,3
Са 1,0	5,0	5,5	5,5	5,3	4,8	4,3	66,7	72,4	73,3	71,6	66,7	61,4
Са 1,5	5,5	6,0	6,0	5,6	5,1	4,5	71,4	76,9	77,9	75,7	70,8	65,2
Са 2,0	6,0	6,4	6,3	5,9	5,4	4,7	75,0	81,0	81,8	78,7	74,0	68,1
Са 2,5	6,5	6,8	6,7	6,2	5,6	5,0	79,3	84,0	84,8	81,6	77,8	71,4
Средние дозы минеральных удобрений												
Са 0,0	3,1	4,1	4,5	4,6	4,4	4,0	44,9	54,7	57,7	56,8	53,7	49,4
Са 0,5	4,4	5,1	5,3	5,1	4,7	4,2	59,5	67,1	67,9	66,2	61,8	56,8
Са 1,0	5,1	5,7	5,8	5,5	5,0	4,5	66,2	73,1	73,4	71,4	66,7	61,6
Са 1,5	5,7	6,2	6,2	5,8	5,3	4,7	71,3	76,5	77,5	74,4	70,7	64,4
Са 2,0	6,2	6,6	6,5	6,2	5,6	4,9	74,7	79,5	80,2	78,5	73,7	68,1
Са 2,5	6,7	7,1	6,9	6,5	5,9	5,2	77,9	82,6	83,1	81,3	76,6	71,2
Са 0,0	3,0	4,0	4,4	4,4	4,2	3,9	42,9	52,6	55,7	55,0	51,9	48,1
Са 0,5	4,3	5,0	5,2	5,0	4,6	4,1	58,1	64,9	66,7	64,9	60,5	55,4
Са 1,0	5,0	5,6	5,7	5,4	4,9	4,4	64,9	70,9	72,2	69,2	65,3	59,5
Са 1,5	5,6	6,1	6,1	5,7	5,2	4,6	70,0	75,3	76,3	73,1	69,3	63

Окончание таблицы 90

Повышенные дозы минеральных удобрений												
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Са 2,0	6,1	6,5	6,4	6,0	5,5	4,8	73,5	78,3	79,0	76,9	72,4	65,8
Са 2,5	6,6	7,0	6,8	6,4	5,8	5,1	76,7	81,4	81,9	80,0	75,3	69,9
Высокие дозы минеральных удобрений												
Са 0,0	2,8	3,8	4,3	4,3	4,1	3,7	40,6	50,7	54,4	53,8	50,6	46,3
Са 0,5	4,2	4,8	5,0	4,9	4,5	3,9	56,8	63,2	64,9	62,8	59,2	52,7
Са 1,0	4,8	5,4	5,5	5,2	4,8	4,2	62,3	69,2	70,5	67,5	63,2	57,5
Са 1,5	5,4	5,9	5,9	5,6	5,1	4,4	67,5	72,8	73,8	71,8	67,1	61,1
Са 2,0	6,0	6,4	6,3	5,9	5,3	4,6	72,3	77,1	77,8	74,7	70,7	63,9
Са 2,5	6,5	6,8	6,6	6,2	5,6	4,9	75,6	80,0	80,5	77,5	73,7	67,1

Видно, что с течением времени в силу потерь кальция достигнутый уровень содержания оснований в почве снижается, и чем выше дозы извести, тем больше темпы снижения суммы поглощенных оснований во времени. Так, при внесении извести в дозе по 0,5 г.к. к концу 2-ой ротации S (мг-экв/100 г почвы) по сравнению с максимумом уменьшилась на 22%, при внесении извести в дозе по 2,5 г.к. этот показатель составил 28%.

Динамика изменения величины суммы поглощенных оснований представлена в уравнениях (38 - 40), отражающих прямолинейную зависимость.

$S_3 = 4{,}58 + 3{,}26Ca;\ R=0{,}984\pm0{,}06$ (38)

$S_7 = 4{,}66 + 2{,}16Ca;\ R=0{,}864\pm 0{,}09$ (39)

$S_{10} = 4{,}51 + 1{,}21Ca;\ R=0{,}927\pm0{,}08$ (40)

Оценивая влияние изучаемых факторов за весь период исследований (41) отметим, что минеральные удобрения увеличивали вынос оснований:

$S = 4{,}72 + 4{,}72Ca - 0{,}25\ (NPK\ Ca);\ R=0{,}979\pm0{,}07$ (41)

Временная функция зависимости суммы поглощенных оснований от известковых, минеральных удобрений и их сочетаний описывается следующим уравнением регрессии (42). Установлено, что минеральные удобрения снижали степень насыщенности почв основаниями, на известкованном фоне они способствовало более интенсивному выносу обменных оснований.

$$S = 0{,}73 + 0{,}73 \cdot Ca^{0,5} + 0{,}05(NPK)^{0,5} + 2{,}6T^{0,5} + 0{,}06Ca - 0{,}003\ (NPK) - 0{,}5T - 0{,}2\ (Ca \cdot NPK)^{0,5};\ R = 0{,}85 \pm 0{,}06 \quad (42)$$

Аналогичные закономерности выявлены при определении степени насыщенности основаниями: минеральные удобрения отрицательно влияли на ее величину как в первой ротации (43), так и в целом за весь период исследований. Во времени известь оказывала свое возрастающее положительное действие в течение первой ротации, после чего, вследствие потерь кальция, величина V% постепенно снижается, находясь в тесной зависимости от дозы (44).

$$V_3\ \% = 35{,}99 - 0{,}43\ NPK^2 + 37{,}26Ca - 7{,}03Ca^2;\quad R=0{,}993\pm0{,}07 \qquad (43)$$

$$V\% = 43{,}87 - 0{,}53\ NPK^2 + 37{,}15Ca - 7{,}38Ca^2;\quad R=0{,}993\pm0{,}07 \qquad (44)$$

Наиболее значимым фактором в изменении степени насыщенности почв основаниями являлась известь - наибольшее значение V% достигается на 6 год после известкования. С увеличением дозы извести от 0,5 г.к. до 2,5 г.к. V% возрастала с 68,9 до 84,8 % или в 1,6-1,9 раза. На фоне высоких доз минеральных удобрений при дозах извести по 0,5 г.к. и 2,5 г.к. данный показатель составлял соответственно 66,7 и 81,9% (табл. 90). В длительном последействии известкования без применения минеральных удобрений, снижение V% от максимального уровня на дозах 0,5 – 2,5 г.к. было соответственно на 18 и 12%, при использовании высоких доз минеральных удобрений на 19 и 21%. Оптимальным было сочетание известкования по фону средних доз минеральных удобрений, потери практически не возрастали по сравнению с только известкованной почвой.

Используя метод, основанный на определении потерь кальция по сдвигу величины суммы обменных оснований от 1 тонны извести, были проведены расчеты среднегодовых потерь $CaCO_3$ почвой при использовании возрастающих доз известковых и минеральных удобрений и их сочетаний (табл.91).

Данные показывают, что при увеличении доз извести с 4,15 до 20,75 т/га потери $CaCO_3$ из почвы возросли на 519 кг/га в год, причем увеличение выноса при повышении дозы наблюдалось как отдельно, так и на фоне возрастающих доз NPK. Полученные величины среднегодовых потерь карбонатов могут быть использованы в расчетах доз для компенсации потерь извести из пахотных почв при повторном известковании. Применение средних и повышенных доз NPK снизило потери Ca соответственно до 455-477 кг/га, что составляет соответст-

венно 5-18% (по отношению к варианту без них), использование повышенной дозы, наоборот, увеличивало потери на 2-9%.

Таблица 91

Потери $CaCO_3$ из почвы и среднегодовой его вынос сельскохозяйственными культурами за две ротации севооборота

Дозы извести т/га	Ежегодные потери $CaCO_3$, кг / га							
	Доза минеральных удобрений							
	0		Средняя		Повышенная		Высокая	
	почва	растения	почва	растения	почва	растения	почва	растения
4,15	138	13,7	113	18,7	126	19,2	151	19,6
8,3	255	22,6	213	34,0	234	31,8	277	24,2
12,45	402	24,3	348	35,9	375	29,3	428	22,0
16,6	538	26,7	474	33,0	506	25,2	569	19,2
20,75	658	27,3	568	26,9	603	22,6	674	16,9

Такая тенденция их действия объясняется взаимодействием двух процессов: с одной стороны минеральные удобрения способствуют увеличению потерь кальция почвой, с другой - повышая урожайность культур, способствуют уменьшению фильтрации атмосферных осадков и, следовательно, снижению потерь кальция. Таким образом, характер действия NPK на потери карбонатов почвой зависят от соотношения происходящих под их воздействием процессов.

Определение доли потерь с отчуждением кальция урожаем в зависимости от применяемой системы удобрения в среднем за две ротации севооборота позволило установить, что эта статья расходов составляет 3-17 % от общего объема потерь. Максимальной она была при сочетании половинной дозы извести и средней дозы минеральных удобрений. Дальнейшее повышение доз удобрений приводило к снижению этого показателя (табл. 91).

По аналогичной с нашим опытом схеме и методике проведения были заложены полевые опыты на Гомельской, Пермской, Костромской сельскохозяйственных опытных станциях и ВНИИМЗ. Опыты проведены на дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава от супесчаного до тяжелосуглинистого. Отмечена тесная положительная корреляционная зависимость между дозами извести и сдвигом pH для почв (r): - 0,78, для легко- и среднесуглинистых – 0,63, для тяжелосуглинистых почв – 0,6.

На рисунке 6 показаны зависимости общего сдвига pH почв различного гранулометрического состава от доз известковых удобрений. Наибольшее смещение величины pH в щелочной интервал отмечено на супесчаных почвах. Наименьший сдвиг pH на дерново-подзолистой почве (Смоленск) связан, по-видимому, с тем, что там была внесена известняковая мука более грубого помола. Регрессионный анализ данных многолетних полевых опытов на дерново-подзолистой почве показал, что при значительных различиях по природно-климатическим условиям, к концу первой ротации явно проявляется воздействие минеральных удобрений, разница лишь в темпах процесса подкисления (уравнения 45 - 46).

$$pH = 4{,}12 - 0{,}02\,(NPK)^2 + 1{,}636Ca - 0{,}31Ca^2; \quad R = 0{,}99 \pm 0{,}06 \qquad (45)$$

легкосуглинистые

$$pH = 4{,}56 - 0.05(NPK) + 1{,}30Ca - 0{,}24Ca^2 - 0{,}02(NPK \cdot Ca); \quad R = 0{,}999 \qquad (46)$$

супесчаные

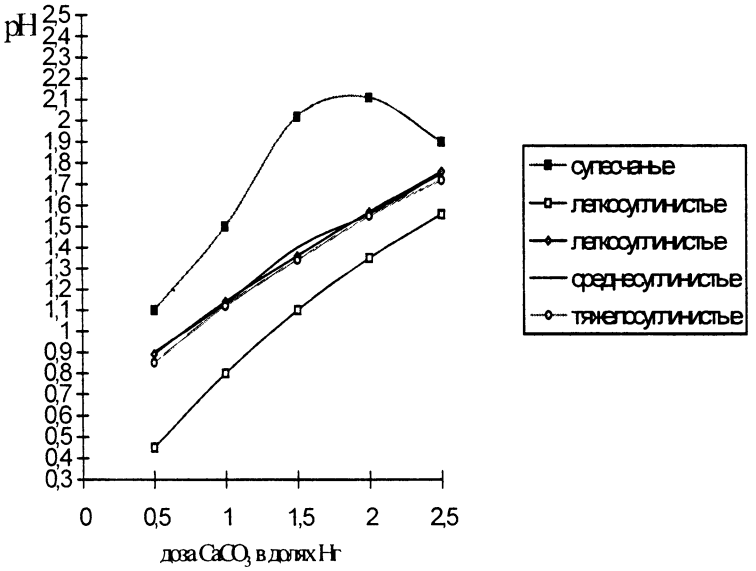

Рис. 6 Влияние дозы извести на сдвиг pH почв разного гранулометрического состава

Результаты статистической выборки по динамике кислотности дерново-подзолистых суглинистых почв с целью выявления закономерности действия известкования и минеральных удобрений были обработаны регрессионным анализом, обобщенная зависимость величины pH от изучаемых факторов имеет следующий вид (47):

$$pH = 4{,}35 - 0.01(NPK)^2 + 0{,}96Ca - 0{,}31Ca^2 - 0{,}06(NPK); \quad R = 0{,}999 \pm 0{,}06 \qquad (47)$$

обощенная

Полученная обобщенная модель с высокой степенью достоверности описывает длительное влияние известковых, минеральных удобрений и их сочетаний на динамику кислотности почв, на ее основе можно строить прогноз изменения изучаемого параметра. Установлено, что подкисление почв за ротацию с возрастанием доз NPK по полной дозе извести выражается следующим смещением величины pH соответственно: 0,03; 0,06; 0,13. Зависимость состояния кислотности среды от изучаемых факторов во времени имеет вид следующей производственной функции (48):

$$pH = 4{,}37 + 0{,}13T - 0{,}01T^2 - 0{,}03(NPK) + 0{,}98Ca - 0{,}11Ca^2 - 0{,}02(T \cdot Ca) + 0{,}02(NPK \cdot Ca); \quad R = 0{,}985 \pm 0{,}04 \qquad (48)$$

обобщенная

Таким образом, результаты обобщения данных полевых опытов о смещении величины pH и ее динамике позволяют планировать достижение заданной реакции, поддержание ее на оптимальном уровне и могут быть использованы для уточнения нормативов расхода и расчета потребности известковых удобрений.

ГЛАВА 13

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАНИЯ ИЗВЕСТКОВАНИЯ С МИНЕРАЛЬНЫМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ УДОБРЕНИЯМИ НА ДИНАМИКУ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ

Изучение эффективности сочетания доломитовой муки, минеральных и органических удобрений на продуктивность картофельного севооборота и агрохимические свойства почвы проводили в двухфакторном полевом опыте на

территории ОПХ «Коренево» Люберецкого района Московской области на двух полях со следующим чередованием культур: картофель, горох-овес, картофель, ячмень (Федотова Л.С., 2003).

Схема опыта [(6х 4)х 3 = 72 делянки] включала три дозы доломитовой муки и неизвесткованный контроль без удобрений. Дозы доломитовой муки (24% Са и 11% Mg), рассчитанные в долях гидролитической кислотности - 0,5, 1,0 и 2,0 по г.к., что соответствовало в физическом весе - 3,2 т/га, 6,4 и 12,8 т/га, были внесены весной 1977 г. на обоих полях, под перепашку зяби согласно схеме опыта. Указанные дозы доломитовой муки являлись фонами, на которых ежегодно перед посадкой картофеля применяли следующие дозы и виды удобрений: 80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$; 80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$; $N_{90}P_{90}K_{120}$; $N_{135}P_{135}K_{180}$; $N_{150}P_{150}K_{180}$. В опыте использовали азотные удобрения в виде аммиачной селитры, фосфорные - двойного гранулированного суперфосфата, калийные - хлористого калия. В качестве навоза применяли твердую фракцию бесподстилочного навоза КРС с содержанием N-1,42%; P_2O_5-1,30%; K_2O-1,41%; CaO-1,30%; MgO-0,87% на сухое вещество и влажностью 63,3%. Опытные делянки размещали методом рендомизированных повторений. Повторность трехкратная. Ширина делянок 5,6 м, длина - 9,5 м, общая площадь 53 м^2, учетная 37 м^2. Общая площадь 1 га.

Почва опытного участка представлена дерново-слабоподзолистой разностью супесчаного механического состава, нормального увлажнения. Почвообразующая порода - флювиогляциальные песчаные отложения. Пахотный горизонт почвы перед закладкой полевого опыта характеризовался следующими агрохимическими показателями:

- pH_{KCL} 4,5...4,9;
- гидролитическая кислотность 3,7...4,2 мг - экв/100г почвы,
- обменная кислотность - 0,28...0,39,
- сумма поглощенных оснований - 1,5-3,1 мг - экв/100 г почвы,
- степень насыщенности основаниями - 32...42%,
- содержание подвижного алюминия -1,45...2,31 мг,
- фосфора- 23,4...27,5 мг/100г почвы,

- калия 13,5...17,9 мг/100г почвы,
- гумус - 2,2...2,7%,
- обменные Са - 36,2...53,8 и Mg - 13,6...21,8 мг/100 г почвы.

За период с 1977 по 1988 г - прошли три ротации картофельного севооборота. До 1981 г. выращивали сорт Любимец, с 1982 по 1985 гг. - сорт Домодедовский, с 1986 по 1989 гг. - сорт Невский. Все сорта картофеля относятся к одной группе спелости – среднеранние.

В 1998 - 2001 гг. на этом же стационарном полевом опыте изучали последействие доломитовой муки, минеральных и органических удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические свойства почвы. В 1999 и 2001 гг. на опытном участке выращивали овес и викоовсяную смесь на зеленый корм, в 2000 г. – кукурузу на силос. Удобрения не вносились.

Результаты исследований показали, что применение доломитовой муки обеспечило снижение всех видов почвенной кислотности в первый же год после известкования. Уже в 1978 г. величина pH_{KCL} на опыте повысилась с 4,6-4,8 до 5,4-6,8 в зависимости от доз мелиоранта. Наибольшие значения pH_{KCL} удерживались в течение первых 3- 4 лет (рис.7 и 8).

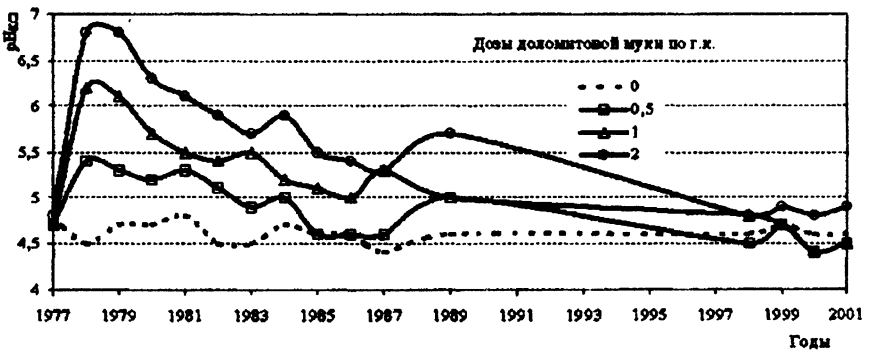

Рис. 7 Динамика pH_{KCL} почвы при внесении 80т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$ на фоне различных доз мелиоранта

Продолжительность действия известкования зависела от доз доломитовой муки, органических и минеральных удобрений. Влияние половинной дозы до-

ломитовой муки на pH почвы на неудобренном фоне продолжалось в течение 6 лет, а на фоне средних доз минеральных удобрений ($N_{90}P_{90}K_{120}$) и сочетания навоза с минеральными удобрениями ($N_{90\text{-}135}P_{90\text{-}135}K_{120\text{-}180}$) - 7 лет.

Применение одних минеральных удобрений в повышенных дозах ($N_{135\text{-}150}P_{135\text{-}150}K_{180}$) сократило срок действия половинной дозы до 5 лет. Действие полной дозы доломитовой муки на pH было более продолжительным (7-11 лет) и также зависело от доз и сочетаний удобрений.

Скорость подкисления почвенной среды на вариантах совместного внесения органических и минеральных удобрений была такой же, как на вариантах без применения удобрений. В то время как отрицательное влияние систематического применения минеральных удобрений на кислой почве наблюдается до настоящего времени. Через 10 лет после прекращения их применения кислотность на этих вариантах существенно выше того уровня, который был до закладки опыта (рис.8).

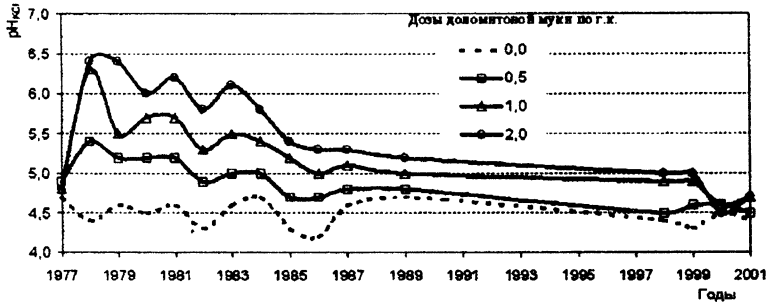

Рис. 8 Динамика pH_{KCL} почвы при внесении $N_{90}P_{90}K_{120}$ на фоне различных доз доломитовой муки

Максимальные сдвиги агрохимических показателей в нейтральную сторону отмечены в первые 3-4 года, закономерно увеличиваясь о увеличением доз доломитовой муки (табл.92). Однако при пересчете сдвигов показателей плодородия почвы на 1 тонну мелиоранта наблюдается снижение эффективности двойной дозы по сравнению с половинной и полной.

Таблица 92

Влияние доломитовой муки на смещение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы

Дозы доломитовой муки		Максимальный сдвиг показателей				Сдвиг показателей от 1 т. доломитовой муки			
в долях г.к.	в т/га	pH_{KCl}	Нг	S	V, %	pH_{KCl}	Нг	S	V, %
			мг-экв 100 г						
0,5	3,2	0,7	-0,8	1,6	19	0,22	-0,25	0,5	6
1,0	6,4	1,4	-1,7	2,8	30	0,22	-0,27	0,4	5
2,0	12,8	1,9	-2,4	4,2	51	0,15	-0,19	0,3	4

Половинная доза доломитовой муки не вызывала сильных изменений гидролитической кислотности, ее величина на этом фоне в течение всего периода исследований (с 1978 по 2001 гг.) колебалась в интервале 3 ± 0,2 мэкв на 100 г почвы. Более глубокие изменения гидролитической кислотности наблюдались на фоне полной и двойной доз доломитовой муки. После резкого снижения в 1978 г. кислотность на этих фонах вновь начинала возрастать и к 1985 г. (на 8-ой год последействия) увеличилась в 1,5-2,0 раза по сравнению с уровнем 1-ого года действия мелиоранта. Наибольшее действие на величину гидролитической кислотности оказывала двойная доза доломитовой муки и поддерживала ее на уровне 2,7-2,9 мэкв/100 г почвы, на остальных фонах известкования она колеблется в пределах 3,0-3,4 мэкв/100 г почвы (рис. 9).

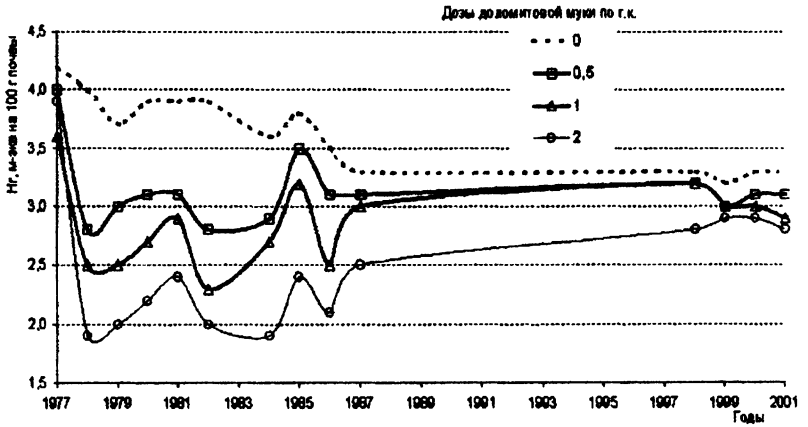

Рис. 9 Динамика гидролитической кислотности почвы при внесении 80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$ на фоне различных доз мелиоранта

На изменение гидролитической кислотности в сильной степени влияли удобрения. Систематическое применение возрастающих доз минеральных удобрений в течение 10 лет способствовало увеличению гидролитической кислотности на 27-40% по сравнению с ее уровнем, установившимся в первый год действия известкования. На вариантах без применения удобрений уровень гидролитической кислотности, достигнутый в первый год после известкования, оставался без изменений в течение 10-15 лет.

Органоминеральная система питания картофеля по своему подкисляющему действию занимала промежуточное положение – за 10 лет ее применения гидролитическая кислотность повысилась на 24-34%. Чем выше доза мелиоранта и минеральных удобрений, тем существенней первоначальные изменения в почве и выше обратная скорость подкисления.

Изменение обменной кислотности и подвижного алюминия под действием известкования было подчинено тем же закономерностям. На известкованных фонах, созданных полной и двойной дозами доломитовой муки, достигнутый минимальный уровень Нобм и Al поддерживался на протяжении десяти лет. Обменная кислотность и подвижный алюминий существенно увеличивались от систематического применения возрастающих доз минеральных удобрений ($N_{90-150}P_{90-150}K_{120-180}$) на кислой почве. Через 10 лет систематического применения $N_{150}P_{150}K_{180}$ содержание подвижного Al достигло 5,25 мг/100 г почвы, что в 2,8 раза выше исходного значения (1977 г.) (рис.10).

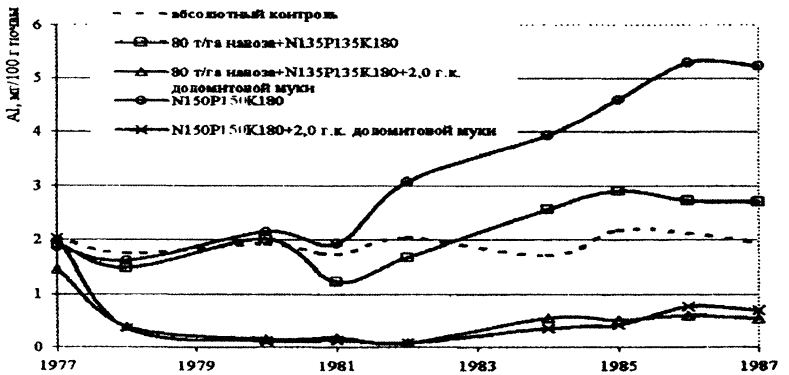

Рис. 10 Динамика содержания подвижного алюминия в почве

Внесение доломитовой муки длительное время способствовало обогащению дерново-подзолистой супесчаной почвы обменными основаниями. Максимальные значения суммы обменных оснований были отмечены на следующий год после известкования двойной дозой. На фоне этой дозы при совместном внесении органических и минеральных удобрений она составила 6,7-7,2 мг-экв, при внесении минеральных удобрений существенно ниже – 5,8-6,3 и без удобрений – 5,9 мг-экв/100 г почвы.

В течение последующих 12 лет (или трех ротаций севооборота) сумма обменных оснований постепенно уменьшалась, причем наиболее интенсивно под влиянием минеральной системы удобрении. В 2001 году сумма обменных оснований находилась ниже исходного уровня на неизвесткованных вариантах и на фоне половинной дозы доломитовой муки, а на фоне полной и двойной доз мелиоранта поддерживалась на уровне с исходной почвой или даже немного превышала его.

В 1978 г. на фоне полной и двойной доз доломитовой муки была достигнута оптимальная степень насыщенности почвы основаниями, которая постепенно снижалась с течением времени. Через 24 года после закладки опыта степень насыщенности основаниями в зависимости от применявшихся ранее удобрений колебалась: на неизвесткованном фоне – от 34 до 40%, на фоне половинной дозы – от 37 до 42%, на фоне полной дозы – от 42 до 47% и на фоне двойной – от 46 до 51%.

На содержание обменных Ca и Mg в почве заметное влияние оказало не только известкование, но и применяемые системы удобрений. Как показали проведенные на этой почве данные лизиметрического опыта, минеральные удобрения ускоряли переход Ca и Mg доломитовой муки в обменно-поглощенное состояние, а в дальнейшем способствовали более интенсивному вымыванию их из пахотного слоя почвы (табл. 93).

На вариантах без удобрений и при использовании органоминеральной системы, достигнутые уровни содержания обменного кальция поддерживались на протяжении 10 лет практически без изменений, тогда как применение минеральных

удобрений ($N_{90-150}P_{90-150}K_{120-180}$) уже через 4 года привело к достоверному снижению обменного кальция на 18-40 мг. По данным последних лет (1998-2000 гг.) ощутимы различия в содержании обменного кальция по фонам известкования: на кислом фоне – 28-33 мг/100 г почвы, на фоне половинной - 35-38 мг; на фоне полной – 40-41 мг и на фоне двойной дозы доломитовой муки – 43 - 48 мг/100 г почвы.

Таблица 93

Потери Са и Mg с инфильтрационными водами из пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы (средние за 1977-1984 гг.), кг/га

Удобрения	Дозы извести	Ca				Mg			
		Весна	Лето	Осень	Всего	Весна	Лето	Осень	Всего
Без удобрений	0	12,4	16,5	26,0	54,9	5,4	6,3	9,9	21,6
	0,5	12,4	19,2	30,8	62,4	6,7	8,7	13,7	29,1
	1,0	14,5	21,7	36,8	73,0	8,5	13,7	16,5	38,7
	2,0	16,4	23,8	36,6	76,9	9,3	12,5	16,8	38,6
80 т/га навоза	0	13,5	19,2	28,8	61,5	6,4	7,0	14,0	27,3
	0,5	15,2	22,8	33,1	71,1	7,5	8,2	15,3	31,0
	1,0	15,3	24,9	37,7	77,9	11,5	9,5	16,6	37,7
	2,0	17,3	28,3	46,6	92,2	17,7	11,0	20,7	49,4
80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$	0	17,5	22,1	37,1	76,7	7,2	10,1	20,1	37,4
	0,5	19,4	27,1	47,6	94,1	11,2	12,9	28,6	52,7
	1,0	20,3	31,2	51,4	102,8	13,0	13,6	27,1	53,7
	2,0	26,1	44,3	56,3	126,7	15,0	16,9	36,1	68,1
80 т/га навоза + $N_{150}P_{150}K_{180}$	0	21,6	25,8	38,2	85,5	7,8	10,4	29,2	47,4
	0,5	24,0	28,3	49,3	101,6	10,5	11,0	30,2	51,7
	1,0	24,6	30,1	64,6	119,3	14,3	11,8	33,0	59,1
	2,0	25,3	33,1	65,1	123,6	17,8	16,4	40,3	74,5
Средние потери по опыту	кг/га	18,5	26,1	42,9	87,5	10,6	11,2	23,0	44,9
	%	21,1	29,9	49,0	100	23,7	25,0	51,3	100

В отличие от кальция, обеднение почвы магнием происходило более интенсивно. Через 10 лет после известкования (1987 г.) содержание обменного магния возвратилось на исходный уровень, который был до известкования, а на вариантах без удобрений и неизвесткованных делянках его концентрация стала существенно ниже исходного уровня. В настоящее время содержание обменного магния на всех вариантах опыта (MgO – 11-18 мг/100 г почвы) в два раза ниже исходного уровня. По данным полевого опыта среднегодовые потери MgO за период с 1977 по 2000 г. составили: на неизвесткованном фоне – 0,7-1,0 мг/100 г почвы; на фоне известкования – 1,0-3,1, а CaO соответственно – 1,5-2,0 и 1,5-3,8 мг/100 г почвы.

ГЛАВА 14

ДИНАМИКА КИСЛОТНОСТИ ОПОДЗОЛЕННЫХ И ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЧЕРНОЗЁМОВ ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ

Оподзоленные и выщелоченные чернозёмы в отличие от дерново-подзолистых и серых лесных почв длительное время относили к почвам, не нуждающимся в известковании. Такая точка зрения была обусловлена высокой суммой обменных оснований в них: 35-40 мэкв на 100 г почвы в оподзоленных и 40-45 мэкв на 100 г почвы в выщелоченных чернозёмах. Содержание оснований в пересчете на $CaCO_3$ составляет 55-65 т/га в пахотном слое, а в гумусовом – оно в 2-3 раза выше. К этому следует добавить высокую ёмкость обмена – 40-60 мэкв. на 100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 80-90% и содержание гумуса – 5-10%. Эти агрохимические показатели, на первый взгляд, определяют устойчивую буферную систему, способную поддерживать постоянный уровень реакции среды в почве и противостоять её подкислению. При таких показателях гидролитическая кислотность, равная 3-5 мэкв./100 г почвы и, как правило, близкая к нейтральной реакция среды, не должны препятствовать успешному возделыванию основных сельскохозяйственных культур и получению высоких и устойчивых урожаев.

Таблица 94

Кислотность почв некоторых областей РФ (2004 г.)

Области	Группировка почв по степени кислотности, %						
	Очень сильно кислые	Сильно кислые	Средне кислые	Слабо кислые	Близкие к нейтральным	Нейтральные	Итого кислых почв
Смоленская	-	11,2	22,2	25,9	23,3	17,4	59,3
Владимирская	-	1,9	6,4	25,2	47,3	19,2	33,5
Пензенская	0,1	6,0	43,7	37,3	8,3	4,6	87,1
Тамбовская	-	0,1	19,6	51,1	22,3	6,9	70,8

Однако на практике происходит повсеместное подкисление среды не только в оподзоленных и выщелоченных, но и в типичных и обыкновенных чернозёмах. Агрохимическое обследование почв в регионах с преобладанием чернозёмов выявило 13-15 млн га их с pH солевой суспензии менее 5,5. Зафиксированы черно-

зёмы не только со средней, но и с сильной степенью кислотности. Результаты длительных полевых опытов и поэтапные агрохимические обследования почв показали, что в зоне среднегодовое уменьшение величины pH почвенной среды составляет 0,03. Возникают парадоксальные явления, когда в Пензенской области, где преобладают выщелоченные чернозёмы, средневзвешенный показатель pH составляет 5,0, а в Псковской, с подзолами – 5,5. В таблице 94 приведены данные по кислотности почв в двух областях Нечерноземья, Центрального и Приволжского районов, свидетельствующие о преобладании процента кислых почв в последних. По данным ряда длительных полевых опытов (Тамбовский СХИ, Пензенская ГСХА, Мордовский СХИ и др.) известкование чернозёмов с кислой реакцией среды обеспечивает достаточно высокий агрономический и экономический эффект. Следовательно, контроль над реакцией среды в чернозёмах, ненасыщенных основаниями, и её прогнозирование является важной составной частью в решении задачи расширенного воспроизводства плодородия.

Закономерность изменения величины pH чернозёмов при известковании установлена в ряде длительных полевых опытов. Так, в двухфакторном полевом опыте (факторы: дозы NPK и $CaCO_3$) Тамбовского НИИСХ, проведенного Л.Н. Вислобоковой на основании корреляционного анализа установлено, что имеется отчетливая прямая связь между дозами извести ($CaCO_3$, т/га) и сдвигом величины pH (ΔpH). Эту зависимость отражают следующие уравнения регрессии:

pH 1-ый год = $5,35-0,124(NPK)^{0,5}+0,597Ca^{0,5}+0,29Ca$; R=0,98 (49)

pH 2-ой год = $5,452 - 0,124(NPK)^{0,5} + 0,807Ca$; R=0,98 (50)

pH 3-ий год = $5,33 + 0,67Ca^{0,5}+0,33Ca$; R=0.99 (51)

pH 4-ый год = $5,64 + 0,55 (NPK)^{0,5}- 0,494(NPK) +0,56Ca$; R=0,97 (52)

pH 5-ый год = $5,35 + 0,69Ca$; R=0,98 (53)

pH 6-ой год = $5,54 + 0,628Ca$; R=0,97 (54)

В итоге, изменение кислотности выщелоченного тяжелосуглинистого чернозёма функционально зависело от доз извести. Применяемые в опыте дозы $N_{40}P_{38}K_{40}$ и $N_{80}P_{76}K_{80}$ в течение 6 лет лишь 3 раза оказывали очень слабое подкисляющее на почвенную среду действие. Величина pH в динамике от NPK по годам на произвесткованных делянках изменялась незначительно.

В отличие от pH солевой суспензии гидролитическая кислотность уменьшалась в течение всей ротации севооборота. Исходная величина Нг равнялась 6,1…7,2 мг-экв. На 100 г почвы, через год действия извести она снизилась до 1,7…4,6, а через шесть лет до 1,4…3,8. Столь большие колебания Нг обусловлены количеством внесённой в почву извести. Чем выше доза внесённой извести, тем стабильнее становится уровень Нг в почве. От уровня удобренности отмечено незначительное изменение Нг в сторону снижения.

Зависимость показателя Нг от доз минеральных и известковых удобрений представлена следующими уравнениями регрессии:

Нг 1-ый год = $6,54 - 2,69\ Ca^{0,5}$; R = 0,97 (55)

Нг 2 –ой год = $586 + 0,371\ (NPK)^{0,5} - 2,044Ca^{0,5} - 0,62Ca$; R = 0,99 (56)

Нг 3 -ий год = $5,34 + 0,556(NPK)^{0,5} - 2,406Ca^{0,5} - 0,459\ (Ca \cdot NPK)^{0,5}$; R = 0,99 (57)

Нг 4 –ой год = $4,71 - 1,349\ Ca^{0,5} + 0,251(NPK) - 0,631Ca$; R = 0,99 (58)

Нг 5 -ый год = $5,37 - 2,463Ca^{0,5}$; R = 0,96 (59)

Нг 6 –ой год = $4,70 - 1,299Ca^{0,5} + 0,228(NPK)$; R = 0,96 (60)

Приведенные уравнения также свидетельствуют о том, что главным фактором в нейтрализации избыточной потенциальной почвенной кислотности является известкование. Действие минеральных удобрений было слабым и неустойчивым.

Под влиянием извести улучшились не только кислотные свойства почвы, но и существенно изменилась степень насыщенности почвенного поглощающего комплекса основаниями. Исходное значение V% равнялось на неудобренном фоне 84,7…85,5, на фоне одинарной дозы минеральных удобрений 84,6…85,9, на двойной 85,4…86,9 при известковании произошло повышение степени насыщенности основаниями, оно продолжалось в течение всей ротации севооборота. Полученные уравнения регрессии уточняют зависимость степени насыщенности основаниями от основных изучаемых факторов.

V% 1-ый год = $85,68 + 6,55Ca^{0,5}$; R = 0,98 (61)

V% 2-ой год = $87,93 + 3,61Ca^{0,5} - 0,63(NPK) + 1,85Ca$; R = 0,98 (62)

V% 3-ий год = $89,44 - 1,426\ (NPK)^{0,5} + 4,783\ Ca^{0,5} + 1,186(NPK \cdot Ca)^{0,5}$; R = 0,99 (63)

$V\%_{4\text{-ый год}} = 90,29 - 0,7(NPK) + 3,44Ca;\ R = 0,97$ (64)

$V\%_{5\text{-ый год}} = 88,33 + 4,18Ca;\ R = 0,96$ (65)

$V\%_{6\text{-ой год}} = 88,56 + 5,5Ca^{0,5} - 0,42(NPK);\ R = 0,98$ (66)

Увеличение степени насыщенности основаниями (V) зависело от доз извести. На неудобренном фоне половинная доза извести повышала V на 7,7%; полная на 8,6; полуторная на 10,6; двойная на 11,1% за шесть лет севооборота. На фоне одинарной дозы минеральных удобрений дозы извести повышали V (%) соответственно: на 7,1; 9,0; 9,6; 10,2, а на фоне двойной дозы минеральных удобрений показатель V (%) снижался и составлял: 5,1; 7,5; 8,9; 8,6.

Таблица 95

Влияние систематического применения минеральных удобрений на физико-химические свойства почвы (опыт 1, среднее по двум полям)

Вариант опыта	Слой почвы, см	pH kcl	Hг	S	V%
			мэкв/100 г почвы		
Исходная почва	0 - 25	4,90	9,3	28,0	74,9
	30 - 40	4,88	8,6	26,6	75,2
$N_{470}P_{500}K_{330}$	0 - 25	4,65	10,6	26,8	69,6
	30 - 40	4,70	9,4	26,4	73,4
$N_{900}P_{1080}K_{740}$	0 - 25	4,59	10,9	24,2	68,1
	30 - 40	4,67	9,2	24,9	72,0
$НСР_{05}$	0 - 25	0,17	2,2	2,3	5,1
	30 - 40	0,11	1,2	2,5	2,5

В полевом опыте на выщелоченном черноземе Мордовской сельскохозяйственной станции (А.В. Ивойлов, 1988) систематическое применение минеральных удобрений, особенно повышенных доз, существенно повысило кислотность не только пахотного, но и подпахотного слоев почвы (табл.95).

Подкисляющее действие минеральных удобрений на реакцию почвенной среды стало проявляться на пятый год их применения и затем нарастало. Среднегодовые темпы изменения кислотности почвы и её насыщенности основаниями составили соответственно -0,028 - 0,034pH и –0,50 - 0,68 V(%). Эти данные свидетельствуют о слабой устойчивости буферной системы выщелоченно-

го чернозема к подкисляющему действию стандартных форм минеральных удобрений (табл.96).

Таблица 96

Среднегодовое изменение физико-химических показателей почвы в зависимости от уровня удобренности

Вариант опыта	pH_{H_2O}	pHkcl	Hг	S	V%
			мэкв/100 г почвы		
$N_{470}P_{500}K_{330}$	-0,057	-0,028	+0,14	-0,10	-0,50
$N_{900}P_{1080}K_{740}$	-0,030	-0,034	+0,15	-0,38	-0,68

На рисунках 11 и 12 показана динамика сдвига pH и Hг в течение восьми лет. Максимальное увеличение значений pH и снижений Hг наблюдалось соответственно в первый и четвертый годы. Затем действие известкования начинало затухать и на восьмой год значительных различий между дозами известняковой муки не наблюдалось.

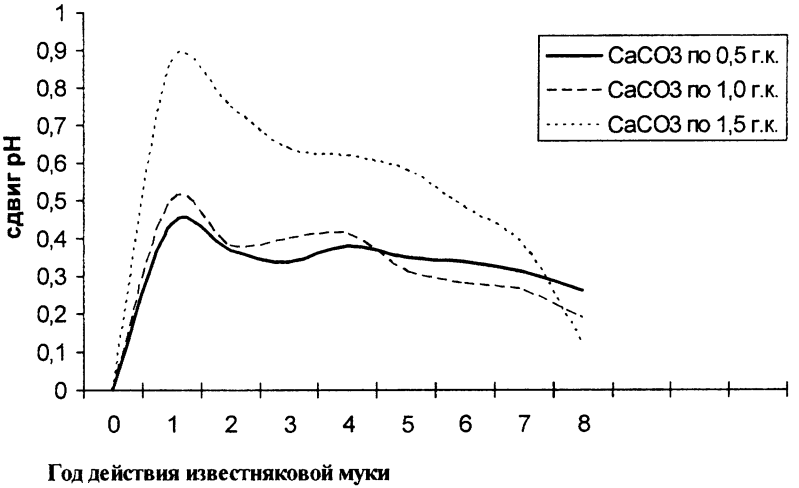

Рис. 11 Изменение pH во времени в произвесткованном выщелоченном тяжелосуглинистом черноземе

Расчеты, произведенные А.В. Ивойловым (1988), показали, что потери кальция из почвы тесно связано с количеством внесенного известкового удобрения. Миграция кальция из пахотного слоя при внесении полуторной по гид-

ролитической кислотности (г.к.) дозы известняковой муки была в 2-3 раза выше, чем по дозам 0,5 и 1,0 г.к. Поэтому внесение на черноземах доз извести выше 1,0 г.к. расточительно.

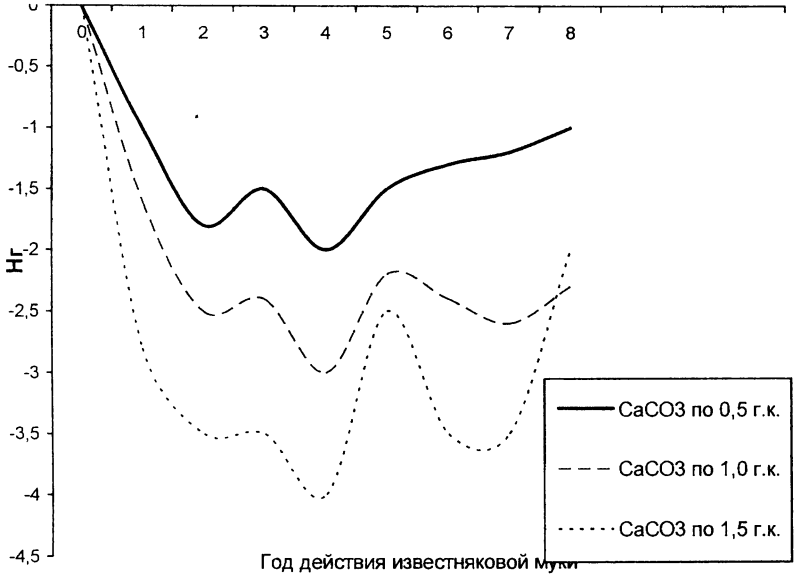

Рис. 12 Изменение Нг во времени в произвесткованном выщелоченном тяжелосуглинистом черноземе

Проведенные в течение восьми лет химические анализы свидетельствуют о том, что процесс нейтрализации почвенной кислотности охватывает не только пахотный, но и подпахотный (30-40 см) слои почвы, что свидетельствует о миграции карбонатов из верхнего горизонта почвы.

Закономерность действия доз известняковой муки на pHkcl, гидролитическую кислотность, сумму поглощенных оснований и степень насыщенности основаниями для слоя почвы 0-40 см в среднем за 7 лет (1-я ротация севооборота) выражалась следующими уравнениями регрессии:

$$pH = 5{,}00 + 0{,}66\ Ca - 0{,}21\ Ca^2;\ R = 0{,}99 \pm 0{,}01 \quad (67)$$

$$Hг = 8{,}65 - 3{,}16Ca + 1{,}16\ Ca^2;\ R = 0{,}98 \pm 0{,}01 \quad (68)$$

$$S = 30{,}7 + 3{,}1Ca - 1{,}0Ca^2;\ R = 0{,}92 \pm 0{,}28 \quad (69)$$

$$V = 78{,}1 + 7{,}8Ca - 2{,}8Ca^2;\ R = 0{,}98 \pm 0{,}14 \quad (70)$$

Как следует из приведенных уравнений, на произвесткованной почве минеральные удобрения не оказывали влияния на физико-химические свойства черноземов. Ф.Г. Бурганов (1993) в условиях Татарстана исследовал динамику изменения кислотности почв различного генезиса дерново-подзолистой, серой лесной и ненасыщенных основаниями черноземов.

$$Hг = 8,65 - 3,16Ca + 1,16\ Ca^2;\ R = 0,98 \pm 0,01 \quad (68)$$

$$S = 30,7 + 3,1Ca - 1,0Ca^2;\ R = 0,92 \pm 0,28 \quad (69)$$

$$V = 78,1 + 7,8Ca - 2,8Ca^2;\ R = 0,98 \pm 0,14 \quad (70)$$

Были установлены закономерности смещения реакции среды произвесткованных почв в зависимости от доз извести, исходной кислотности и времени взаимодействия мелиоранта с почвой. В обобщенном виде количественную взаимосвязь между этими факторами отражают следующие уравнения регрессии:

Дерново-подзолистые среднесуглинистые

$$pH = 2,35 + 0,377pH_{исх.} + 0,028pH^2_{исх.} + 0,248Ca - 0,009Ca^2 - 0,061T - 0,0039Ca \cdot T;\ R = 0,97 \quad (71)$$

Серые лесные тяжелосуглинистые

$$pH = 2,15 + 0,378pH_{исх.} + 0,040pH^2_{исх.} + 0,149Ca - 0,0019Ca^2 - 0,036T - 0,0049Ca \cdot T;\ R = 0,98 \quad (72)$$

Черноземы выщелоченные и оподзоленные тяжелосуглинистые

$$pH = 2,68 + 0,120pH_{исх.} + 0,06pH^2_{исх.} + 0,199Ca - 0,007Ca^2 - 0,025T - 0,005Ca \cdot T;\ R = 0,98 \quad (73)$$

где pH – ожидаемое после известкования значение pH;
pH исх. – исходный уровень реакции почв;
Ca – доза извести ($CaCO_3$), т/га
T – годы после известкования.

Установлено, что действие извести на смещение реакции наиболее сильно проявляется на дерново-подзолистых почвах, наименее – на черноземах. Так, внесение на среднекислых почвах 3-9 т/га $CaCO_3$ привело к сдвигу pH на 0,60-1,40 единиц на дерново-подзолистых, 0,47-1,20 – серых лесных почвах и 0,33-0,99 единиц – на выщелоченных чернозёмах. Изолинии смещения pH от извести на различных типах почв показаны на рисунках 13-15.

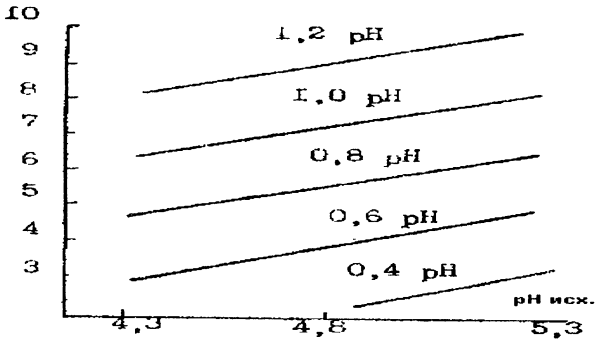

Рис. 13 Серые лесные почвы

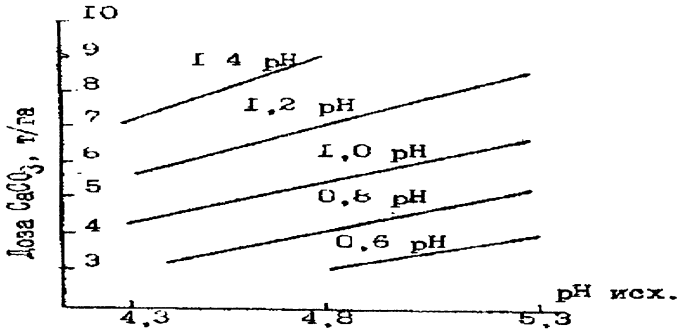

Рис. 14 Дерново-подзолистые почвы

По мере увеличения доз извести возрастает величина общего сдвига pH, но уменьшается сдвиг pH от 1 тонны $CaCO_3$, одновременно увеличивается расход извести на смещение pH на 0,1. С увеличением дозы извести потери достигнутого смещения pH возрастают и составляют ежегодно на каждую внесённую тонну $CaCO_3$ 0,0039 ед. на дерново-подзолистых, 0,0049 ед. – на серых лесных и 0,005 ед. – на чернозёмных почвах.

Исследования Ф.Г. Бурганова выявили, что на различных типах почв длительность действия одних и тех же доз извести одинаковая в относительных величинах и отличается по группам их исходной кислотности. Расчёты показали,

что при внесении оптимальных норм извести на различных типах почв, восстановление слабокислой реакции происходит через 4-6 лет после известкования, вследствие этого цикличность агрохимического обследования пахотных почв должна быть не более 5 лет.

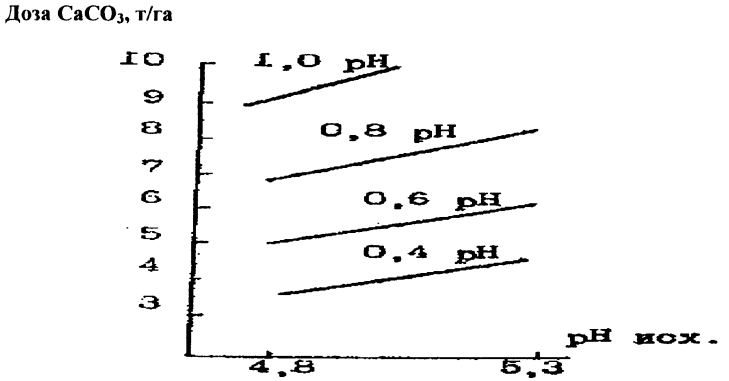

Рис. 15. Чернозёмы выщелоченные и оподзоленные

Определение потерь карбонатов проводили методом косвенных расчётов снижения во времени эффективности внесённых известковых удобрений и изменения в динамике почвенной кислотности (И.А.Шильников и др. 1982; А.Н. Небольсин и др. 1983). Полученные данные о потерях извести описываются следующими уравнениями регрессии:

Для дерново-подзолистых почв

$$У = -568 + 153{,}7pH + 39{,}8Ca;\ R = 0{,}98; \quad (74)$$

Для серых лесных почв

$$У = -399 + 117{,}9pH + 38{,}5Ca;\ R = 0{,}97; \quad (75)$$

Для выщелоченных и оподзоленных черноземов

$$У = -636 + 170{,}3pH + 39{,}7Ca;\ R = 0{,}98; \quad (76)$$

У - среднегодовые потери $CaCO_3$, кг/га; pH – исходное значение pH известкуемой почвы; Ca – доза $CaCO_3$, т/га.

Уравнения регрессии показывают, что размеры потерь извести зависят как от доз мелиоранта, так и от исходного уровня кислотности: с увеличением обоих показателей потери карбонатов из почвы возрастают. Следовательно, внесе-

нием оптимальных норм извести, можно уменьшить величину этих потерь. При этом возможные потери в среднем составляют: 380 кг/га $CaCO_3$ на дерново-подзолистых, 450 – на серых лесных и 500 кг/га $CaCO_3$ на черноземных почвах. Эти данные свидетельствуют, также как и в опытах А.В. Ивойлова, о высокой миграционной способности кальция чернозёмов. Последнее является одной из главных причин достаточно быстрого повышения их кислотности в условиях интенсивного земледелия.

В многофакторном полевом опыте на выщелоченном черноземе Пензенской области, доза Са 0,5 от Нг обеспечила слабокислую реакцию среды, а доза, равная Са 1,0 Нг – близкую к нейтральной. Минеральные удобрения ослабляли действие доломитовой муки, и только кальций в дозе 1,5 Нг обеспечивал во всех вариантах реакцию среды близкую к нейтральной. Сдвиг кислотности снижался с увеличением доз туков. При использовании полной нормы доломитовой муки Са 1,0 Нг в сочетании с максимальной дозой минеральных удобрений сдвиг pH в сторону нейтральной реакции среды был в 1,8 раза ниже, чем без удобрений. При внесении доломитовой муки показатель pH возрастал на 0,8-2,4, а при совместном применении мелиоранта и удобрений – на 0,8-1,3 ед. Под влиянием известкования гидролитическая кислотность снизилась на 2,3- 4,4 мг-экв. на 100 г почвы. Суммарные максимальные дозы минеральных удобрений $N_{360}P_{270}K_{270}$ увеличили гидролитическую кислотность на 31,3% (Г.Е. Гришин, 2001).

При совместном внесении минеральных удобрений и доломитовой муки изменение гидролитической кислотности было слабее. Если внесение мелиоранта в дозе 8,2 т/га без удобрений вызывало снижение кислотности на 3,3 мг-экв/100 г почвы, то на фоне максимальных доз удобрений это смещение составило 2,5 мг-экв.

Данные многолетнего опыта показали, что между дозами доломитовой муки и формами кислотности почвы существует тесная корреляционная связь. Коэффициент корреляции между количеством внесённой доломитовой муки и величиной pH составил 0,97, а гидролитической кислотностью – 0,91. Уравнение регрессии взаимосвязи pH (y) с количеством доломитовой муки (x) представле-

но полиномом третей степени : $y_1 = 4,291 + 2,25x - 1,161x^2 + 0,252x^3$, а уравнение взаимосвязи гидролитической кислотности с количеством мелиоранта уравнением вида: $y_2 = 8,465 - 6,995x + 4,633x^2 - 1,040x^3$. Интенсивное изменение кислотных свойств почвы идет до внесения полной дозы доломитовой муки (Са 1,0 по Нг), затем интенсивность снижается.

Зависимость величины pH от вносимых минеральных удобрений носила обратный характер. С увеличением доз удобрений кислотность возрастала. Коэффициенты корреляции при этом равнялись –0,91; -0,93; -0,94.

Уравнения регрессии взаимосвязи доз удобрений (x) и pH (y) имели следующий вид:

без $CaCO_3$ $y_1 = 4,399 + 0,0509x - 0,051x^2 + 0,0000855x^3$; (77)

на фоне Са 1,0 Нг $y_2 = 5,598 + 0,169x - 0,202x^2 + 0,336x^3$; (78)

на фоне Са 2,0 Нг $y_3 = 6,203 - 0,322x + 0,00315x^2 + 0,0161x^3$; (79)

Зависимость гидролитической кислотности от вносимых минеральных удобрений выражалась уравнениями регрессии:

без внесения удобрений $y_1 = 8,372 + 2,83x - 1,928x^2 + 0,421x^3$; (80)

на фоне Са 1,0 Нг $y_2 = 4,995 + 0,492x - 0,555x^2 + 0,167x^3$; (81)

на фоне Са 2,0 Нг $y_3 = 3,997 + 0,322x - 0,153x^2 + 0,0338x^3$; (82)

Коэффициенты корреляции взаимосвязи между этими показателями равнялась 0,95; 0,83; 0,95.

Решение приведённых выше уравнений показывает, что с увеличением доз доломитовой муки сдвиг pH от одной тонны мелиоранта снижался. Увеличение расхода мелиоранта зависело от исходного значения pH. Для изменения pH на единицу на менее кислых почвах расходуется мелиоранта больше за счёт высокой насыщенности почв основаниями.

Активность кальция доломитовой муки зависела от тонины помола: с уменьшением размера частиц активность её возрастала. В условиях лабораторного опыта через 24 часа взаимодействия фракция < 0,25 мм обеспечила нейтральную реакцию среды - 6,68, а остальные фракции 1 – 5 мм – от 4,96 до 4,58 единиц pH. Такой показатель pH при использовании фракций от 1 до 5 мм не

был достигнут, даже после взаимодействия кальция с лимонной кислотой в течение 120 часов. При тонине помола доломитовой муки, равной 5 мм, реакция среды оставалась слабокислой и составляла 5,0 ед. pH. Частицы диаметром 3 мм при 120-часовой экспозиции обеспечили pH – 5,70; а диаметром 1 мм – pH- 6,4.

Положительное влияние известкования на содержание нитратов в дерново-подзолистых почвах установлено давно. Аналогичный процесс по данным исследований последних десятилетий имеет место и в ненасыщенных основаниями чернозёмах. В качестве иллюстрации приведём результаты исследований Н.П. Богомазова, показавшие, что с ростом кислотности содержание нитратного азота снижалась в 5,5 раз, а аммонийного – повышалось в 3,5 раза, общее содержание минерального азота снижалось в 1,4 раза (табл.97).

Таблица 97

Влияние pH на азотный режим выщелоченного чернозёма

Показатели, мг/кг	R	pHkcl						
		3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
$N\text{-}NO_3$	0,91	11,0	19,2	27,4	35,6	43,8	52,0	60,2
$N\text{-}NH_4$	-0,77	34,9	30,8	26,6	22,4	18,2	14,0	9,9
Гумус водорастворимый	-0,94	34,0	29,6	26,6	25,1	25,2	26,7	29,7

Ещё более тесную зависимость между реакцией среды выщелоченного чернозёма и азотным режимом почвы установили в условиях Пензенской области Г.Е. Гришин (2001) и Е.В. Надежкина (2005).

Полученные экспериментальные данные позволяют считать фактор улучшения азотного питания растений при известковании чернозёмов одной из главных причин проявления высокой эффективности известкования оподзоленных и выщелоченных чернозёмов. Однако исследован этот процесс совершенно недостаточно, и он не имеет абсолютно всеобщего проявления. Имеется ряд экспериментальных данных в длительных полевых опытах, когда эффективность известкования чернозёмов была слабой и неустойчивой, что, по-видимому, в первую очередь связано с отсутствием влияния извести в конкретных почвенно-климатических условиях на азотный режим чернозема.

Исследования Н.И. Алямовского выявили зависимость между актуальной (pH в солевой суспензии) и потенциальной – гидролитической формами почвенной кислотности. На этой закономерности основан наиболее распространённый в практике метод определения доз известковых удобрений. Аналогичная закономерность для чернозёмов длительное время отрицалась. Однако исследования А.А. Андрианова (1976), Н.П. Богомазова (1984), А.В. Ивойлова (1988), Г.Е. Гришина (2002) подтвердили наличие такой зависимости для оподзоленных и выщелоченных чернозёмов, но для условий конкретных почвенно-климатических зон (табл. 98).

Таблица 98

Зависимость между pH и физико-химическими свойствами выщелоченного чернозёма (Н.П. Богомазов)

Показатели, мг/кг	R	pH						
		3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Hг, мэкв/100 г	-0,98	15,06	12,65	10,26	7,86	5,47	3,07	0,67
S, мэкв/100 г	0,98	26,8	30,5	34,2	37,9	41,6	45,3	49,0
V,%	0,98	65,8	71,0	76,5	82,1	87,6	93,1	98,6

Л.В. Вислобокова на основании математической обработки экспериментальных данных в полевом опыте на выщелоченном чернозёме получила следующие зависимости между pH, гидролитической кислотностью и суммой поглощённых оснований, описываемые уравнениями регрессии:

$$Hг = 19{,}376 - 2{,}599pH;\ R = 0{,}95 \quad (83)$$

$$CSO = 13{,}132 + 5{,}167pH;\ R = 0{,}81 \quad (84)$$

где Hг – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы;
CSO – сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г почвы;
R – коэффициент корреляции, показывающий тесноту связи между гидролитической кислотностью, CSO и pH.

Исследования С.С. Ярусова (1941) в ВИУА показали, что имеется достаточно тесная корреляционная зависимость между величиной гидролитической кислотности, определяемой по методу Каппена и величиной pH почвенной суспензии уксуснокислого кальция или натрия. Эти работы были проведены в основном с дерново-подзолистыми почвами.

Таблица 99

Гидролитическая кислотность (мэкв на 100 г почвы) выщелоченного чернозёма по определению pH почвенной суспензии CH_3COONa

pH	pH суспензии (сотые доли)									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
6,4	6,68	6,58	6,49	6,39	6,22	6,13	6,05	6,05	5,96	5,88
6,5	5,80	5,72	5,65	5,57	5,50	5,43	5,36	5,29	5,22	5,16
6,6	5,09	5,03	4,97	4,91	4,85	4,79	4,74	4,68	4,63	4,54
6,7	4,50	4,47	4,42	4,38	4,29	4,28	4,23	4,19	4,19	4,11
6,8	4,06	4,02	3,98	3,94	3,91	3,87	3,83	3,79	3,76	3,73
6,9	3,70	3,66	3,63	3,60	3,57	3,54	3,51	3,48	3,45	3,42

Н.П. Богомазов экспериментально установил аналогичную закономерность для выщелоченных чернозёмов Белгородской области. Эта закономерность позволила ему разработать практические рекомендации по определению гидролитической кислотности на основании результатов определения pH почвенной суспензии CH_3COONa (табл.99).

ГЛАВА 15

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОДПАХОТНЫХ ГОРИЗОНТОВ ПОЧВЫ С КИСЛОЙ РЕАКЦИЕЙ

Результаты многолетних полевых и лизиметрических опытов свидетельствуют о том, что на почвах с промывным режимом увлажнения идёт объективный постоянный процесс миграции кальция из пахотного слоя и обеднение последнего основаниями. При внесении нормальных доз известковых удобрений, соответствующих или близких к рассчитанным по полной гидролитической кислотности, реакция подпахотного и нижележащих слоев почвы практически не изменяется. При внесении высоких доз извести (соответствующих 1,5, 2,0 г.к. или выше) на почвах легкого гранулометрического состава заметно снижение кислотности до глубины 1 м, на суглинистых и глинистых почвах этот процесс выражен менее отчетливо. Можно предположить, что на почвах легкого грану-

лометрического состава нейтрализующее избыточную кислотность подпахотных слоев действие извести связано главным образом с механической миграцией мелких частиц известняковой муки, т.е. происходит специфический лессиваж – процесс перемещения в профиле почвы не ее илистой фракции, а тонких пылевидных частиц известняковой муки без их химического разрушения.

Возникает вопрос: насколько положительное значение имеет подщелачивание подпахотных слоев для ее плодородия? Или потерянные из подпахотного слоя в результате миграции кальций и магний теряются бесцельно. В ряде научных публикаций и рекламных проектах за рубежом (Германия, Италия) положительно оценивается необходимость нейтрализации избыточной кислотности подпахотных слоев почвы.

В Германии на избыточно увлажненных глинистых почвах изучали эффективность известкования подпахотных слоев в сочетании с глубоким рыхлением и дренажем с целью улучшения структуры почвы, ее водопроницаемости и воздушного режима. В институте мелиорации и луговодства (г. Иена) был создан специальный плуг для глубокого рыхления подпахотных горизонтов и одновременного внесения в них известковых пылевидных материалов. Опыты показали, что сочетание рыхления почвы на глубину 70 см с внесением в этот слой очень больших доз извести (250-400 ц/га CaO) привело к устойчивому снижению кислотности. В течение 6 лет после такого мелиоративного известкования кислой почвы величина pH подпахотного горизонта удерживалась на уровне 7,0 (в 0,1н KCl суспензии), в то время как поверхностное известкование по дернине не изменяло исходной кислотности. При внесении извести только в пахотный горизонт в слое почвы на глубине 30-40 см величина pH возросла с 3,5 до 5,5, а на глубине 60-70 см повысилась не более чем на 0,5 pH. Сочетание известкования подпахотного горизонта с глубоким рыхлением увеличивало содержание подвижных форм фосфора и калия и улучшало воздухвлагопроницаемость этого слоя почвы (табл. 100).

Таблица 100

Влияние глубоко рыхления и известкования на порозность почвы

Варианты	Объём пор, $м^3$/га		
	общий	воздухопроводящих	капиллярных
Пашня			
Контроль	2861	297	1292 (129 мм)
Глубокое рыхление +известкование пахотного слоя	3185	490	1502 (150 мм)
Глубокое рыхление +известкование на глубину 70 см	3295	680	1787 (179 мм)
Луг			
Контроль	2885	283	1305 (130 мм)
Глубокое рыхление +поверхностное известкование	3211	496	1481 (148 мм)
Глубокое рыхление +известкование на глубину 70 см	3543	788	1839 (184 мм)

Отмечено также усиление активности микроорганизмов и проникновение корней на большую глубину. Улучшение агрохимических, биологических и физико-механических свойств пахотного и подпахотного слоев почвы привело к значительному повышению продуктивности растений. Средние результаты семилетнего полевого опыта с лугопастбищными травами приведены в таблице 101.

Таблица 101

Влияние глубокого рыхления в сочетании с известкованием на продуктивность луга

Варианты	Урожай сухой массы, ц/га
Глубокое рыхление	58,4
То же + 3 т/га CaO поверхностно по дернине	61,8
То же + 20 т/га CaO в слой почвы 0-70 см	71,6
То же + 40 т/га CaO в слой почвы 0-70 см	97,1

В опыте на полевом участке (табл. 102) изучали отзывчивость культур на дренаж, глубокое рыхление, обычное и глубокое известкование. Реакция на отдельные приемы улучшения почвы и их сочетания зависела от вида растений: урожай картофеля увеличился на 10-15%, свеклы – почти в два раза. Результаты

опыта показали, что только дренирование почвы увеличило урожай возделываемых культур на 10-13%, глубокое рыхление в сочетании с внесением обычно рекомендуемой дозы извести в пахотный горизонт – на 24-42%, глубокое рыхление с известкованием подпахотного горизонта – на 21-100%, сочетание последнего с дренажем – на 26-127%.

Таким образом, сочетание глубокого рыхления с известкованием всего улучшаемого слоя почвы положительно влияло на свойства последнего и способствовало росту урожая полевых и лугопастбищных культур.

Таблица 102

Влияние глубокого рыхления и известкования на урожай полевых культур

Вариант	Урожай сухой массы, ц/га			
	картофель	рожь	люцерна (суммарно за 4 года)	свекла
Дренаж	64,0	33,1	301	127
Глубокое рыхление +3 т/га CaO в пахотный горизонт	72,0	36,2	340	138
Глубокое рыхление +25 т/га CaO на глубину 70 см	70,2	41,6	424	194
То же + дренаж	72,6	43,0	433	219

Глубокое рыхление без известкования подпахотного горизонта или проведение его в сочетании с поверхностным внесением извести в обычно рекомендуемых дозах было малоэффективным. Дренирование почвы как самостоятельный прием не оказало существенного влияния на урожай. На фоне же глубокого рыхления в сочетании с известкованием оно было эффективно, когда сумма атмосферных осадков превышала 600-650 мм.

Глубокое рыхление с известкованием 70-сантиметрового слоя почвы оказало влияние не только на величину, но и на качество урожая. На лугопастбищных угодьях значительно улучшался ботанический состав травостоя: увеличилось содержание ценных злаковых трав (в основном лисохвоста лугового) и уменьшилась доля сорных растений, что видно из приведённых данных в таблице 103.

Таблица 103

Влияние глубокого рыхления на ботанический состав травостоя

Вариант	Годы	Злаки	Бобовые	Сорняки
		%		
Контроль	1-ый	65	11	24
	4-ый	68	8	24
	7-ой	65	10	25
Глубокое рыхление	1-ый	66	10	24
	4-ый	67	14	19
	7-ой	65	12	23
Глубокое рыхление + поверхностное известкование	1-ый	68	6	28
	4-ый	82	5	13
	7-ой	78	8	14
Глубокое рыхление + известкование на глубину 70 см	1-ый	67	12	21
	4-ый	89	-	11
	7-ой	82	4	14

В ФРГ проведена серия опытов, в которых также изучали влияние известкования на урожай и качество сельскохозяйственных растений. Исследователи исходили из того, что такая обработка необходима для оздоровления почв, в которых, развиваются процессы оподзоливания и оглеения. При расчете доз извести учитывали наличие обменного кальция в почве. Общее содержание последнего в метровом слое почвы доводили до 80% емкости поглощения, этот уровень принимали за оптимальный. В зависимости от почв дозы извести изменялись от 2,5 до 43 т/га CaO, чаще всего применяли 16-30 т/га CaO. Известь преимущественно вносили в пахотный горизонт, но уже на следующий год наблюдали ее влияние на изменение кислотности подпахотного горизонта почвы.

По данным многочисленных полевых опытов, проведение такой обработки привело к увеличению урожая озимой пшеницы в среднем с 33,9 (24,2-51,3) до 41,5 (30,0-3,6) ц/га, или на 22%; содержание сырого протеина в зерне возросло с 12,2 до 13,3%; улучшилось также хлебопекарное качество зерна. Урожай картофеля увеличился с 280 (233-321) до 330 (258-411) ц/га, или на 18%. Известкование оказало положительное влияние и на содержание крахмала в клубнях, сбор которого увеличился с 48,2 до 60,1 ц/га, или на 25%. Коагулирующее действие высоких доз извести на структуру почвы было настолько значительным, что количест-

во загрязненных клубней при уборке сократилось до 15% и менее. Увеличения поражения клубней паршой, наблюдавшегося обычно в интервале pH 5,5-7,0, не происходило при pH выше 7,0. Урожай сахарной свеклы под влиянием высоких доз извести возрастал с 403 (244-565) до 466 (332-627) ц/га, или на 16%, а сбор сахара - с 61,8 до 74,5 ц/га, или на 20%. Таким образом, при известковании с учётом содержания кальция в метровом слое, повышался не только урожай культур, но и его качество, причем последнее часто было более значительным.

Известкование кислых почв экономически эффективно, затраты на его проведение полностью оплачиваются прибавками урожая первых 4-5 лет, тогда как действие такой обработки на урожай культур длится в течение десятилетий.

С целью выявления эффективности известкования подпахотного горизонта на Костромской опытной сельскохозяйственной станции был проведен модельный мелкоделяночный опыт по следующей схеме:

1. Фон - (NPK) с рыхлением подпахотного слоя
2. Фон + пылевидная известняковая мука в пахотный горизонт
3. Фон + пылевидная известняковая мука в подпахотный горизонт
4. Фон + пылевидная известняковая мука в пахотный и подпахотный горизонт
5. Фон + пылевидная известняковая мука в пахотный и на дно подпахотного горизонта сплошным рассевом
6. Фон + пылевидная известняковая мука в пахотный и на дно подпахотного горизонта ленточно
7. Фон без рыхления подпахотного горизонта.

Повторность четырехкратная. Содержит 7 вариантов 4×7=28 делянок, размер делянок 2 × 2 = 4 кв. метра. Микроделяночный полевой опыт заложен на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве со следующими агрохимическими показателями пахотного и подпахотного горизонтов: pHсол. – 4,0; Hг – 5,3-7,3 мг-экв/100 г почвы; Al – 16,5-19,6 мг/100 г почвы, V - 23-28%. Исследования проведены на двух закладках, вводимых одновременно.

Результаты учёта урожая за 5 лет исследований не выявили заметного положительного действия внесения извести в подпахотный слой почвы. Эффек-

тивность известкования пахотного слоя была высокой. Без внесения извести в пахотный слой клевер, и ячмень погибли (табл. 104).

Таблица 104

Влияние известкования пахотного и подпахотного слоя на урожай сельскохозяйственных культур, зерновые единицы ц/га

Варианты	вико-овсяная смесь	оз. пшеница	клевер	ячмень	клевер	Среднегодовой урожай	Прибавка урожая
1.Фон - NPK, рыхление	20,2	3,6	0	0	14,5	7,7	-
2. $CaCO_3$/0	28,3	39,6	49,9	17,2	22,1	31,4	23,7
3. 0/$CaCO_3$	21,6	5,1	0	0	17,7	8,9	1,2
4.$CaCO_3$/ $CaCO_3$	25,6	44,7	45,9	17,5	23,1	31,4	23,7
5. $CaCO_3$/$CaCO_3$ сплошь	23,2	39,4	47,8	17,3	21,3	29,8	22,1
6. $CaCO_3$/$CaCO_3$ ленточно	27,4	37,6	47,1	16,7	21,2	30,0	22,3
7.Фон, без рыхления	19,1	5,0	0	0	17,3	8,3	0,6

Результаты агрохимических анализов почвы (табл. 105) свидетельствуют об идентичности физико-химических свойств пахотного слоя почвы без известкования и при внесении извести только в подпахотный слой.

Таблица 105

Влияние известкования пахотного и подпахотного горизонтов на агрохимические свойства почвы

Агрохимические показатели	Варианты						
	Фон-NPK рыхлен.	$\frac{CaCO_3}{0}$	$\frac{0}{CaCO_3}$	$\frac{CaCO_3}{CaCO_3}$	$\frac{CaCO_3}{CaCO_3спл.}$	$\frac{CaCO_3}{CaCO_3лент}$	$\frac{0}{б/рыхл.}$
pH	3,8 3,8	4,9 4,6	3,8 4,4	5,5 5,4	5,4 5,4	5,2 5,2	3,8 3,9
Hг, мг-экв на 100 г почвы	7,9 7,9	4,5 4,9	7,9 6,3	3,2 3,7	3,5 3,5	4,0 4,0	7,9 7,9
Al, мг /100 г почвы	13,6 14,7	0,7 0,5	9,8 2,1	0,4 0,2	0,2 0,1	0,2 0,3	12,9 13,2
V, %	30,3 29,6	63,0 56,2	35,2 48,7	75,3 71,0	71,9 69,5	66,6 65,0	31,7 30,4

Результаты нашего опыта на легкосуглинистой дерново-подзолистой сильнокислой почве свидетельствуют о нецелесообразности известкования подпахотного слоя даже с высокой кислотностью. Эти данные подтверждают установленное в середине прошлого столетия профессором Ярусовым С.С. положение о том, что главное отрицательное действие избыточной кислотности на растения проявляется именно в начальные периоды их роста и развития. В поздние фазы растения становятся устойчивее к кислотности почвы.

Различные результаты в наших и зарубежных опытах можно объяснить тем, что эффективность известкования подпахотных горизонтов проявляется, главным образом, на тяжелых по гранулометрическому составу с неблагоприятными физико-химическими свойствами глинистых почвах в условиях избыточного увлажнения при сумме годовых атмосферных осадков значительно выше 600 мм. Именно на этих почвах и в этих климатических условиях нашей страны целесообразно провести соответствующие исследования.

ГЛАВА 16

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Без поддерживающего известкования кислотность почв с pH 4,5 и более во времени увеличивается. Кислотность почв в диапазоне с сильнокислой реакцией среды (pH 4,5 и менее) в динамике изменяется очень слабо и поэтому в расчетах не учитывается. Темп увеличения кислотности почвы зависит от уровня реакции среды: чем выше величина pH, тем относительно быстрее снижается ее значение. В среднем ежегодное снижение величины pH составляет:

группировка почв по кислотности	среднегодовое уменьшение величины pH на:	средняя величина pH по группам для расчетов
6,1 и более	0,07	6,3
5,6-6,0	0,05	5,8
5,1-5,5	0,03	5,3
4,6-5,0	0,015	4,8
4,5 и менее	не учитывается	4,3

Средневзвешенная величина pH на исходный год по состоянию кислотности рассчитывается по следующей формуле (1):

$$\frac{6,3 \cdot а + 5,8 \cdot б + 5,3 \cdot в + 4,8 \cdot г + 4,3 \cdot д}{а + б + в + г + д} = pH \qquad (1)$$

где, а, б, в, г, д – площади почв групп по pH

Затем рассчитывается средневзвешенная величина pH на прогнозируемый год по следующей формуле (2):

$$\frac{(6,3 - х \cdot 0,07) \cdot а + (5,8 - х \cdot 0,05) \cdot б + (5,3 - х \cdot 0,03) \cdot в + (4,8 - х \cdot 0,015) \cdot г + 4.3д}{а + б + в + г + д} = pH, \quad (2)$$

где а, б, в, г, д – площади почв по группам pH
х – число лет, на которое планируется изменение pH

Данный расчет правомерен в случае, если ежегодное применение органических удобрений менее 10 т/га, а минеральных – менее 300 кг/га – в расчете на всю площадь за год.

Пример расчета средневзвешенной величины pH, например, через 7 лет. Допустим в группах pH по кислотности были следующие площади почв (га):

6,1 и более	70
5,6 – 6,0	50
5,1 – 5,5	80
4,6 – 5,0	50
4,5 и <	50

Рассчитываем pH на настоящий или исходный период по формуле 1:

$$\frac{6,3 \cdot 70 + 5,8 \cdot 50 + 5,3 \cdot 80 + 4,8 \cdot 50 + 4,3 \cdot 50}{300} = 5,36$$

Затем рассчитываем средневзвешенную величину pH, которая будет через 7 лет по формуле 2:

$$\frac{(6,3 - 7 \cdot 0,7) \cdot 70 + (5,8 - 7 \cdot 0.05) \cdot 50 + (5,3 - 7 \cdot 0,03) \cdot 80 + (4,8 - 7 \cdot 0,015) \cdot 50 + 4,3 \cdot 50 + 4,3 \cdot 50}{300} = 5,12$$

Следовательно, средневзвешенная величина pH на площади 300 га за 7 лет уменьшится на 5,36 – 5,12 = 0,24

Расчет изменения в динамике структуры площадей по группам кислотности производится в следующей последовательности:

1. Вначале находится суммарное уменьшение величины pH (- pH) за определенный период. Рассмотрим на следующем примере: допустим, что в нашем регионе имеется следующая исходная группировка почв по кислотности:

	pH	млн га
Срок прогнозирования 6 лет	5,6-6,0	10
	5,1-5,5	25
	4,6-5,0	10
	< 4,5 и менее	5

2. Находим снижение pH за 6 лет по группам кислотности

Группа pH	5,6-6,0	-pH = 0,05· 6 = 0,30
	5,1-5,5	-pH = 0,03· 6 = 0,18
	4,6-5,0	-pH = 0,015· 6 = 0,09

3.Затем находим % - pH от диапазона 0,5 pH для каждой группы:

Группа pH	5,6 - 6,0	0,3: 0,5·100 = 60 %
	5,1 - 5,5	0,18: 0,5·100 = 36 %
	4,6 - 5,0	0,09: 0,5·100 = 18 %

Именно такой % почв по площади перейдет в следующую (более низкую по pH) группу:

группа pH	5,6 - 6,0	10 · 0,6 = 6 млн га
	5,1 - 5,5	25 · 0,36 = 9,0 млн га
	4,6 - 5,0	10 · 0,18 = 1,8 млн га

4. В итоге производим расчет структуры почв по pH через 6 лет

группа pH	5,6 - 6,0	10 млн га - 6 млн га = 4 млн га
	5,1 - 5,5	25 млн га – 9млн га + 6 млн га = 22 млн га
	4,6 - 5,0	10 млнга –1,8 млн га +9,0 млн га = 17,2 млнга
	4,5 и менее	5 млн га + 1,8 млн га = 6,8 млн га

Составляем итоговую таблицу (106) по площадям почв с различной кислотностью через 6 лет:

Таблица 106

Группы почв по pH	Кислотность почв			
	Исходная		Через 6 лет	
	млн га	%	млн га	%
5,6 – 6,0	10	20	4	8
5,1 – 5,5	25	50	22	44
4,6 – 5,0	10	20	17,2	34
4,5 и менее	5	10	6,8	14
всего	50		50	
в т.ч.с pH 5,5 и менее	40	80	36	92
5,0 и менее	15	30	24	48

Таким образом, площадь почв, нуждающихся в известковании, увеличится через 6 лет на 6 млн га, а нуждающихся в первоочередном известковании (pH 5,0 и менее) – на 9 млн га.

В соответствии с разработанной нами методикой был произведен расчет изменения кислотности пахотных почв Российской Федерации на 2010 год. В качестве исходной информации использована разработанная ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова «Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации» на 1 января 2004 года по группам кислотности пахотных почв от pH 4,5 и менее до pH 5,6-6,0. Результаты расчётов свидетельствуют о резком неблагоприятном для плодородия изменении реакции среды в почве к 2010 году (табл. 108). Общая площадь пахотных почв с pH 5,5 и менее возрастёт на 16,4 млн га. площадь почв, нуждающихся в первоочередном известковании (pH 5,0 и менее) увеличится с 21 до 36% и составит более 21 млн га.

Таблица 108

Прогноз структуры кислотности пахотных почв на 2010 год

Группа почв по pH	Исходная (2003 год)		Через 7 лет (2010)	
	млн га	%	млн га	%
5,6-6,0	24,03	40,9	7,21	12,3
5,1-5,5	22,51	38,2	29,88	51,2
4,6-5,0	9,54	16,2	16,99	29,2
4,5 и менее	2,72	4,6	4,27	7,3
Всего	58,8		58,4	
в т.ч. с pH 5,5 и менее	34,8	59,2	51,2	87,7
всего с pH менее 5,0	12,26	20,9	21,26	36,4

Для того чтобы только поддерживать такую структуру кислотности потребуется вносить ежегодно не менее 20-22 млн тонн $CaCO_3$ или 33-36 млн тонн известковых удобрений в физической массе.

В таблице 107 приведен прогноз изменения кислотности пахотных почв Владимирской области.

Таблица 107

Прогнозирование кислотности почвы (изменение pH) Владимирской области

Группировка почв по степени кислотности	исходная		Через 6 лет		Через 7 лет		Через 8 лет		Через 9 лет		Через 10 лет	
	тыс. га	%	тыс.га	%	тыс.га	%	тыс.га	%	тыс.га	%	тыс.га	%
5,6-6,0	244,6	60	97,8	24	73,4	18	48,9	12	24,5	6	-	-
5,1-5,5	117,1	29	221,7	54	239,1	59	256,6	63	274,0	67	291,4	72
4,6-5,0	35,7	9	71,4	18	77,4	19	83,3	21	89,3	22	95,3	23
4,5 и менее	10,0	1	16,4	4	17,5	4	18,6	4,5	19,6	5	20,7	5
Всего	407,4	-	407,4		407,4	-	407,4	-	407,4	-	407,4	-
в т.ч. с pH 5,5 и менее	162,7	28,9	309,5	78	334,0	92	358,5	88	383,0	94	407,4	100

ГЛАВА 17

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ КАК ИЗВЕСТКОВЫХ УДОБРЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СТРУКТУРЫ

Основным критерием оценки шлаков как известковых удобрений в настоящее время принято считать их нейтрализующую способность, которая достаточно полно характеризует вероятное общее действие известкового удобрения на кислотность почвы и урожай растений. В то же время эта величина, являясь фактором емкости, не отражает скорости взаимодействия известкового удобрения с почвой. Известно, что некоторые формы металлургических шлаков медленно растворяются в почве. Для изучения интенсивности их взаимодействия с почвой были проведены исследования растворимости Са и Mg шлаков в 2%-ной лимонной кислоте (по Вагнеру) и в буферных растворах с pH от 3,9 до 6,2. Нейтрализующую способность определяли по методу Алямовского. В качестве буферных растворов были взяты цитратные смеси Зеренсена (по Сердобольскому). Объектами исследований являлись мартеновские и доменные шлаки Нижне - Салдинского металлургического завода, электросталеплавильные Верх-Исетского металлургического завода и ферросплавные Серовского ферросплавного завода, имеющие следующий химический состав:

шлаки	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	MnO	$Fe_{общ}$	Fe_2O_3
ферросплавные	49,8	9,4	27,3	2,0	-	2,0	-
электросталеплавильные	58,0	12,0	22,0	3,1	1,0	0,9	1,1
доменные	42,6	5,9	33,7	15,8	1,0	0,6	0,1
мартеновские	40,0	14,0	19,4	4,8	5,8	12,6	1,2

В качестве контрольного варианта была взята известняковая мука, содержащая CaO 52,6%, MgO 0,6%. Шлаки и известняковая мука были размолоты до одинаковой удельной поверхности, равной 2000 $см^2/г$ (остаток частиц шлака на сите с размером 1 мм 2%, < 0,25 мм – 38%).

Растворимость шлаков в почве и влияние на изменение её кислотности может зависеть от их минералогического состава. Результаты петрографических исследований используемых в опытах шлаков выявили основные состав-

ляющие их минералы. Установлено, что в ферросплавных и электросталеплавильных шлаках основной минеральной составляющей является двухкальциевый силикат. Доминирующими минералами мартеновских шлаков являются мервинит и монтичеллит, доменных – мелилит, состоящий из окерманита и геленита (Васильева С.Н., 1975; 1976).

В связи с тем, что рассматриваются самораспадающиеся, гранулированные и не гранулированные шлаки, остановимся на их особенностях. Так, ферросплавные и электросталеплавильные шлаки представляют собой тонкодисперсный порошок, получающийся в результате силикатного распада, причиной которого является полиморфное превращение двухкальциевого силиката при изменении температуры шлака. Гранулированные шлаки получаются на специальных установках в результате быстрого охлаждения и раздробления водой, паром, воздухом струи жидкого шлака.

Таблица 109

Нейтрализующая способность и растворимость шлаков в 2%-ной лимонной кислоте

Шлак	Модуль основности $\frac{CaO+MgO}{SiO_2}$	Нейтрализующая способность, % $CaCO_3$	Растворимость в 2%-ной лимонной кислоте, % от общего содержания	
			CaO	MgO
Ферросплавный	2,1	109,0	89,1	11,8
Электросталеплавильный	3,1	108,0	86,1	20,0
Мартеновский стекловидный	2,7	88,0	77,9	27,1
Мартеновский закристаллизованный	2,7	83,0	70,0	20,0
Доменный закристаллизованный	1,3	73,2	66,0	10,2
Доменный стекловидный	1,3	82,0	71,0	12,7
Известняковая мука	-	94,3	81,7	-

Образование стекловидной и кристаллической структуры зависит от скорости остывания, чем больше скорость охлаждения, тем больше стекловидной фазы в шлаке. Микроскопические исследования гранулированного шлака показали,

что гранулы крупнее 5 мм закристаллизованы, а мельче 0,25 мм нацело состоят из стекла. Негранулированные шлаки получаются при медленном охлаждении, в результате чего составляющие их минералы успевают закристаллизоваться. Следовательно, при различной скорости охлаждения шлаковых расплавов наряду с кристаллическими минералами образуется стекловидная фаза.

Были исследованы гранулированные стекловидные, негрануллированные закристаллизованные (мартеновские и доменные), а также самораспадающиеся шлаки (ферросплавные и электросталеплавильные). Результаты определения нейтрализующей способности и растворимости в лимонной кислоте приведены в таблице 109. Высокую нейтрализующую способность имели шлаки ферросплавные, электросталеплавильные и известняковая мука, несколько меньшую – мартеновские стекловидные (88%) и закристаллизованные (83%), а также доменные стекловидные (82%) и закристаллизованные (73,2%). В такой же последовательности размещены шлаки по растворимости в 2 %-ной лимонной кислоте. Результаты исследований показали, что наиболее высокую нейтрализующую способность и растворимость имеют самораспадающиеся шлаки. Следует отметить, что стекловидные мартеновские и доменные шлаки имели более высокую нейтрализующую способность и растворимость CaO и MgO в 2 %-ной лимонной кислоте, чем те же шлаки, но закристаллизованные.

Изучено влияние фазового состава ферросплавных, электросталеплавильных, мартеновских и доменных шлаков на изменение pH буферного раствора и растворимость в них CaO и MgO. На рис. 16 показана растворимость CaO и MgO шлаков в буферных растворах, величина pH которых равнялась 3,95, 4,56, 5,29, 6,24 и изменение pH буферных растворов в процессе растворения. Анализируя растворимость CaO и MgO в интервале pH от 3,95 до 6,24 в зависимости от их содержания в шлаках, видно, что с уменьшением величины pH среды происходит более сильное растворение шлаков. Это явление обусловлено усилением гидролиза шлаков при повышении концентрации водородных ионов в растворах. При этом растворимость CaO и MgO достигает в (%): ферросплавных 83,1, электросталеплавильных 80,0, стекловидных мартеновских 71,4, до-

менных 68,9, закристаллизованных 58,7 и 56,3 соответственно. При pH 6,24 (значение, близкое к величине pH воды) наблюдается небольшое растворение, что обусловлено слабой диссоциацией воды.

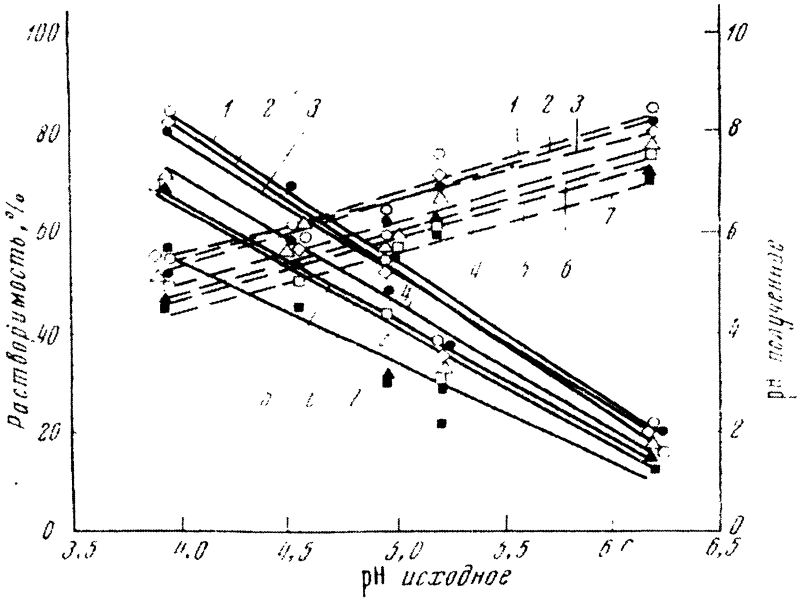

Рис. 16 Растворимость CaO и MgO шлаков в буферных растворах и влияние их на изменение pH этих растворов

Прямая линия - растворимость CaO и MgO шлаков; *пунктирная* – изменение pH буферных растворов под влиянием шлаков;
1 – ферросплавные шлаки; 2- электросталеплавильные шлаки; 3- известняковая мука; 4- мартеновские шлаки; 5- мартеновские закристаллизованные; 6 – доменные стекловидные шлаки; 7 – доменные закристаллизованные шлаки.

Аналогичная картина наблюдается по влиянию шлаков на изменение pH буферных растворов. Наибольший сдвиг pH буферных растворов в сторону нейтральной и щелочной реакции прослеживается у ферросплавных и электросталеплавильных шлаков, а также у шлаков стекловидной структуры, несколько ниже – у закристаллизованных.

Для установления зависимости между нейтрализующей способностью шлаков, растворимостью содержащихся в них CaO и MgO в 2 %-ной лимонной кислоте и буферных растворах, а также влиянием шлаков на изменение кислотности этих растворов был рассчитан коэффициент корреляции, величина которого равнялась соответственно : r = 0,87, 0,71, 0,89 при уровне значимости 0,99. Следовательно, между этими величинами имеется тесная корреляционная связь.

Таким образом, результаты опытов свидетельствуют о том, что растворимость металлургических шлаков в сильной степени зависит от pH среды. С уменьшением pH растворимость шлаков увеличивается, особенно при тех значениях, которые обычно имеют кислые почвы (pH 4,3 - 5,5).

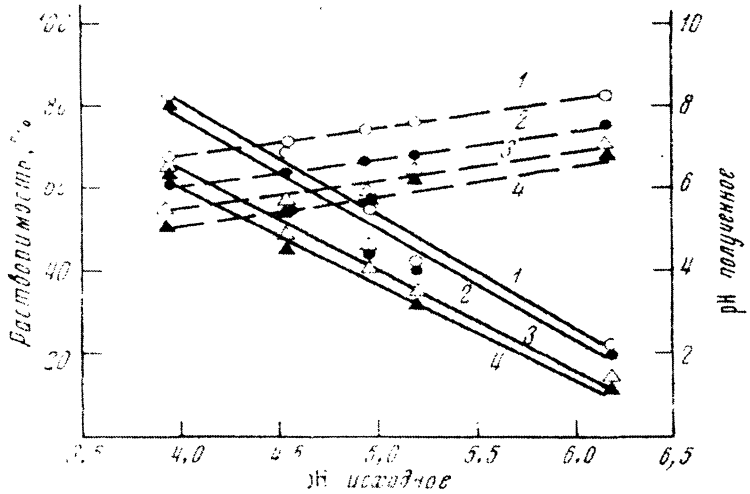

Рис. 17 Растворимость CaO и MgO минералов в буферных растворах и влияние их на изменение pH этих растворов

1 – мервинит стекловидный; 2- мервинит закристаллизованный; 3- мелилит стекловидный; 4 – мелилит закристаллизованный

Установлено также, что нейтрализующая способность и растворимость в 2%-ной лимонной кислоте и в буферных растворах у самораспадающихся и гранулированных шлаков выше, чем у не гранулированных. При анализе результатов определения нейтрализующей способности и растворимости в кислотах со-

единений кальция и магния шлаков обращает на себя внимание тот факт, что видимо, сама по себе основность шлака не является решающим фактором, обусловливающим повышенную нейтрализующую способность шлаков. Это явно прослеживается на примере ферросплавных и электросталеплавильных шлаков. Так, несмотря на меньшую основность ферросплавных шлаков, они превосходят электросталеплавильные шлаки по нейтрализующей способности. Отношение CaO: SiO_2 в ферросплавном шлаке составляет 1,8, а в электросталеплавильном 2,6. Стехиометрическое отношение CaO: SiO_2 в двухкальциевом силикате равно 0,9. Поэтому чем ближе отношение CaO: SiO_2 в шлаке к стехиометрическому двухкальциевого силиката, тем больше образуется в нем этого минерала. По-видимому, растворимость ферросплавного шлака характеризуется высоким содержанием этого минерала. Это также подтверждает предположение о том, что растворимость шлака зависит от вида содержащихся в них минералов.

Высокую растворимость ферросплавных шлаков можно проследить на примере мартеновского закристаллизованного шлака. Несмотря на меньшую основность, ферросплавные шлаки значительно превосходят мартеновские по нейтрализующей способности. Это позволяет предполагать, что рассматриваемые свойства шлаков обусловливаются их стекловидной фазой и находящимися в кристаллическом состоянии минералами. Исследования подтверждают, что растворимость шлаков зависит от их структуры, так как при неодинаковом охлаждении шлаковых расплавов наряду с кристаллическими минералами образуется стекловидная фаза. Поэтому большое значение имеет изучение нейтрализующей способности и растворимости соединений кальция и магния в 2%-ной лимонной кислоте и буферных растворах отдельных минералов и стекла того же состава, являющихся компонентами шлаков (рис. 17). Определение доминирующего минерала с наименьшей нейтрализующей способностью и растворимостью может позволить целенаправленно вести охлаждение шлаков, т.е. кристаллизацию, для получения максимального содержания стекла.

Для этой цели и были синтезированы минералы: двухкальциевый силикат, мервинит, монтичеллит, мелилит, окерманит и геленит, являющиеся основны-

ми минеральными составляющими изученных шлаков. Для получения стекловидной структуры минералов составы плавили при температуре ликвидуса: -30° и после 30-минутной выдержки быстро охлаждали, выливая шлаковый расплав в воду, в результате чего образуется стекло состава минерала. Для получения кристаллической структуры составы после расплавления при этих температурах охлаждались постепенно в печи по мере остывания.

Петрографический анализ показал, что полученные минералы в основном соответствуют заданному составу. Для исследования минералы были размолоты до одинаковой удельной поверхности, равной 2000 $см^2/г$.

Для исследования свойств минералов была определена их нейтрализующая способность, растворимость в 2%-ной лимонной кислоте и буферных растворах с pH от 3,96 до 6,24, а также прослежено влияние минералов на изменение pH этих растворов.

Результаты исследований приведены в таблице 110. Из таблицы видно, что наиболее высокую нейтрализующую способность имеет двух кальциевый силикат (113%), мервинит стекловидный и кристаллический (108 и 89%), самую низкую – геленит кристаллический (35,4%). По растворимости в 2%-ной лимонной кислоте минералы располагаются в том же порядке, как и по нейтрализующей способности. Примечательно, что для минералов с кристаллической структурой также характерна более низкая величина растворимости, чем для минералов со стекловидной структурой состава. Так изучение растворимости CaO и MgO стекловидного и кристаллического мервинита и мелилита в буферных растворах и влияние их на изменение величины pH этих растворов (рис. 17) показало, что растворимость CaO и MgO составила: мер винита стекловидного – 83,2%, закристаллизованного – 81,3%, мелилита – 67,8 и 65% соответственно. По влиянию этих минералов на изменение pH растворов наблюдается такая же закономерность.

Для установления зависимости между нейтрализующей способностью минералов, растворимостью CaO и MgO, содержащихся в них, в 2%-ной лимонной кислоте и буферных растворах, а также влиянием минералов на из-

менение кислотности этих растворов был рассчитан коэффициент корреляции, величина которого равнялась соответственно: r = 0,96, 0,71, 0,73 при уровне значимости 0,99. Следовательно, между этими величинами имеется тесная корреляционная связь.

При помощи петрографических исследований удалось изучить процесс растворения в 2%-ной лимонной кислоте стекловидного и закристаллизованного мартеновского шлака. Время растворения в 2%-ной лимонной кислоте, было удлинено.

Известняковая мука в основном состоит из кальцита, который содержится в отдельных полисинтетических двойниковых зернах. При растворении известняковой муки кальцит исчезает почти полностью. Остаются реликты зерен кальцита, окруженные мелкозернистыми новообразованиями $Ca_3(C_6H_5O_7)_2$, который препятствует дальнейшему растворению, но с увеличением продолжительности растворения они также полностью исчезают.

Мартеновские шлаки имеют порфировую структуру, в которой выделяют зерна периклаза размером 10-20 мк, округлые зерна двухкальциевого силиката первой генерации размером 10-35 мк и второй генерации размером 2-5 мк. При растворении шлака четко проявилось влияние 2%-ной лимонной кислоты на отдельные минералы. Периклаз мало поддается растворению и выкрашивается из шлака в виде отдельных песчинок. Крупные зерна двухкальциевого силиката после 6-часового растворения исчезают даже из центральных частей шлака, что подтверждает его хорошую растворимость.

Был прослежен процесс растворимости в 2%-ной лимонной кислоте отдельных минералов, состоящих из стекловидной и закристаллизованной фазы. Стекловидный мелилит растворяется по трещинам и по всей поверхности. Мелилит состоит из окерманитовой составляющей (10%) и гелента (90%). Отмечается равномерное постепенное растворение.

Для изучения влияния шлаков и минералов, имеющих стекловидную и кристаллическую структуру, на агрохимические свойства почвы и урожай ячменя Винер и клевера Пермский было проведено два вегетационных опыта.

Таблица 110

Нейтрализующая способность и растворимость CaO и MgO основных минеральных составляющих шлаков в 2%-ной лимонной кислоте, %

Минерал	Химическая формула	Общее содержание				Нейтрализующая способность, $CaCO_3$	Растворимость в 2%-ной лимонной кислоте	
		CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3		CaO	MgO
Двухкальциевый силикат	$2CaO \cdot SiO_2$	65,0	-	35,0	-	113,0	95,3	-
Мервинит стекловидный	$3CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$	51,2	12,2	36,6	-	110,0	91,7	69,4
Мервинит кристаллический	«	51,2	12,2	36,3	-	100,0	86,2	55,5
Монтичеллит стекловидный	$CaO \cdot MgO \cdot SiO_2$	35,9	25,6	38,5	-	108,0	85,0	59,0
Монтичеллит кристаллический	«	35,9	25,6	38,5	-	89,6	83,0	46,3
Мелилит стекловидный	$(2CaO \cdot MgO \cdot 2\ SiO_2)$ $(2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2)$	41,3	2,9	25,8	29,9	75,0	72,6	27,9
Мелилит кристаллический	«	41,3	2,9	25,8	29,9	60,0	60,5	31,0
Окерманит стекловидный	$2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$	41,2	14,7	44,1	-	97,9	85,9	30,8
Окерманит кристаллический	«	41,2	14,7	44,1	-	84,6	80,0	27,4
Геленит стекловидный	$2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$	40,8	-	22,0	-	43,0	36,7	-
Геленит кристаллический	«	40,8	-	22,0	-	35,4	31,8	-

Опыты проводились в сосудах Митчерлиха, вмещающих 6 кг воздушно-сухой почвы. В качестве фона были внесены удобрения- N в виде NH_4NO_3, P_2O_5 - в виде KH_2PO_4, K_2O - в виде K_2SO_4 по 0,5 г питательного элемента на сосуд. Известковые удобрения внесены в дозе, соответствующей величине гидролитической кислотности почвы. Опыты заложены на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, имеющей следующие агрохимические показатели: pH- 4,5, Hг–10,5 мэкв/100 г почвы (по Каппену), гумус 3,6% (по Тюрину), K_2O 1,3 мг (по Пейве) и P_2O_5 1,5 мг/100 г почвы (по Кирсанову). Результаты учета урожаев ячменя и клевера в вегетационном опыте представлены в таблице 111.

Таблица 111

Влияние металлургических шлаков на урожай ячменя и клевера, г/сосуд

Варианты	Ячмень (зерно)	Клевер (возд.-сух. масса)
NPK (фон)	14,5	31,3
Фон + известняковая мука	19,8	52,5
фон +ферросплавный шлак	22,4	56,9
Фон + электросталеплавильный шлак	21,8	58,7
Фон + мартеновский стекловидный	20,5	52,6
Фон + мартеновский закристаллизованный	18,9	47,6
Фон + доменный стекловидный	18,4	49,9
Фон + доменный закристаллизованный	16,5	43,0
P, %	2,6	2,2
$НСР_{0,95}$ г/сосуд	1,96	3,8

Из таблицы 111 видно, что наиболее эффективным из изучаемых шлаков является ферросплавный шлак, прибавка урожая зерна ячменя составила 7,9 г/сосуд. Несколько меньшая прибавка (7,3 г/сосуд) получена от электросталеплавильного шлака, а от известняковой муки – 5,0 г/сосуд. Прибавка урожая от мартеновского стекловидного шлака составила 6,0 г/сосуд, а от закристаллизованного – 4,4 г/сосуд. Доменный стекловидный шлак обеспечил прибавку урожая 3,9 г/сосуд, а закристаллизованный 2,0 г/сосуд. Такая же закономерность установлена и для урожая клевера.

В таблице 112 показано влияние шлаков на агрохимические свойства почвы. Наибольшее влияние на кислотность почвы оказали ферросплавные и элек-

тросталеплавильные шлаки. Несколько ниже было действие мартеновского стекловидного шлака и известняковой муки. Наименьшее влияние оказали закристаллизованные мартеновские и доменные шлаки.

Таблица 112

Влияние металлургических шлаков на агрохимические свойства почвы

Вариант	pH		Hг		S		V,%	
			мэкв/100 г почвы					
	годы действия							
	1-ый	2-ой	1-ый	2-ой	1-ый	2-ой	1-ый	2-ой
NPK (фон)	4,5	4,6	10,5	10,7	12,4	12,6	54,2	54,0
Фон + известняковая мука	5,7	6,2	3,3	1,9	21,6	22,0	86,5	93,4
Фон + ферросплавный шлак	6,2	6,4	0,7	0,5	24,8	24,9	97,0	98,4
Фон + электросталеплавильный шлак	6,2	6,3	1,8	1,0	24,8	25,0	93,2	96,9
Фон + мартеновский стекловидный	5,7	6,2	4,1	2,0	20,4	21,0	83,2	84,0
Фон + мартеновский закристаллизованный	5,6	5,9	4,0	3,6	20,8	20,7	83,4	85,1
Фон + доменный стекловидный	5,3	5,7	6,0	4,0	19,0	20,1	68,9	81,3
Фон + доменный закристаллизованный	5,0	5,4	7,9	4,8	18,0	18,5	66,9	76,1

Во втором опыте изучалось влияние минералов на агрохимические свойства почвы и урожай ячменя и клевера. Из табл. 113 видно, что наибольший урожай ячменя и клевера был получен при внесении двухкальциевого силиката, наименьший - закристаллизованного мелилита. Такая же картина наблюдалась и по влиянию на агрохимические свойства почвы. Так, двухкальциевый силикат полностью нейтрализовал почвенную кислотность. Мелилит закристаллизованный оказал наименьшее влияние на почвенную кислотность. Двухкальциевый силикат оказал лучшее действие на урожай и агрохимические свойства почвы.

Коэффициент корреляции между урожаем ячменя и величиной pH солевой вытяжки почвы, определенной после учета урожая этой культуры, составил: r =0,81, который был существенным при уровне вероятности 0,95.

Таблица 113

Влияние минералов на агрохимические свойства почвы и урожай ячменя и клевера, г/сосуд

Вариант	ячмень	клевер	pH		Нг мэкв/100 г почвы	
			годы действия			
			1-ый	2-ой	1-ый	2-ой
NPK (фон)	14,3	14,0	4,5	4,6	10,5	11,0
Фон + двухкальциевый силикат	26,0	32,0	7,2	7,3	0,0	0,0
Фон + мервинит стекловидный	24,0	30,0	7,0	7,2	0,0	0,0
Фон + мервинит закристаллизованный	22,0	28,0	6,4	6,6	1,9	1,6
Фон + монтичеллит стекловидный	23,0	28,5	6,6	6,7	1,7	1,5
Фон + монтичеллит закристаллизованный	20,2	25,0	6,2	6,4	2,2	2,0
Фон + мелилит стекловидный	18,1	22,0	5,5	5,6	5,8	5,0
Фон + мелилит закристаллизованный	17,1	20,0	5,1	5,4	6,3	5,8
P, %	2,6	2,2				
$НСР_{0,95}$ г/сосуд	1,91	1,8				

Следовательно, между влиянием минералов на кислотность почвы и урожаем зерна имеется тесная корреляционная зависимость. Такая же корреляционная связь наблюдалась между урожаем ячменя и гидролитической кислотностью (r = -0,88) и суммой поглощенных оснований (r =0,92).

Стекловидные минералы также сильнее действовали на агрохимические свойства почвы, чем те же, но закристаллизованные.

Таким образом, наиболее высокая нейтрализующая способность ферросплавных шлаков обусловлена тем, что доминирующей фазой в них является двухкальциевый силикат. Вследствие того, что мелилит является преобладающей фазой в доменных шлаках, их влияние на урожай и агрохимические свойства почвы было менее значительным. Вместе с тем у мелилита, окерманита и даже геленита содержание CaO примерно одинаково, в то же время растворимость кальция этих минералов резко различна и падает в ряду окерманит - мелилит - геленит.

Таким образом, нейтрализующая способность шлаков, их влияние на урожай и свойства почвы зависят от структуры, которая обусловлена образованием в них стекловидной и кристаллической фазы. Образование стекловидной структуры зависит от скорости охлаждения. Чем выше скорость, тем больше образуется стекла. Частицы мельче 0,25 мм состоят из стекла, а крупнее 6 мм почти полностью закристаллизованы. Управляя процессом грануляции, можно получать шлак с заданными свойствами, повышающими их ценность как известковых удобрений. Шлаки и минералы, имеющие сильную стекловидную структуру, растворяются лучше, чем кристаллические. Растворимость шлаков зависит от вида минерала. Лучшая растворимость наблюдается у самораспадающихся шлаков, где доминирующим минералом является двухкальциевый силикат. По степени растворимости минералы располагаются в ряд: двухкальциевый силикат > мервинит> монтичеллит > окерманит > мелилит > геленит. По степени растворимости шлаки располагаются в ряд: ферросплавный > электросталеплавильный > известняковая мука > мартеновский > доменный. Такая же последовательность наблюдается по влиянию шлаков и минералов на урожай зерна ячменя, сена клевера и агрохимические свойства почвы. Процесс растворения шлаков и минералов со стекловидной структурой идет интенсивно по всей поверхности, а закристаллизованных – постепенно и выборочно в зависимости от составляющих минералов.

Для улучшения агрохимических свойств шлаков охлаждение их необходимо вести по режиму, обеспечивающему первичную кристаллизацию минералов с образованием для ферросплавных и электросталеплавильных - двухкальциевого силиката, для мартеновских - мервинита, для доменных – мелилита с преобладанием окерманитовой молекулы.

ГЛАВА 18

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАНИЯ ИЗВЕСТКОВАНИЯ С УДОБРЕНИЯМИ, ПОВТОРНОГО ИЗВЕСТКОВАНИЯ И ФОРМ ИЗВЕСТКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТОВ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ

Объекты и методы исследований: Изучение эффективности сочетания минеральных и известковых удобрений проводили в двухфакторном полевом опыте в Смоленском НИИСХ в трех повторениях (6 х 4 х 3 = 72 делянки) на 3-х полях. Площадь учетной делянки 48 м². Дозы возрастающие (6 доз извести, представленных в долях гидролитической кислотности от 0,5 до 2,5, полная доза - 8,3 т/га и 4 дозы NPK, включая нулевую и соответствующие трем уровням среднему – 1(NPK), повышенному – 2(NPK) и высокому – 3(NPK).

Почва дерново-подзолистая легкосуглинистая, слабоокультуренная. Агрохимические показатели почвы: pH 4,0, Нг- 5,5 мг-экв., сумма поглощенных оснований 3,5 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 35%, содержание подвижного алюминия (по Соколову) 7 мг, подвижного фосфора (по Кирсанову) 8,5 мг, подвижного калия (по Масловой) 10 мг/100 г почвы, гумуса (по Тюрину) 2%. Чередование культур севооборота: озимая пшеница, ячмень с подсевом клевера, клевер, озимая рожь, лен, картофель, горохо-овсяная смесь.

Для определения зависимости факторов минерального питания и урожайности севооборота на основе математического анализа были выбраны регрессионные уравнения следующего вида:

$$У = A_0 + A_1(NPK) + A_2(NPK)^{0,5} + A_3Ca + A_4Ca^{0,5} + A_5(NPK \cdot Ca)^{0,5},$$

$$У = A_0 + A_1 \cdot (NPK) + A_2 (NPK)^2 + A_3 Ca + A_4 Ca^2 + A_5 (Ca \cdot (NPK));$$

где, *у- анализируемый параметр, A_0- свободный член, характеризующий значение параметра на контроле, A_1, A_2, A_3, A_4 и т.д. – члены, характеризующие действие NPK , извести и их взаимодействие. Для сокращения в таблицах слово известь заменено знаком - Са, а дозы извести выражены в долях : 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 г.к., (NPK) - дозы минеральных удобрений в кодированных единицах от 1 до 3*

Для определения динамики эффективного последействия факторов использовали следующую регрессионную модель:

$$У = A_0+A_1(NPK)^{0.5}+A_2(NPK)+A_3Ca^{0.5}+A_4Ca+A_5T^{0.5}+A_6T+$$
$$+A_7(Ca(NPK))^{0.5}+A_8(CaT)^{0.5}+A_9((NPK)T)^{0.5};$$

где: *У - урожай, ц/га; Т - год последействия извести.*

С целью выявления закономерностей действия возрастающих доз известковых и минеральных удобрений на агрохимические свойства и продуктивность полевого севооборота на дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава были обобщены результаты полевых опытов, заложенных по аналогичной схеме на Костромской (Петрова И.С.,1987, 1988), Пермской (Попова С.И., 1987, 1990, 1994) и Гомельской (Тараева М.Г.,1979, 1983, 1987) сельскохозяйственных станциях.

Опыт 2. Исследования эффективности повторного известкования проведены в полевом опыте в Смоленском НИИСХ, заложенном на базе опыта с основным известкованием, проведенным в 1968 г. дозой, соответствующей полной гидролитической кислотности (9 т/га $CaCO_3$). В качестве химических мелиорантов использовались известняковая и доломитовая мука, мартеновский шлак. В схеме предусмотрены запасные варианты с внесением мелиорантов в разные сроки.

Данные агрохимической характеристики дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы перед повторным известкованием: $pH_{сол}$ 5,3-5,5, степень насыщенности основаниями 69-75%, Нобм.-0,06-0,07. Опыт проводили на трех полях, в натуре имеет 48 делянок, площадь каждой 132 м², повторность 4-х кратная. Известняковую муку в 1977 году вносили повторно в дозах: 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0, по имеющейся гидролитической кислотности – 2,8 мг-экв на 100 г почвы (полная доза 4,2 т/га $CaCO_3$).

Чередование культур севооборота: ячмень с подсевом клевера, клевер, ячмень, лен, овес, картофель. Минеральные удобрения под зерновые вносили под культивацию в дозах: под ячмень с подсевом трав $N_{90}P_{120}K_{120}$; ячмень и овес $N_{90}P_{90}K_{90}$, под картофель $P_{160}K_{160}$ и лен $P_{60}K_{150}$-осенью под зяблевую вспашку, соответственно N_{160} и N_{20}– весной. Клевер не удобрялся.

Схема опыта

1. Контроль (фон)
2. Фон +известняковая мука по 1 г.к. в 1968 г.
3. Фон +известняковая мука по 1 г.к. в 1968 г. + 0,5 г.к. повторно
4. Фон +известняковая мука по 1 г.к. в 1968 г. + 1,0 г.к. повторно
5. Фон +известняковая мука по 1 г.к. в 1968 г. + 1,5 г.к. повторно
6. Фон +известняковая мука по 1 г.к. в 1968 г. + 2,0 г.к. повторно
7. Фон +известняковая мука по 1 г.к. в 1970 г.
8. Фон +известняковая мука по 1 г.к. в 1972 г.
9. Фон +доломитовая мука по 1 г.к. в 1968 г.
10. Фон +доломитовая мука по 1 г.к. в 1972 г.
11. Фон +металлургический шлак по 1 г.к. в 1968 г.

Опыт 3. С целью агроэкологической оценки применения конверсионного мела (ККК) на ЦОС ВИУА были заложены полевой и микрополевой опыты. Схема микрополевого опыта включала три варианта: 1. NPK – фон; 2. фон + известняковая мука по 1 г.к.; 3. фон + ККК по 1 г.к. Повторность опыта четырехкратная. Исследования проводились в сосудах без дна с площадью поверхности 50 х 50 =0,25 м² на двух типах дерново-подзолистых почв. Тяжелосуглинистая почва : pH_{kcl}- 4,2, Нг – 6,5 мэкв на 100 г почвы, степень насыщенности основаниями менее 50%. Супесчаная почва имела слабокислую реакцию и отличалась высокой насыщенностью поглощающего комплекса кальцием и магнием. Исследования проводились в течение восьми лет.

В качестве объектов исследований были выбраны : ячмень и клевер – на супесчаной, ячмень, клевер, картофель, свекла – на тяжелосуглинистой почве. Минеральные удобрения применяли в следующих дозах:

культура	Доза питательных веществ, кг/га		
	N	P_2O_5	K_2O
Ячмень	120	50	100
Клевер	-	50	120
Картофель	120	50	180
Свекла	150	50	210

Опыт 4. Полевой опыт заложен на 2-х полях на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве: pH_{kcl}. – 4,6, Нг – 4,46; P_2O_5 в 0,2 н HCl – 3,06 мг/100 г почвы, гумус по Тюрину – 1,7%. Чередование культур: озимая пшеница, карто-

фель, ячмень с подсевом клевера и клевер. Повторность опыта 4-х кратная. Размер делянки 3 м х 12 м = 36 м². Дозы минеральных удобрений: $N_{60}P_{50}K_{120}$ и под клевер - $P_{50}K_{180}$. Схема опыта состояла из четырех вариантов:1.Фон – NPK; 2.Фон + известь; 3.Фон + ККК; 4.Фон + ½ известь + ½ ККК.

Влияние возрастающих доз извести и минеральных удобрений и их сочетания на продуктивность и качество культур севооборота

Урожай сельскохозяйственных культур - основной интегрирующий показатель, характеризующий плодородие почвы и эффективность того или иного агрономического приема, в том числе и применения удобрений. Действие минеральных и известковых удобрений оценивалось в целом за звено семипольного севооборота и в отдельности по культурам в течение двух ротаций.

В опыте получена очень высокая отзывчивость на известкование всех культур севооборота. Так, даже внесение половинной (по г.к.) дозы извести позволило повысить урожай в среднем за все годы исследований: озимой пшеницы на 49%, ячменя на 55%, сена многолетних трав на 24%, озимой ржи на 54%, льносоломки на 33%, клубней картофеля на 31%, сена однолетних трав на 38% (табл. 114). Причем на зерновых культурах и травах действие мелиоранта было сравнимым с действием средней дозы минеральных удобрений, а на льне и картофеле известкование обеспечивало урожай на 14% меньше, чем в варианте с внесением средней дозы NPK.

Доза мелиоранта, обеспечивающая максимальную эффективность для каждой культуры севооборота, была различной, однако увеличение урожая по отношению к варианту с внесением извести в дозе по 0,5 г.к., для озимой пшеницы, ячменя и картофеля не превышало 6 %, а для трав и озимой ржи находилось в пределах 11-18%. Это свидетельствует о значительном снижении эффективности при дальнейшем повышении применяемых доз извести.

Вариант сочетания изучаемых факторов обеспечивающий максимальный урожай для каждой культуры был индивидуальным. Однако, как видно из таблицы 115, во всех случаях для его получения требовалось внесение повышенной

Таблица 114

Влияние возрастающих доз извести и минеральных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и продуктивность севооборота (среднее за две ротации севооборота)

Доза $CaCO_3$	Дозы (NPK)							
	Нет	(NPK)1	(NPK)2	(NPK)3	Нет	(NPK)1	(NPK)2	(NPK)3
	Озимая пшеница (ц/га)				Ячмень (ц/га)			
0,0	18,5	30,1	30,6	29,5	13,1	23,8	26,3	27,4
0,5	27,5	38,2	38,4	37,7	20,3	31,0	33,4	34,5
1,0	28,9	39,2	39,3	37,8	21,4	32,0	34,4	35,6
1,5	29,1	39,1	39,1	37,5	21,4	32,0	34,4	35,6
2,0	28,6	38,4	38,3	36,6	20,8	31,5	34,0	35,1
2,5	27,7	37,3	37,1	35,3	20,0	30,6	33,2	34,2
$НСР_{05}$	2,1				1,7			
	Травы 1 года пользования (ц/га)				Озимая рожь (ц/га)			
0,0	36,9	54,8	55,8	41,8	14,3	25,6	29,6	32,4
0,5	45,6	60,9	60,3	44,9	22,0	32,5	36,2	38,8
1,0	48,7	62,3	60,6	44,0	24,0	34,2	37,8	40,1
1,5	50,2	62,5	59,5	41,9	25,0	35,0	38,5	40,8
2,0	50,7	61,5	57,5	38,8	25,6	35,5	38,8	41,0
2,5	50,3	59,9	54,7	35,0	25,9	35,5	38,8	41,0
$НСР_{05}$	6,3				1,9			
	Урожай льносоломки (ц/га)				Картофель (ц/га)			
0,0	24,3	38,0	40,8	41,2	100	155	166	170
0,5	32,2	46,0	48,5	49,2	131	182	191	194
1,0	32,7	46,3	48,8	49,6	134	182	191	193
1,5	31,7	45,4	48,0	48,7	132	179	187	189
2,0	30,2	43,8	46,4	47,1	127	173	181	182
2,5	28,2	41,9	42,9	45,1	122	166	174	175
$НСР_{05}$	3,3				16,5			
	Горохоовсяная смесь (ц/га)				Среднегодовая продуктивность севооборота (ц/га з.е.)			
0,0	20,2	35,9	40,7	43,7	14,4	23,5	25,3	26,0
0,5	27,8	42,9	47,5	50,4	21,1	29,7	31,4	31,8
1,0	30,0	45,0	49,5	52,2	22,2	30,6	32,1	32,5
1,5	31,4	46,2	50,6	53,2	22,4	30,6	32,0	32,3
2,0	32,2	46,9	51,3	54,0	21,9	30,0	31,4	31,7
2,5	32,8	47,4	51,7	54,3	21,3	29,2	30,6	30,8
$НСР_{05}$	2,7				2,1			

и высокой дозы минеральных удобрений на произвесткованной почве полными и более высокими дозами извести. При этом следует отметить, что вариант с сочетанием средней дозы (NPK) и половинной (по г.к.) дозой извести с точки зре-

ния окупаемости имеет наилучшие параметры для всех культур, а урожай на нем составлял для озимой пшеницы, многолетних трав, картофеля и льна 94-98%, а для ячменя, озимой ржи и горохоовсяной смеси 79-85% от максимума.

Таблица 115

Окупаемость минеральных удобрений сельскохозяйственной продукцией в зависимости от применяемой системы удобрения

Культура		Доза		Урожай ц/га	Окупаемость	
		$CaCO_3$	NPK		к контролю	к фону
Озимая пшеница	max	1,0	$N_{90}P_{90}K_{90}$	39,3	7,7	3,9
	opt	0,5	$N_{45}P_{45}K_{45}$	38,2	14,6	7,9
Ячмень	max	1,0	$N_{135}P_{90}K_{135}$	35,6	6,3	3,9
	opt	0,5	$N_{45}P_{30}K_{45}$	31,0	14,9	8,9
Многолетние травы *	max	1,5	$N_{45}P_{30}K_{45}$	62,5	--	--
	opt	0,5	$N_{45}P_{30}K_{45}$	60,9	--	--
Озимая рожь	max	2,0	$N_{90}P_{90}K_{90}$	41	9,9	5,7
	opt	0,5	$N_{30}P_{30}K_{30}$	32,5	20,2	11,7
Лен	max	1,0	$N_{60}P_{135}K_{180}$	49,6	6,8	4,5
	opt	0,5	$N_{20}P_{45}K_{60}$	46,0	17,4	11,0
Картофель	max	0,5	$N_{135}P_{135}K_{180}$	194	20,7	14,0
	opt	0,5	$N_{45}P_{45}K_{60}$	182	54	34,0
Горохоовсяная смесь	max	2,5	$N_{135}P_{90}K_{135}$	54,3	9,5	6,0
	opt	0,5	$N_{45}P_{30}K_{45}$	42,9	18,9	12,6
Севооборот**	max	1,0	$N_{99}P_{96}K_{123}$	32,5	5,7	3,0
	opt	0,5	$N_{33}P_{32}K_{41}$	29,7	14,4	7,5

Примечание: * - Под многолетние травы указаны дозы, вносимые под покровную культуру (здесь учитывается их последействие).*

**- дозы минеральных удобрений среднегодовые, урожай указан в з.е.*

Результаты исследований показывают, что известкование является мощнейшим фактором увеличения продуктивности севооборота. Так, внесение половинной (по г.к.) дозы извести позволило в среднем за две ротации севооборота получить 21,1 ц/га з.е. в год (табл. 114), а каждая внесенная тонна извести за 14 лет окупила себя 2,3 т. з.е. основной продукции. При этом среднегодовой урожай на этом варианте составлял 90% от урожая получаемого при внесении средней дозы (NPK), что с учетом ежегодного внесения последних значительно превосходит их по эффективности.

Наибольшая среднегодовая продуктивность севооборота (в 32,5 ц/га з.е.) обеспечивалась при сочетании высокой дозы NPK и полной дозы извести. Од-

нако оптимальным по окупаемости затраченных средств, следует считать внесение средней дозы NPK на почве, произвесткованной дозой по 0,5 г.к.. При этом среднегодовой урожай снижался всего на 9% по сравнению с максимальным по продуктивности вариантом, а окупаемость затраченных минеральных удобрений возрастала в два с половиной раза. Математическое выражение зависимости урожая культур севооборота от изучаемых факторов за каждую ротацию севооборота представлено в таблице 116.

Таблица 116

Уравнения регрессии, описывающие зависимость урожая от применяемых доз извести и минеральных удобрений

P*	Уравнение регрессии	r
	Озимая пшеница	
I	$17,7+27,3 \cdot Ca^{0,5}+15,3 \cdot (NPK)^{0,5}-12,5 \cdot Ca-6,4 \cdot (NPK)-3,1 \cdot ((NPK) \cdot Ca)^{0,5}$	0,96
II	$17,4+18,3 \cdot Ca^{0,5}+20,2 \cdot (NPK)^{0,5}-6,9 \cdot Ca-7,0 \cdot (NPK)+2,4 \cdot ((NPK) \cdot Ca)^{0,5}$	0,96
III	$20,4+ 9,6 \cdot Ca^{0,5}+20,4 \cdot (NPK)^{0,5}- 4,4 \cdot Ca-7,8 \cdot (NPK)-3,0 \cdot ((NPK) \cdot Ca)^{0,5}$	0,98
	Ячмень с подсевом трав	
I	$12,5+15,9 \cdot Ca^{0,5}+11,8 \cdot (NPK)^{0,5}-7,4 \cdot Ca-2,6 \cdot (NPK)$	0,96
II	$13,6+14,1 \cdot Ca^{0,5}+16,3 \cdot (NPK)^{0,5}-5,9 \cdot Ca-4,2 \cdot (NPK)$	0,98
	Многолетние травы	
I	$23,9+24,5 \cdot Ca^{0,5}+7,5 \cdot (NPK)^{0,5}-8,3 \cdot Ca-4,7 \cdot (NPK)-2,3 \cdot (Ca \cdot (NPK))^{0,5}$	0,83
II	$15,7+16,2 \cdot Ca^{0,5}+12,7 \cdot (NPK)^{0,5}-6,6 \cdot Ca-1,3 \cdot (NPK)+2,1 \cdot (Ca \cdot (NPK))^{0,5}$	0,98
III	$49,9+9,8 \cdot Ca+47,5 \cdot (NPK)-2,4 \cdot Ca^2-14,6 \cdot (NPK)^2-3,7 \cdot (NPK) \cdot Ca$	0,97
	Озимая рожь	
I	$12,4+16,0 \cdot Ca^{0,5}+9,0 \cdot (NPK)^{0,5}-5,3 \cdot Ca-2,2 \cdot (Ca \cdot (NPK))^{0,5}$	0,97
II	$16,2+11,5 \cdot Ca^{0,5}+16,0 \cdot (NPK)^{0,5}-2,8 \cdot Ca-2,4 \cdot (NPK)$	0,98
	Лен	
I	$12,9+19,2 \cdot Ca^{0,5}+12,1 \cdot (NPK)^{0,5}-11,5 \cdot Ca-3,9 \cdot (NPK)$	0,92
II	$35,8+17,7 \cdot Ca^{0,5}+26,1 \cdot (NPK)^{0,5}-8,7 \cdot Ca-6,9 \cdot (NPK)$	0,92
	Картофель	
I	$48+37,6Ca^{0,5}+17,1\ (NPK)^{0,5}-20,6Ca$	0,92
II	$152,9+100,1Ca^{0,5}+131,3\ (NPK)^{0,5}-49,2Ca-38,9\ (NPK)-0,5(Ca \cdot NPK)^{0,5}$	0,98
	Горохоовсяная смесь	
I	$22,5+10,5 \cdot Ca^{0,5}+13,5 \cdot (NPK)^{0,5}$	0,98
II	$20,2+9,6 \cdot Ca^{0,5}+22,3 \cdot (NPK)^{0,5}-3,5 \cdot Ca-5,8 \cdot (NPK)$	0,98
	Продуктивность севооборота по ротациям	
I	$11,7+14,6 \cdot Ca^{0,5}+9,1 \cdot (NPK)^{0,5}-6,3 \cdot Ca-2,3 \cdot (NPK)-1,6 \cdot (Ca \cdot (NPK))^{0,5}$	0,97
II	$17,1+13,1 \cdot (NPK)^{0,5}+15,9 \cdot (NPK)^{0,5}-5,7 \cdot Ca-4,3 \cdot (NPK)$	0,98

*Примечание: *-ротация севооборота; Ca - дозы извести в долях г.к.;*
(NPK)- доза минеральных удобрений в кодированных единицах.

Динамика изменения продуктивности отдельных культур севооборота в зависимости от применяемой системы удобрения описывалась следующими уравнениями регрессии:

Озимая пшеница (ц/га) = $2,4+ 20,7Ca^{0,5}+14,2(NPK)^{0,5}+19,3T^{0,5}- 7,9Ca -7,1 (NPK) - 4,0T- 1,5(Ca•T)^{0,5}+ 1,3(NPK•T)^{0,5}$; R=0,87

Ячмень (ц/га) = $3,9+ 12,2Ca^{0,5}+ 12,8(NPK)^{0,5}+ 9,1•T^{0,5}- 6,3Ca- 3,8(NPK) - 1,8T + 0,8•(Ca•T)^{0,5}+ 0,9(NPK•T)^{0,5}$; R=0,85

Озимая рожь (ц/га) = $11,9+ 10,0Ca^{0,5}+ 2,7 (NPK)^{0,5}+ 1,0T^{0,5}- 4,1Ca -1,9 (NPK)- 0,8(Ca•NPK)^{0,5}+ 1,3 (Ca•T)^{0,5}+ 4,0 (T•NPK)^{0,5}$; R=0,98

Горохо-овес = $20,9+ 31,0Ca^{0,5}+ 20,5 (NPK)^{0,5}- 3,2Ca- 3,1(NPK) - 5,9 (Ca•T)^{0,5}- 0,7 •(NPK•T)^{0,5}$; R=0,98

где: *(NPK)- доза минеральных удобрений в кодированных единицах; Ca - доза извести по г.к.; T - годы последействия извести.*

Данные уравнения показывают, что действие извести и минеральных удобрений было положительным во все годы. По мере увеличения их доз наблюдалось снижение их эффективности. Эффект взаимодействия изучаемых факторов для озимой ржи был отрицательным, а для озимой пшеницы, ячменя и горохоовсяной смеси не проявился совсем. Действие фактора времени на эффективность используемых приемов по культурам было схожим и достоверно описывается нижеприведенным уравнением:

Изменение продуктивности севооборота во времени:

Урожай = $8,3+10,9Ca^{0,5}-2,17(NPK)^{0,5}-6,0Ca-3,3(NPK)+0,6T-0,8(Ca•NPK)^{0,5} +0,92(Ca•T)^{0,5}+4,6(NPK•T)^{0,5}$; R=0,99

Из уравнения следует, что на протяжении двух ротаций происходило увеличение, как общей продуктивности севооборота, так и эффекта от известкования и применения минеральных удобрений. Однако участие каждого фактора в получении урожая по ротациям было различным.

Так, например, в первую ротацию при сочетании полуторной дозы извести и высокой дозы минеральных удобрений была достигнута продуктивность в 25 ц/га з.е. в год, при этом доля участия извести и NPK в получении урожая составляла по 29% соответственно. Во вторую ротацию, при увеличении продуктивности на этом варианте до 39 ц/га з.е. в год, эти показатели

равнялись 22 и 40,7% соответственно. При внесении одной извести доля ее участия в получении урожая снижалась с 37 до 35% за две ротации севооборота, а доля (NPK) за этот же промежуток времени наоборот возрастала с 37 до 50%. Таким образом, с течением времени при общем росте продуктивности эффективность известкования снижается, а минеральных удобрений наоборот возрастает, причем такой характер действия наблюдается как при совместном, так и при раздельном их использовании.

Анализ результатов аналогичных опытов, проведенных на почвах различного гранулометрического состава, позволил разработать обобщенное регрессионное уравнение зависимости продуктивности севооборота от изучаемых факторов:

$$У = 12,94+5,39\ NPK^{0,5} -1,42\ NPK + 17,7Ca^{0,5} - 8,01Ca;\ R=0,999$$

Теоретические значения продуктивности севооборота тесно коррелируют с экспериментальными данными опытов, коэффициент корреляции R=0,99, это позволяет допустить, что вычисленная зависимость справедлива для дерново-подзолистых почв Центрального района Нечерноземной зоны.

Систематическое применение минеральных удобрений даже в высоких дозах не приводит к достоверному увеличению содержания тяжелых металлов (табл. 117).

Таблица 117

Влияние длительного применения минеральных удобрений на содержание ТМ в растительной продукции (мг/кг)

Тяжелые металлы	Культура			
	Озимая пшеница	Ячмень	Картофель	Горохо-овес
Cu	4,65	>3,38	0,81	4,17
Zn	18,0	15,7	2,67	14,2
Pb	0,119	>0,37	0,067	0,34
Cd	0,053	0,041	0,021	0,043
Hg	0,0006	0,0000	0,0002	0,0004
Cr	1,61	1,54	0,75	0,82
Ni	1,48	1,22	0,61	0,83
Co	>0,1	>0,12	0,001	0,004
Fe	41,2	43,8	40,0	42,4
As	н/о	н/о	н/о	н/о

Проведенная нами оценка качества продукции показала, что внесение только известковых удобрений способствует увеличению массы 1000 зерен озимой пшеницы в среднем с 35,1 до 39,0-40,1, то есть на 3,9-5,0 г; применение минеральных удобрений приводило к снижению этого показателя в среднем на 1,9-2,4 г в зависимости от доз. Однако по общему выходу муки, содержанию сырого белка и клейковины, технологическим и хлебопекарным качествам муки достоверной разницы при средних и повышенных уровнях удобреннности на фоне известкования не обнаружено. Увеличение доз минеральных удобрений до высокого уровня несколько снижало все пóказатели качества зерна.

Агрометеорологические условия и эффективность удобрений

Анализ обобщенных данных учета урожаев культур за две ротации семипольного севооборота показал, что применение извести и удобрений способствует повышению продуктивности культур севооборота не только в нормальные, но и экстремальные по погодным условиям годы (табл. 118).

Таблица 118

Среднегодовая продуктивность севооборота в зависимости от погодных условий и применяемой системы удобрений (ц/га з.е.)

Дозы (NPK)	Дозы $CaCO_3$ в долях г.к.					
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Неблагоприятные годы						
Контроль	11,4	15,0	18,1	17,4	17,2	16,5
Средняя	16,8	21,6	26,2	27,2	26,5	24,7
Повышенная	19,2	24,6	29,1	28,3	27,1	25,9
Высокая	20,7	26,6	29,0	28,0	26,6	25,5
Нормальные годы						
Контроль	15,2	19,2	21,8	22,6	22,7	22,9
Средняя	22,6	27,4	31,0	30,5	30,3	30,0
Повышенная	26,1	30,6	34,4	32,8	31,6	31,1
Высокая	27,5	31,8	33,7	32,3	31,0	30,5
Благоприятные годы						
Контроль	23,0	32,3	34,7	33,2	30,3	29,6
Средняя	35,4	40,9	41,2	41,6	41,0	38,3
Повышенная	35,9	41,8	42,0	39,9	37,9	34,5
Высокая	34,9	36,2	36,3	35,9	34,5	33,9

Принято считать, что внесение удобрений позволяет сглаживать неблагоприятное влияние погоды на продуктивность возделываемой культуры, повышать устойчивость урожаев. Данные опыта подтвердили эту точку зрения. По значимости стабилизации урожаев культур севооборота в наших исследованиях отдельные факторы располагались в такой последовательности: ($CaCO_3$+ NPK) > (NPK) > ($CaCO_3$). При этом использование минеральных удобрений и извести как отдельно, так и в сочетании повышало устойчивость культур к неблагоприятным факторам погоды и значительно увеличивало отзывчивость культур на благоприятные климатические условия.

Дисперсионный анализ продуктивности культур севооборота позволил установить долю влияния минеральных удобрений, извести и погодных условий, а также их сочетаний на колебания продуктивности сельскохозяйственных культур. В таблице 119 представлены результаты этих расчетов.

Таблица 119

Влияние различных факторов на колебания урожая культур севооборота (% к общему варьированию по вариантам)

Фактор	Озимая пшеница	Ячмень	Многолет травы	Озимая рожь	Лен	Карто-фель	Горохо овес
Погода (**A**)	32,4	18,9	63,7	43,4	88,2	86,5	38,4
Известкование (**B**)	11,4	14,8	4,8	12,2	1,4	1,2	9,5
Мин удобрения (**C**)	19,6	51,1	5,1	34,5	5,4	7,8	37,7
Взаимодействия **AB**	9,7	3,5	2,1	1,1	0,4	0,4	4,7
AC	19,9	6,8	20,4	4,8	2,9	3,0	4,3
BC	1,0	1,7	1,7	0,9	0,4	0,3	0,5
ABC	6,0	3,2	2,2	3,1	1,3	0,8	5,0

Результаты показывают, что фактором, оказывающим наибольшее влияние на колебания урожайности культур, оказываются складывающиеся агроклиматические условия, за ними по убыванию следуют минеральные удобрения и мелиоративные мероприятия.

Определение доли влияния взаимодействия изучаемых факторов на урожай показало, что наибольшую значимость среди них имеет сочетание погод-

ных условий и (NPK), погодные условия в сочетании с известью стоят на втором месте, далее за ними следуют тройное сочетание всех факторов и сочетание "Известь-(NPK)".

Были вычислены коэффициенты корреляции, отражающие зависимость урожая от складывающихся агрометеорологических условий (табл. 120).

Таблица 120

Корреляционная связь между урожаем и погодными условиями

Культуры	Сумма осадков за месяц				Среднемесячная t°C			
	Май	Июнь	Июль	Авг	Май	Июнь	Июль	Авг
Озимая пшеница	-0,33	0,23	-0,19	-0,16	0,06	0,16	0,35	0,34
Ячмень	-0,20	0,14	0.81	-0,47	-0,16	-0,68	-0,06	0,47
Многолет. травы	0,76	-0,39	0,54	0,69	-0,31	0,51	0,17	-0,33
Озимая рожь	0,46	0,25	-0,16	-0,52	-0,29	-0,31	0,00	0,27
Лен	-0,60	0,11	-0,05	-0,34	0,42	-0,70	-0,80	-0,79
Картофель	0,78	-0,91	-0,36	0,00	-0,17	-0,35	-0,51	-0,41
Однолет. травы	-0,30	0,09	-0,41	0,69	-0,18	-0,12	0,69	0,47

Полученные данные свидетельствуют о повышенной чувствительности многолетних трав, льна и картофеля к погодным условиям. Так, урожайность многолетних трав в наибольшей степени обуславливалась осадками мая, июля и температурными условиями июня и имела прямую зависимость от этих показателей.

Для льна определяющим фактором в получении урожая оказалась температура июня-августа, с повышением температуры происходило снижение урожая. Урожайность картофеля в наибольшей степени зависела от осадков июня, наблюдалась обратная зависимость. Колебания урожая озимой пшеницы, озимой ржи и горохоовсяной смеси на 32-43% были обусловлены погодными факторами. Причем для озимой пшеницы наиболее значимыми являлись осадки мая-июня и температура июля-августа. Для озимой ржи самая существенная корреляционная зависимость была получена между урожаем и суммой осадков и температурой в мае-июне. Тесная корреляционная зависимость между продуктивностью горохоовсяной смеси, суммой осадков и температурой наблюдается в июле-августе. Анализ экспериментальных данных показывает, что погодные условия задают 19 % общей амплитуды колебания урожайности ячменя, обусловленной совокупным

влиянием меняющихся в широком диапазоне факторов наиболее значимыми из которых являются осадки июля и температурные условия июня.

В длительном стационарном опыте ВНИИКХ (17-977-2001 г.) по изучению эффективности сочетания доломитовой муки, минеральных и рганических удобрений на продуктивность картофельного севооборота и агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы наблюдали существенные отклонения погоды от среднемноголетнего значения в 1980, 1982, 1984, 1986 и 1988 годах. За эти годы от гидротермический коэффициент (ГТК) колебался от 1,7 до 2,0-2,5 – т.е. наблюдалось значительное превышение суммы осадков над суммой положительных температур. При этом на абсолютном контроле под влиянием метеоусловий с уменьшением массы клубней картофеля возрастало содержание сухихи веществ.

Противоположное явление наблюдали при внесении удобрений. под действием удобрений увеличивалась масса клубней (т.е. урожай) и их товарность, т.е. доля крупных клубней в урожае, что приводило к «ростовому разбавлению» питательных веществ и снижению содержания сухихи веществ и крахмала (рис. 18).

Ранее проведенными исследованиями было доказано, что урожай клубней картофеля формируется, в основном, за счёт осадков конца июня и первой-второй декады июля. По выражению А.Г. Лорха (1948), у картофеля «...ясно видна зависимость веса ботвы от июньских осадков, а веса клубней и урожая крахмала от июльских осадков».

В результате анализазависимости урожайности картофеля на различных фонах питания от соответствующего количества выпавших осадков (3-ья декада июня + 1-2 декада июля) по годам было установлено: при внесении удобрений в кислую почву урожайность картофеля на 24-32% определялась осадками июня-июля, а известкованную – на 31-45% (табл. 121). Это означало, что с увеличением условий минерального питания (как, например, на фоне известкования) потенциальные возможности культур полнее раскрываются при оптимизации условий увлажнения.

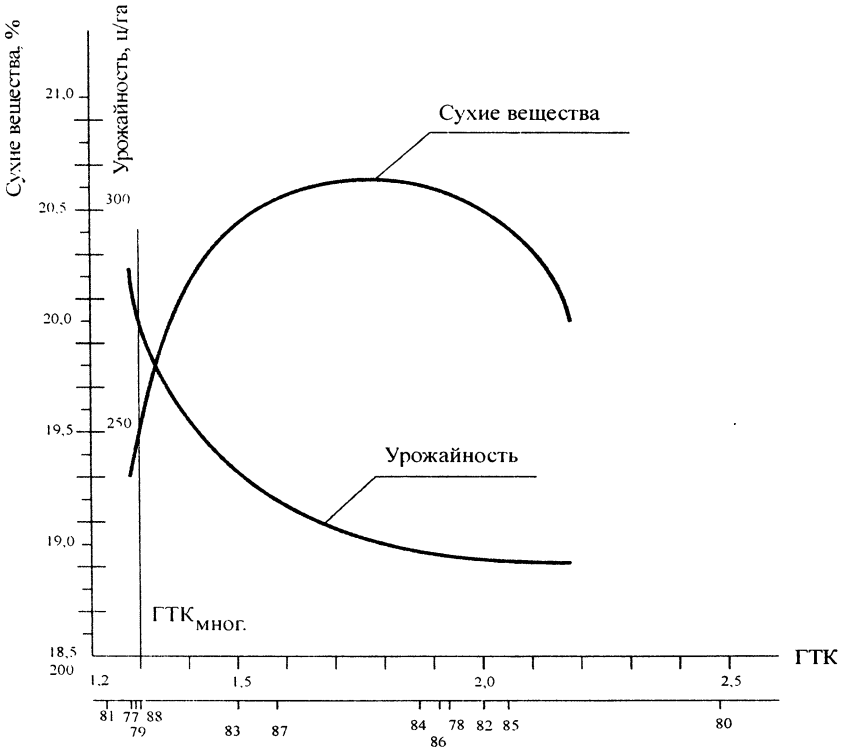

Рис. 18 Влияние метеоусловий на урожайность и качество картофеля на варианте без известкования и удобрений (абсолютный контроль)

Таблица 121

Взаимосвязь между урожаями картофеля (1977-1988 г.) и выпавшими осадками (III декада июня + I-II декада июля)

Вариант опыта	Коэффициент			
	корреляции, (r)	детерминации (r^2)	корреляции, (r)	детерминации (r^2)
	на кислой почве		на известкованной почве по 1,0 г.к.	
Без удобрений	-0,39	0,15	-0,35	0,12
80 т/га навоза $+N_{90}P_{90}K_{120}$	-0,57	0,32	-0,65	0,42
80 т/га навоза $+N_{135}P_{135}K_{180}$	-0,49	0,24	-0,56	0,31
$N_{90}P_{90}K_{120}$	-0,54	0,29	-0,58	0,34
$N_{135}P_{135}K_{180}$	-0,54	0,29	-0,56	0,31
$N_{150}P_{150}K_{180}$	-0,57	0,32	-0,67	0,45

Влияние основного и повторного известкования на продуктивность и качество культур полевого севооборота

Установлено, что внесение мелиоранта по 1,0 г.к. создает практически на 30 лет благоприятные условия для получения высокого урожая зерна ячменя при любых метеорологических условиях года на уровне 30-32 ц/га. Повторное известкование в длительном последействии обеспечило урожай зерна 35-37 ц/га. Высокие дозы извести характеризовались более длительным эффектом, гарантировали получение общей прибавки урожая 9,8-9,6 ц/га, доля в которой от повторного известкования составляет 58-57%. На фоне известкования дозами по 0,5 и 1.0 г.к. через 18 лет не отмечается затухающего эффекта, дополнительной продукции в среднем за год получено соответственно 7,3-8,5 ц/га.

Установлено, что известкование оказывает влияние на формирование качества зерна ячменя. Содержание сырого белка в зерне ячменя по годам колебалось от 9,68 до 13,62 %. Основное известкование в длительном последействии обеспечивает среднегодовую прибавку содержания сырого белка в среднем не меньше чем на 1,2%, повторное известкование - 1,9-2,0%. Эффективность известкования увеличивается с ростом дозы до 1,5 г.к., повышение до 2,0 г.к. не привело к улучшению качества зерна. Соответственно, сбор сырого белка с единицы площади возрос в зависимости от срока внесения и формы мелиоранта до 310-357 кг/га, при повторном известковании на фоне полной и полуторной доз до 398 кг/га, в сравнении с контролем, где сбор белка был на уровне 258 кг/га.

Анализ данных учета урожайности клевера подтвердил высокую чувствительность этой культуры к кислотности почвы, и полученные результаты позволяют делать надежные прогнозы изменения его урожайности от величин pH, гидролитической кислотности почвы. Закономерности, выявленные при изучении влияния основного и повторного известкования на урожай сена клевера 1-го года пользования, проявляются и при учете урожая сена клевера 2-го года пользования.

Влияние известкования на продуктивность овса было высоким: прибавки в среднем достигали 6,0-7,3 ц/га, в том числе после 25 лет последействия от ос-

новного известкования 2,8-4,8 ц/га. Выявлено преимущество доломитовой муки и металлургического шлака. Прибавка урожая от повторного известкования составляла в зависимости от дозы 5,4-7,2 ц /га, что фактически вдвое выше в сравнении с фоном основного известкования, доля участия повторного в получении прибавки на уровне 65-74%. Наиболее эффективны были дозы извести по 1,0 и 1,5 г.к.

Проведенный анализ парной корреляции показал, что наибольший коэффициент корреляции урожайности с pH_{kcl} и Нг отмечается при прямом действии извести и в течение 9-10 лет (для ячменя - $R_{pH} = 0,72-0,86$; $R_{Hr} = - 0,7- 0,82$; для клевера R_{pH}-0,65-0,82 R_{Hr}= -0,75-0,91), данная закономерность выявлена для интервала pH_{kcl} 4,3-5,6 и Нг 1,5-2,9. В интервале pH_{kcl} 5,7-6,5 и Нг 0,8-1,3, связь ослабевает (для ячменя- $R_{pH} = 0,56-0,71$; $R_{Hr} = - 0,56 - 0,79$; для клевера $R_{pH} = 0,31-0,5$; R= –0,46 - 0,64). С течением времени (более 15 лет) исследуемая связь, хотя и значима, но величина коэффициента резко снижается (для ячменя -R_{pH}= 0,54-0,69; R_{Hr}= 0,52-0,67; для клевера- R_{pH}=0,19-0,33. Формирование урожая соломки и семян льна возможно в широком интервале pH среды 4,7-6,5. При сроке взаимодействия извести с почвой в пределах 10-15 лет отмечается положительная связь средней тесноты $R_{pH} = 0,45-0,57$, в длительном последействии тесной зависимости не отмечается, коэффициент корреляции не превышает 0,25 и продуктивность семян и соломки льна в большей степени обусловливается уровнем удобренности.

Применение полной дозы извести оказало на длительный период положительное влияние на урожай картофеля, повысило содержание крахмала в клубнях и его сбор. Прибавка урожая клубней на 25-год последействия составила на фоне известняковой муки -25 ц/га, доломитовой мукой – 28-32 ц/га, металлургического шлака – 40 – 45 ц/га. Повторное известкование обеспечивает на 17 год действия прибавку урожая в зависимости от дозы 49-67 ц/га, т.е. на 18-21 %. Наиболее эффективными являются дозы по 1,0 и 1,5 г.к. Исследования зависимости урожайности картофеля от агрохимических свойств почв показали, что его возделывание возможно в широком диапазоне $pH_{сол}$ среды 4,4-6,5 (R =0,34-0,47). Степень забо-

леваемости клубней паршой обыкновенной находится в некоторой зависимости от содержания кальция в почве :R= 0,48-0,.61, однако спустя 5-7 лет после известкования существенной зависимости от содержания обменных оснований в почве не наблюдается : R= 0-0,19. Среди отрицательных явлений проявилось лишь стимулирующее последействие извести на поражаемость клубней паршой обыкновенной, исключение составляет металлургический шлак, при использовании которого поражаемость клубней была аналогична с контролем.

Длительный период проведения опыта позволяет с большой достоверностью выявить эффективность основного и повторного известкования. В нашем опыте действие на урожай сельскохозяйственных культур повторного известкования на трех полях в среднем прослежено более чем за 20 лет. Данные показывают, что закономерности, выявленные при изучении влияния химической мелиорации на урожайность полевых культур, органично проявляются и в севообороте. Полная доза мелиоранта, независимо от формы, обеспечивает устойчивое положительное действие в течение 15 лет, несколько ослабевая к 20 годам, но не прекращающееся и к 30 годам. Повторное внесение мелиоранта восстанавливает действие известкования, сохраняя его высокую эффективность, по крайней мере, еще 20 лет. Доломитовая мука в период последействия до 15-ти лет имеет некоторое преимущество перед известняковой мукой, которое в дальнейшем утрачивается. Наибольший эффект в длительном последействии имеет металлургический шлак.

Исследована длительность последействия основного и повторного известкования. Окупаемость 1 т $CaCO_3$ дополнительной продукцией при основном известковании зависела от времени последействия и формы известкового материала. Для известняковой муки она составила: за 9 лет 1,1 ц з.е; за 16 лет – 5,7, за 23 года – 7,8, за 30 лет – 10,1. Самая высокая окупаемость была у металлургического шлака – 14,65 ц з.е. за 30 лет. При повторном известковании окупаемость оказалась в 1,65-2,5 раза выше, зависела от дозы мелиоранта и за 20 лет при дозе 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 г.к. составила соответственно 27,0; 20,3; 17,0 и 12,6 ц з.е. Следовательно, повторное известкование дало высокий агрономический эффект с хорошей окупаемостью дополнительной продукцией 1 т мелиоранта.

Влияние металлургического шлака на содержание тяжелых металлов в почве и сельскохозяйственных растениях

Однократное внесение металлургического шлака на фоне ежегодного применения минеральных удобрений не привело к накоплению в почве таких элементов, как Ni, Cu, их концентрация значительно ниже ПДК. Не представляло опасности загрязнения Cd и Cr. Агроэкологическая оценка применения металлургического шлака не выявила негативного действия мелиоранта на агроэкоценоз. Внесение шлаков увеличивает содержание в почве кобальта до 7,0 мг/кг и марганца – 509 мг/кг, но оно не было токсичным для растений.

При определении качества растениеводческой продукции в длительном последействии металлургического шлака распределение тяжелых металлов по вегетативным органам ячменя в фазу полной спелости в убывающем порядке было следующим:

$$Mn > Fe > Zn > Cu \approx Pb > Ni > Co > Cd > Cr$$

Проведенный анализ на содержание Cd, Cr, Ni и Pb в зерне и соломе ячменя, озимой ржи и пшеницы не обнаружил значимого их повышения. Не установлено также существенного влияния на содержание Cu и Zn, как и на контроле оно было соответственно 4,5 и 22,5 мг/кг. Таким образом, применение отходов промышленности в качестве известковых удобрений целесообразно, экономически выгодно и эффективно, а применяя в строго установленных нормативных регламентах – экологически безопасно.

Эффективность карбоната кальция конверсионного как известкового удобрения

Для проведения химической мелиорации, как показали наши исследования, наряду с традиционными известковыми удобрениями эффективно использование тонкодисперсного мелиоранта ККК.

Исследования в микрополевом опыте показали, что ККК являясь активной и быстродействующей формой известкового удобрения, не уступает, а по сни-

жению всех форм кислотности и обогащению почвенного поглощающего комплекса кальцием превосходит стандартную известняковую пылевидную муку. Установлена идентичность действия ККК и известняковой муки на основные агрохимические показатели, что подтверждает пригодность ККК для использования в качестве мелиоранта (табл.122).

Таблица 122

Влияние ККС на агрохимические свойства почвы

Вариант	pH_{kcl}		$H_{обм.}$	Нг.	S	P_2O_5*	K_2O**,
	сутки	5-минут	мг- экв./100 г			мг/л	мг/100 г
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая							
Контроль	4,17	4,03	1,15	6,37	6,8	0,03	14,6
Фон +известь	6,31	5,89	0,07	1,27	9,2	0,05	11,3
Фон + ККК	6,78	6,11	0,05	0,94	9,5	0,07	10,8
Дерново-подзолистая супесчаная							
контроль	5,15	5,05	0,11	2,93	5,4	0,55	11,9
Фон +известь	6,90	6,56	нет	0,79	8,1	0,65	10,3
Фон + ККК	7,0	6,85	нет	0,49	8,7	0,66	10,5

**в $CaCl_2$, **по Кирсанову*

Таблица 123

Влияние ККК на продуктивность сельскохозяйственных культур, ц/га

Культура \ Вариант	NPK	NPK+$CaCO_3$	NPK+ ККК	НСР $_{0,5}$
Ячмень				
тяжелосуглинистая	25,7	57,1	54,2	8,1
зерно :солома	0,91	1,08	1,05	
супесчаная почва	34,1	46,3	48,6	10,2
зерно :солома	0,75	0,85	0,86	
Озимая пшеница				
тяжелосуглинистая	41,5	48,5	47,9	не существ.
зерно :солома	0,63	0,65	0,66	
супесчаная почва	39,1	46,3	49,3	не существ.
зерно :солома	0,57	0,60	0,61	
Клевер				
тяжелосуглинистая	132,8	165	170	30
супесчаная почва	168	176	187	21
Картофель	173	145	140	33
% сухого вещества	22,1	23,4	24,2	1,5
Кормовая свекла	399	680	716	110
масса ботвы	479	524	543	54
корни :ботва	0,83	1,30	1,32	

Результаты многолетнего опыта показали, что по действию на продуктивность всех возделываемых культур ККК не уступал, а в некоторых случаях превосходил известняковую муку. Наибольший эффект на ККС проявился на ячмене и свекле. Полученные закономерности установлены на обоих типах почв (табл.123).

Отметим, что на фоне ККК в зерне ячменя повышается выход общего белка. Результаты определения P, K, Ca, Mg в органах растений изучаемых культур показали, что их содержание практически одинаково при внесении известняковой муки и ККК. Не отмечено различий также по содержанию в клубнях картофеля и корнях свеклы витамина «С» и крахмала в картофеле.

Данные по накоплению стабильного стронция в растениях позволяют сделать вывод, что внесение ККК приводит к увеличению содержания стронция в зерне и соломе ячменя и озимой пшеницы, листья и корнях свеклы, но одновременно возрастает содержание кальция, вследствие этого соотношение Ca:Sr во всех случаях находилось за пределами 160:1. В клубнях картофеля, не выявлено достоверного увеличения содержания стронция, Ca:Sr, как и на фоне с известняковой мукой, находилось на безопасном уровне, превышающим 190:1 (табл.124).

Исследования свидетельствуют о том, что при известковании мелом дискриминация кальция не наблюдалась. Во всех случаях КД $\geq$1,07. Применение мела на кислых почвах обусловливает увеличение прочности сорбции обменного стронция почвенным поглощающим комплексом, что приводит к менее интенсивному его поступлению в растения.

Повторное внесение полной дозы мела не оказало отрицательного влияния на качество растительной продукции. Соотношение Ca:Sr в исследуемых растениях существенно не изменилось. Определение качества продукции показало, что применение отходного мела не приводит к загрязнению растений тяжелыми металлами.

В полевом опыте также проявилась высокая эффективность конверсионного мела на клевере, ячмене и овсе. Существенных различий в действии на урожай этих культур между ККК и известняковой мукой не выявлено. Достоверных раз-

личий по содержанию азота, фосфора, калия в зерне ячменя и овса, а также аскорбиновой кислоты и каротина в сене клевера по вариантам не обнаружено.

Таблица 124

Влияние разных форм мелиорантов на содержание стронция в растениях

Вариант опыта	Тяжелосуглинистая почва			Супесчаная почва		
	Ca	Sr	Ca:Sr	Ca	Sr	Ca:Sr
Зерно ячменя						
NPK	551	3,20	174	550,75	3,16	174
NPK+известь	571	3,2	181	571,25	3,15	181
NPK+ККК	651	3,9	167	650,50	3,94	166
$НСР_{05}$	59,9	0,95		102,99	0,78	
Солома ячменя						
NPK	4519,0	20,33	222	3825,5	13,14	291
NPK+известь	3988,0	17,61	227	3991,0	13,46	297
NPK+ККК	4956,0	25,82	188	4952,0	22,13	224
$НСР_{05}$	1682,4	7,04		1815,8	3,90	
Озимая пшеница - Зерно						
NPK	600	3,4	186	599,8	3,22	186
NPK+известь	599	3,4	178	598,5	3,36	178
NPK+ККК	612	3,6	172	611,6	3,55	172
$НСР_{05}$	46,3	1,08		36,7	0,64	
Озимая пшеница - солома						
NPK	4519	20,3	222	4232	21,0	201
NPK+известь	3988	17,6	227	4199	21,6	195
NPK+ККК	4856	25,8	188	4356	23,3	187
$НСР_{05}$	1245	0,98		903	1,6	
Тяжелосуглинистая почва						
Картофель - клубни				Картофель -ботва		
NPK	826,3	4,43	187	53635	148,4	362
NPK+известь	796,3	4,02	198	51251	145,6	352
NPK+ККК	859,0	4,44	194	55422	154,1	360
$НСР_{05}$	117,3	1,5		11863	8,03	
Свекла - корнеплоды				Свекла - листья		
NPK	1785,0	6,09	293	10165	10,6	958
NPK+известь	2002,5	5,92	338	19305	9,37	2060
NPK+ККК	2082,5	9,73	214	19870	16,56	1200
$НСР_{05}$	605,1	3,03		2531,5	4,2	

Результаты химических анализов почвы показали, что ККК превосходит стандартную пылевидную известняковую муку по скорости снижения почвенной кислотности и обогащению ППК кальцием (табл.125).

Таблица 125

Влияние известковых удобрений на агрохимические свойства почвы

Варианты опыта	pHkcl		мг-экв/100 г почвы			P_2O_5*	K_2O**
	Сут.	5 мин.	$H_{обм}$	Нг	S		
NPK	5,53	5,19	0,14	2,52	8,5	0,04	14,9
NPK+ известь	6,43	5,92	0,05	1,33	9,3	0,04	10,8
NPK+ККК	6,75	6,03	нет	1,16	9,5	0,04	7,5
NPK+$^1/_2$изв.+$^1/_2$ККК	6,68	5,99	нет	1,25	9,1	0,05	9,1
$НСР_{05}$	0,2	0,2		0,4	0,9	0,02	2,5

**в $CaCl_2$ мг/л; **по Кирсанову мг/100 г почвы;*

Определение химического состава продукции свидетельствует о том, что при внесении ККК происходит увеличение содержания в ней Sr, но одновременно возрастает содержание кальция, в итоге соотношение этих элементов находится на безопасном уровне, во всех случаях выше 160:1. При использовании ККК совместно с известняковой мукой наблюдалась аналогичная картина по накоплению элементов, как в случае одного ККК (табл.126).

Таблица 126

Влияние разных форм мелиорантов на содержание стронция в растениях, мг/кг

Вариант опыта	Ca	Sr	Ca:Sr	Ca	Sr	Ca:Sr
Клевер						
	1-го года пользования			2-го года пользования		
NPK	27577,5	77,86	354	26640,0	85,42	312
NPK+известь	26040,0	82,07	317	24702,5	66,03	374
NPK+ККК	25860,0	82,94	312	26120,0	82,55	313
NPK+$^1/_2$ККК+$^1/_2$изв.	25695,0	79,36	324	26950,0	82,22	292
$НСР_{0,5}$	2928,7	29,71		7339,9	10,65	
	Ячменя - зерно			Ячменя - солома		
NPK	643,3	4,10	157	3952,5	15,46	256
NPK+известь	721,8	4,12	175	4092,0	14,98	273
NPK+ККК	770,8	4,58	168	4689,8	22,41	209
NPK+$^1/_2$ККК+$^1/_2$изв	656,0	3,99	164	4358,4	20,82	209
$НСР_{0,5}$	56,2	0,86		1612,9	3,45	

Лизиметрические исследования по миграции Sr из пахотных почв показывают, что при внесении в почву ККК концентрация стронция в инфильтрационных водах возрастала в 1,7-1,8 раза, но одновременно в 1,9-2,0 раза увеличивалась концентрация кальция, вследствие этого соотношение между элементами существенно не изменялось. Аналогичная закономерность имела место и для потерь Sr и Ca вследствие вымывания из почвы (табл.127).

Таблица 127

Потери Ca, Mg, Sr с инфильтрационными водами из почвы (данные Никифоровой М.В.)

почва	Вариант опыта	Концентрация, мг/л			Ca :Sr	Потери			Ca:Sr
		Sr	Ca	Mg		г/га	кг/га		
						Sr	Ca	Mg	
супесчаная	контроль	0,10	24,2	3,2	242	104,5	30,2	4,2	289
	изв. мука	0,13	27,3	16,6	210	162,4	29,2	17,8	180
	ККК	0,17	51,5	13,4	302	139,4	31,4	21,6	225
суглинистая	контроль	0,13	25,3	12,1	194	90,4	16,4	7,8	181
	изв. мука	0,13	44,1	10,9	339	145,6	34,0	8,6	234
	ККК	0,24	48,3	14,7	201	161,0	35,8	10,8	222

Во всех случаях при внесении ККК соотношение потерь Ca:Sr было широким (от 200 до 700), что свидетельствует о безопасности конверсионного мела для загрязнения грунтовых вод стронцием. Среднегодовые потери стронция вследствие вымывания были очень низким и составили 0,1-0,3% от внесенного с мелом в почву количества. В целом среднегодовые потери стронция составили около 0,05 мг/кг почвы, то есть всего лишь 0,016% от его фонового содержания в почве. В подтверждение наших выводов ФГУЦАС «Новгородским» получены данные, свидетельствующие о том, что при внесении в почву отходного мела в дренажных водах не выявлено существенного загрязнения их стронцием (Покровская Е.В. и др., 2000).

Таким образом, агроэкологическая оценка свидетельствует о том, что по эффективности ККК не уступает стандартной известняковой муке при однократном и повторном применении в качестве известкового удобрения. Конверсионный мел проявил себя как быстродействующий высокоэффективный известковый материал.

ГЛАВА 19

ПРИРОДООХРАННОЕ ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВ В СЕВООБОРОТЕ С КАРТОФЕЛЕМ

Анализ мирового уровня производства картофеля показывает, что валовой сбор картофеля в мире постоянно растет, и в 2005 году составил 328 млн тонн. Общий валовой сбор картофеля в странах Европейского сообщества составил 67 млн тонн с площади 2 млн га, в России 37 млн тонн с площади 3 млн га. Лидирующее положение по объему производства картофеля в мире занимает Китай (75 млн т), на втором месте – Россия (37 млн т) далее идет Индия (25 млн т), США (20 млн т), Украина (19 млн т), Польша (15 млн т), Германия (13 млн т), Беларусь (8 млн т), Нидерланды (7 млн т), Франция (6,9 млн т), Великобритания (6 млн т), Канада (5 млн т). Уровень урожайности картофеля в сельхозпредприятиях Российской Федерации по регионам колеблется от 117 ц/га (Дальневосточный округ) до 171 (Центральный), 179 ц/га (Уральский). Практика многих лет показала, что роль картофеля в качестве основного продукта питания, заметно возрастает, особенно, в нестабильных ситуациях. Картофель является самым распространенным продуктом питания многих россиян, за период с 1990 по 2003 гг. потребление картофеля на человека в год увеличилось с 98 до 129 кг, или на 30%. В последние годы этот показатель составляет около 120 кг на человека (Федотова, Анисимов, 2006).

По существу, картофель обеспечивает продовольственную независимость, безопасность России и здоровье россиян. Еще академик Д.Н. Прянишников указывал на то, что картофель является очень выгодной культурой, по его образному выражению – возделывать картофель это все равно, что выращивать три колоса там, где раньше рос один. По сбору сухого вещества с единицы площади картофель значительно опережает зерновые культуры.

Традиционно в Российской Федерации 1/3 часть (11 млн т) картофеля производится в Центральном Федеральном округе, второе и третье место по объему производства картофеля занимают Приволжский (9,5 млн т) и Сибирский (6,3 млн т) Федеральные округа.

Под картофель в первую очередь отводятся участки с легкими супесчаными почвами, торфяники и легкие суглинки, поскольку для роста столонов и клубней требуются повышенные воздухообеспеченность и рыхлость почв (Спец. севообороты с картофелем, 1984; Коршунов, 2001). Природные песчаные и дерново-подзолистые супесчаные почвы являются наиболее бедными почвами Нечерноземной зоны. Ничтожная буферность, резко выраженная обменная кислотность, вызванная действием обменного алюминия, угнетает развитие многих сельскохозяйственных культур и тормозит микробиологическую деятельность почвы (Прокошев, 1952; Белоус, 1997; Минеев, Гомонова, Дурынин, Зенова, Скворцов, 1997).

Недостаток зольных элементов, азота, кальция и магния, генетически заложенный в дерново-подзолистых почвах, замедляет минерализацию органических остатков микроорганизмами, в результате чего образуются кислые подвижные гумусовые вещества. Происходит постоянный процесс подкисления среды (В.В.Понаморева, 1964; А.Н.Небольсин, З.П.Небольсина, 1997), связанный с потерями оснований из поглощающего комплекса и образованием органических кислот в результате биологических процессов. Лишь небольшая часть гумусовых соединений закрепляется в почве биогенным кальцием, железом и глинистыми минералами. Поэтому в пахотном горизонте дерново-подзолистых почв не накапливается больших количеств гумуса, они обладают малой буферностью и емкостью поглощения. Вот почему в сельскохозяйственном использовании дерново-подзолистых почв вопросам оптимизации реакции среды и восполнению запасов кальция и магния, без которых невозможно высокопродуктивное земледелие отводится первостепенное место.

На кислых почвах даже при использовании органических и минеральных удобрений невозможно получать высокие урожаи многих сельскохозяйственных культур, в т.ч. картофеля.

С увеличением антропогенной нагрузки на почвы значимость известкования, как средства коренного улучшения кислых почв еще более возрастает, что связано с увеличивающимся отчуждением из них кальция и магния за счет выноса урожаями сельскохозяйственных культур и вымывания атмосферными

осадками, применением значительных количеств концентрированных, «безбаластных», физиологически кислых минеральных удобрений. Особое значение приобретает известкование в связи с применением минеральных удобрений. При длительном их применении без известкования на кислых дерново-подзолистых почвах ухудшаются их физико-химические и биологические свойства (Стрельников, Бабаян, Соловьев, 1981; Пивоваров, Ганюшина, Ширская, 1982; Минеев, Гомонова, Дурынин, Зенова, Скворцов, 1997). В условиях с сильнокислой реакцией почвенной среды при высоком содержании подвижного Al применение минеральных удобрений может привести к отрицательному результату. Так, длительные опыты по известкованию песчаных и супесчаных почв на Соликамской опытной станции (В.Н. Прокошев, 1952), на Люберецком опытном поле (Л.И.Кораблева, 1954; К.П. Магницкий, 1967), в институте картофельного хозяйства (В.Ф.Ильин, 1966) показали, что систематическое применение физиологически кислых минеральных удобрений без известкования приводило к снижению урожая картофеля. На почвах с оптимальной реакцией среды эффективность минеральных удобрений возрастает на 30-40% (Шильников, Аканова, Никифорова, 2001).

В настоящее время многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов убедительно свидетельствуют о том, что положительное действие известкования на плодородие кислых почв, урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность севооборотов проявляется в течение длительного периода, достигающего иногда нескольких десятилетий. Для разработки научных основ применения оптимальных доз известковых удобрений в севооборотах с картофелем важно располагать информацией об изменении минерального питания картофеля при непосредственном внесении извести и на фоне ее длительного последействия; определить взаимосвязь величины и качества урожая с изменяющимися параметрами плодородия почвы в условиях длительного стационарного опыта. Основная проблема оптимизации продуктивности севооборотов с картофелем состоит в обеспечении не только благоприятной кислотности почв для всех культур севооборота, но и в научно обоснованном и

сбалансированном питании макро- (N, P и K), мезо- (Ca, Mg и S) и микроэлементами (B, Zn, Cu и др.). Центральное место при этом на кислых почвах, безусловно, занимают вопросы оптимальной обеспеченности почв и растений кальцием и магнием.

19.1. Отношение картофеля к реакции почвенной среды

Оптимальный уровень реакции почвы – это интегрирующий показатель, обобщающий биологические особенности культуры и других факторов, из которых наиболее значимыми являются: содержание подвижных форм фитотоксичных катионов (водорода, алюминия, марганца, железа и др.); содержание гумуса, фосфора и калия; условия водно-воздушного режима; гранулометрический состав и др. Величины оптимальных интервалов pH для культур имеют относительное значение, так как влияние среды зависит от того фона, на который оно налагается (Корнилов и др., 1971; Небольсин, 1976; Небольсин, Небольсина, 1997).

Кислотность почв для картофеля не является столь жестким ограничителем его продуктивности, в сравнении с другими сельскохозяйственными культурами. Оптимальный диапазон кислотности для картофеля достаточно широк – pH от 5 до 6 (Г. Гарднер, Г. Гарнер, 1954; Н.С. Авдонин, 1965; Н.А. Дорожкин, 1972; А.Н. Аристархов, 2000) и даже больше – pH 5-7 (Г. Гарднер, Г. Гарнер, 1954).

По результатам исследований, проведенных О.К. Кедровым-Зихманом, С.С. Ярусовым (1934); В.И. Шемпелем, К.Т. Старовойтовым (1956); Х.К. Асаровым (1976) при применении средних доз удобрений, картофель предпочитает, кислую реакцию почвенной среды.

В работах, проведенных в условиях интенсивной химизации сельского хозяйства, когда применялись высокие дозы удобрений, отмечено смещение оптимума pH для картофеля в более щелочную сторону; по данным К.Т. Можара, С.С. Барсукова (1985) в севообороте со льном, люпином и картофелем оптимальная реакция среды 5,9-6,2. В штате Флорида (R.D. Rhue, D.R. Hensel, 1983)

наибольший урожай клубней (35 т/га) получен при pH от 6,0 до 6,2. Экспериментальные материалы (161 опыт) имеющееся в Белоруссии свидетельствует о том, что даже при снижении кислотности до $pH_{KCl} \geq 6,5$, но при оптимальном обеспечении растений элементами питания урожайность клубней картофеля увеличивалась (Кулаковская, 1990). Однако известно, что при pH ниже 4,5 растения картофеля испытывают угнетение (Ремезов, Щерба, 1938; Прянишников, 1965; Рассел, 1955).

По данным Х.К. Асарова (1949), О.К. Кедрова-Зихмана (1957), P. Schachtschabel (1956) оптимальное значение pH для картофеля может колебаться и зависеть от соотношений между кальцием и магнием в питательной среде. Было установлено, что одностороннее преобладание кальция в ППК над магнием сильно снижает урожай картофеля и смещает оптимум pH в кислую сторону. Отношение Ca и Mg как 9:1 обеспечивало оптимум pH для картофеля равный 4,7, а при соотношении Ca и Mg как 3:1 – соответственно 5,7 (Кедров-Зихман, 1957). Благоприятные для развития картофеля соотношения между кальцием и магнием в почве могут колебаться в широких пределах от 100 Ca : 25 Mg до 100 Ca: 150 Mg (Аристархов, 2000) (фото 1-5).

Кислая почва неблагоприятна для интенсивного земледелия из-за содержания в ней подвижных соединений водорода, алюминия, марганца, железа, меди, цинка, никеля, хрома (Палавеев, Тотев, 1983). Н.С. Авдонин (1965, 1976); М.Ф. Корнилов и др. (1971) отмечают, что при очень сильно кислой реакции почвы (pH 3,5) подвижный водород может оказывать на растения прямое отрицательное действие. При этом нарушаются коллоидно-химические свойства протоплазмы растительных клеток, изменяются в неблагоприятную сторону концентрации органических кислот в клеточном соке, нарушается углеводный и белковый обмен, тормозится синтез белка, накапливаются небелковые формы азота, изменяется адсорбция и поглощение растениями ионов (А.В. Петербургский, 1964; Д.Н. Прянишников, 1965; Авдонин, 1965; Т.Н. Кулаковская, 1978; Блэк, 1973; Murphy, Follett, 1979; Палавеев, Тотев, 1983).

Отрицательное действие ионов водорода проявляется сильнее при малом количестве других катионов и особенно кальция, который играет в этом отношении исключительную роль (Прянишников, 1965; Aslender, 1952; Cormack, 1955; Палавеев, Тотев, 1983). Токсичность ионов водорода (точнее гидроксония H_3O) проявляется наиболее сильно в почвах с pH ниже 4,2 (Авдонин, 1965; Небольсин, Небольсина, 1997).

В кислых почвах также наблюдается неблагоприятное действие высоких концентраций Al, заключающееся в том, что поступление фосфорнокислого алюминия в корневую систему растений подавляет способность последней перемещать фосфор в их надземные органы. В результате этого наблюдается специфическое фосфатное голодание растений (Авдонин, 1965; Магницкий, 1967; Кулаковская, 1978; 1990; Орлов, 1985); подавляется рост корней и они приобретают желто-бурую окраску (Блэк, 1973; Палавеев, Тотев, 1983).

В кислой среде Mn ведет себя подобно Al; его концентрация в почвенном растворе возрастает по мере снижения величины pH. Чрезмерно высокое поглощение марганца вызывает активизацию окислительных процессов, что приводит к нарушению углеводного обмена (Петербургский, 1964). Растворимость почвенного марганца резко возрастает в анаэробных условиях, с повышением влажности почвы и кислой реакции среды. Подвижность марганца повышается при внесении в почву аммиачных форм азотных удобрений, в связи, с чем поступление этого элемента в растения увеличивается. Внесение извести, а также щелочных форм удобрений, наоборот, уменьшает подвижность почвенного марганца и поступление его в растения.

Токсичность Al и Mn зависит от их концентраций и соотношений (Авдонин, 1965; Lee, Macdonald, 1977). По данным Н.С. Авдонина (1976), М.Ф. Корнилова и др. (1977) картофель, будучи устойчив к повышенной кислотности и высокому содержанию подвижного алюминия, обычно страдает от избытка марганца. В опыте болгарского ученого – Димитрова Стояна (цит. по Т. Палавееву, Т. Тотеву, 1983) – было выявлено, что картофель переносит содержание алюминия до 1,52-1,85 мэкв/л и марганца 0,07-0,10 мэкв/л при наличии 6,2-10,3 мэкв/л Ca + Mg в

100 г почвы. При понижении суммарного количества Ca и Mg до 3,92 мэкв его переносимость в отношении легкоподвижного обменного Al + Mn понижалась до 1,26 мэкв/100 г почвы. Известкование положительно отражалось на урожае картофеля при содержании Al + Mn в почве, превышающем 30% от содержания Ca + Mg. В опытах W. Lierop, F. Fran (1982) урожай картофеля не повышался от известкования подзолистых почв с содержанием алюминия 8,1 мг/100 г. На основании обобщения результатов 109 опытов А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина (1997) установили, что для картофеля оптимальное содержание Mn в почве равно 0,04 мг-экв/100 г, а оптимальное соотношение Mn / Fe составляет 1,9, при этом оптимум кислотности колеблется в интервале от 4,4 до 6,0 ед. pH.

В результате 47 опытов с картофелем установлено, что оптимальным значением pH почвы при содержании органического вещества меньше 4% является 5,3-6,1, а при 4-8% органического вещества - 5,0-5,6 (Kerschberger, Richter, 1982). В модельном опыте на почвах с близким содержанием Al (0,311 и 0,330 мг-экв/100г) повышение содержания органического вещества до 4,5% увеличивало урожай клевера при сильнокислой реакции почти в 10 раз (Небольсин, Небольсина, 1997). Подобное положительное действие органического вещества почвы проявляется и на других культурах. В условиях кислой реакции почвенной среды органическое вещество оказывает защитное действие, обусловленное тем, что гуминовые и фульвокислоты способны образовывать с металлами – Al, Fe, Mn – комплексы, малотоксичные для растений. С увеличением содержания органического вещества токсичность Mn, как и Al снижается и благоприятный интервал реакции для роста растений смещается в сторону кислого значения (Небольсин, 1976; Палавеев, Тотев, 1983; Kerschberger, Richter, 1982; Небольсин, Небольсина, 1997).

Влияние реакции среды на растения зависит не только от концентраций Ca, Mg и фитотоксичных элементов в почвенном растворе, содержания органического вещества, но и от условий увлажнения. В условиях Латвии при нормальном количестве осадков (270 мм) максимальный урожай клубней картофеля получен при pH 5,2-5,5; при дальнейшем повышении pH до 7,0 урожай несколько снижался. При незначительном количестве осадков (120 мм) наибольший уро-

жай картофеля получен на почвах со слабощелочной реакцией среды (pH 7,0), а при обильных осадках (420 мм) – на почвах с pH 4,6-5,5 (Барбалис, Веверс, 1970). Исследования, проведенные в 2000 - 2003 гг. на дерново-подзолистой супесчаной почве (Люберецкий район Московской области), показали зависимость урожаев картофеля от обменной кислотности, которая изменялась от гидротермических условий вегетационных периодов. В 2001 г. и экстремальном 2002 г., которые характеризовались неравномерным выпадением и недостатком осадков в период клубнеобразования, подщелачивание почвенных растворов способствовало увеличению урожайности картофеля (r =0,14-0,45, связь положительная и усиливалась по мере увеличения недостатка влаги) (Федотова, Тимошина, Новиков, 2005).

Другой результат получен при обобщении опытов в Северо-Западном регионе Нечерноземной зоны. Было установлено, что почвы с неблагоприятным водно-воздушным режимом (переувлажняемые) содержат значительно больше легкоподвижных Mn и Fe, чем почвы нормального увлажнения. Наибольшее содержание обменного марганца наблюдается, когда влажность почвы достигает 90% ПВ (Палавеев, Тотев, 1983). В отличие от алюминия переход марганца и железа в малоподвижные состояния происходит за счет окисления двухвалентных катионов Mn^{2+} и Fe^{2+} в соединения высших валентностей. Этот процесс наиболее интенсивен в аэробных условиях при уровнях реакции почвы ($pH_{сол}$) 6,0-6,5 ед pH. На переувлажненных почвах оптимальные уровни реакции для сельскохозяйственных культур существенно выше и для них требуется применение больших доз извести (Небольсин, Небольсина, 1997).

Применение минеральных удобрений также оказывает определенное влияние на оптимальный интервал реакции для растений. Наиболее сильное подкисление реакции почвы происходит вследствие физиологической кислотности минеральных удобрений (особенно азотных и калийных) при их систематическом применении (Петербургский, 1964; Авдонин, 1965; Dunton, 1968). По данным Л.А. Лебедевой (1985), для дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы с содержанием гумуса 1,8%, V – 45%, pH_{KCl} – 4,4 оказалось достаточным внесение по

480 кг/га $N_{аа}P_cK_\backslash$ (в течение 8 лет), чтобы показатели обменной кислотности и содержания подвижного алюминия достигали уровня, при котором большинство сельскохозяйственных культур не развивалось или давало очень низкий урожай.

Е.В. Козловский, А.Н. Небольсин, Ю.В. Алексеев, П.А. Чуриков (1983), А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина (1997) указывают на то, что при внесении аммиачных азотных удобрений аммоний является катионом-восстановителем по отношению к Mn^{3+-4+} и Fe^{3+}, т.е. способствует переводу их малоподвижных соединений в легкоподвижные.

Фосфорные удобрения, не изменяя реакции питательной среды, физиологически «нейтрализуют» вредное действие водородных ионов в самом растении. Если водородные ионы ослабляют синтетические процессы в растениях, то фосфор усиливает их (Н.С. Авдонин, 1965; Блэк, 1973; Т. Палавеев, Т. Тотев, 1983). Влияние фосфора на подвижность алюминия и его токсичность неоднозначно. Повышение фосфора в почве снижает подвижность и токсичность алюминия вследствие образования фосфатов алюминия высших степеней замещения. Однако при некотором избытке подвижного фосфора в почве (более 25 мг/100 г) начинается образование более растворимых двух- и однозамещенных фосфатов, и подвижность алюминия может снова возрастать (А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина, 1997).

Хлор, входящий в состав калийных удобрений, усиливает действие водородных ионов (Д.Н. Прянишников, 1965; Т.Палавеев, Т.Тотев, 1983).

Как известно, эффективным способом, устраняющим отрицательное действие кислотности почв, является известкование. Обобщенные данные 140 опытов в Волго-Вятском экономическом регионге показали, что на почвах, имеющих нейтральную реакцию и высокое содержание подвижного фосфора и обменного калия, урожай картофеля составил 134,6 ц/га, что оказалось в 1,5 раза больше урожая, полученного на сильнокислых почвах (Ломако, 1979). При применении органических и минеральных удобрений интервал кислотности, при котором возможно получение высоких урожаев, расширяется (Небольсин, 1976; Соболевский, Лапченко, 1976; Шильников и др., 1979).

Фото 1. – Усыхание побегов картофеля перед цветением, обусловленное дефицитом кальция.

Фото 2. – Характерные разрывы листочков целого листа картофеля, вследствие дефицита кальция (содержание кальция в листьях составляет Ca=0,36 %).

Фото 3. – Растения картофеля с начинающимся дефицитом магния (мезжилковый хлороз).

Фото 4 . – Растения картофеля с симптомами острого дефицита магния (мезжилковый хлороз и некроз тканей листьев)

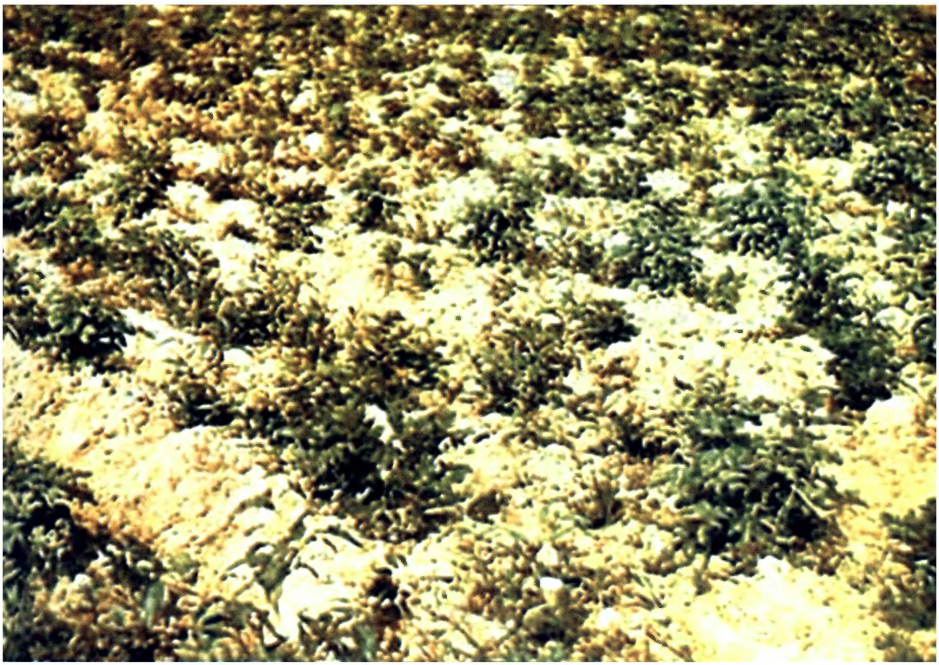

Фото 5. – Общая гибель поля с картофелем вследствие острого дефицита магния в почве (pH_{KCl}=4,0; содержание в почве Mg=12 мг/кг)

В опытах Н.И. Акановой (2001) получена высокая отзывчивость на известкование всех культур севооборота. Так, внесение половинной дозы извести повысило урожай в среднем за все годы исследований: озимой пшеницы на 49%, ячменя на 55%, сена многолетних трав на 24%, льносоломки на 33%, клубней картофеля на 31%, сена однолетних трав на 38%. Причем на зерновых культурах и травах действие мелиоранта было сравнимым с действием средней дозы минеральных удобрений, а на льне и картофеле известкование обеспечивало урожай лишь на 14% меньше, чем на варианте с внесением средней дозы NPK.

В опытах А.Н. Аристархова (2000; 2002) полные дозы извести в сочетании с органическими и минеральными удобрениями создавали благоприятную реакцию среды в почвах разного гранулометрического состава, оптимальное соотношение элементов питания для всех культур, в т.ч. для «кальциефоба» - картофеля, и не снижали урожай и качество клубней по сравнению с половинной дозой.

19.2. Значение питательных элементов для картофеля и требования, предъявляемые к их содержанию в почве

Для нормального роста и развития растения картофеля нуждаются в большом количестве питательных элементов. Повышенная потребность его в элементах питания объясняется биологическими особенностями – способностью накапливать в своих органах значительные количества минеральных элементов и относительно слабым развитием корневой системы в первый период вегетации (Писарев, 1957; 1968; Ильин и др., 1974). У картофеля более 90% корней сосредоточено в слое 0-20 см, причем 75,5% – в самом верхнем слое 0-10 см.

Азот. Недостаточное азотное и, особенно, фосфорное питание в первый период жизни растений картофеля нарушает обмен веществ, снижает интенсивность последующего развития и ведет к значительному понижению урожая и содержания крахмала в клубнях (Ахромейко, 1939; Плешков, 1957; Писарев, 1968; Бардышев, 1984; 1991; Белоус, 1995; 1997; Коршунов, 2001).

Потребность в азоте картофель испытывает с момента прорастания клубня, образования корневой системы и ростков. Если на первом этапе развития корне-

вой системы новообразование клеток идет за счет азота материнского клубня, то для роста стеблей этих запасов обычно не хватает и растение получает его через корневую систему. Поэтому всходы появляются только после укоренения ростка в почве и начала поступления элементов минеральной пищи через корни (Вечер, Гончарик, 1973). Азот входит в состав хлорофилла, который имеет сложное строение тетрапирольного ядра с атомом магния в центре. Концентрация хлорофилла в растениях, прежде всего, зависит от азотного питания (Плешков, 1957; Прянишников, 1965; Кирпичников, 1970; Кляченко, 1973). При старении растительного организма поступление азота в растение снижается, и активность хлорофилла уменьшается. Азот входит в состав фосфатидов, которые представляют собой белково-липидные молекулы, регулирующие проницаемость клеточных оболочек для различных веществ. Является регулятором биохимических процессов - известно 700 ферментов, в основе которых находятся фосфопротеиды. Азот входит также в состав глюкозидов, алкалоидов и витаминов. И, наконец, азот входит в состав простых азотистых соединений небелковой природы - минеральные соединения: нитриты NO_2, нитраты NO_3 и аммиак NH_3, которые являются основными компонентами азотного питания растений.

Н.И. Гриднев (1982), М.А. Бардышев (1984; 1991), Н.Г. Даньков (1988), А.В. Коршунов (2001) отмечают, что количество азота в надземных органах картофеля увеличивается с момента появления всходов до фазы цветения, а затем убывает, что объясняется оттоком питательных веществ в молодые клубни. В целом же картофель потребляет азот в течение всей вегетации (Писарев, 1968).

При недостатке азота рост картофеля резко замедляется, особенно это сказывается на листьях. Листья принимают светло-зеленую окраску и преждевременно усыхают, что приводит к снижению урожая и содержания крахмала в клубнях, замедляется рост корней, они могут даже отмереть (Вечер, Гончарик, 1973). Избыточное азотное питание также вредно, так как при этом задерживается созревание растений - чрезмерно развивается ботва, образуются мелкие незрелые клубни с высоким содержанием нитратов, удлиняется вегетационный

период (Коршунов, Филиппова, 1982; Гущина,1986; Даньков, 1988, Коршунов, 2001; Perrenoud, 1993).

Потенциальное плодородие почвы обуславливается запасами гумуса, в котором на долю азота приходится от 1,5 до 5% (Анспок, Штиканс, Визла, 1981; Кореньков, 1982; Кулаковская, 1990). Валовой запас азота в дерново-подзолистой супесчаной почве составляет 0,6...1,5 т/га, а в черноземах значительно выше от 6 до 15 т/га. На долю подвижных азотистых соединений (нитраты, аммиак), которыми растения преимущественно питаются, приходится 1...2% от общего запаса азота в почве (Соколов, 1968; Кореньков, 1982; Лыков и др., 1984; Кулаковская, 1990). Даже в богатых органическими веществами черноземах количество доступного азота достигает лишь 200 кг/га пахотного слоя. Это количество способно обеспечить получение одного хорошего урожая зерновых, а в подзолистых почвах содержание легкоусвояемого азота в 3...4 раза меньше. К тому же необходимо учитывать процессы, способствующие снижению доступности азота для растений: вымывание с промывными водами, денитрификация, вынос растениями и закрепление азота в виде органического вещества - иммобилизация (Кореньков, 1982).

Применение азотных удобрений в оптимальных дозах имеет решающее значение в повышении урожаев клубней картофеля на большинстве почв Российской Федерации. Они не только повышают урожай, но и улучшают качество, увеличивая выход белка, крахмала, витаминов (Писарев, 1968; Гриднев, 1982; Гущина,1986; Даньков, 1988; Коршунов, 2001). Азотные удобрения особенно эффективны в обеспеченных влагой районах Нечерноземной полосы, на бедных дерново-подзолистых почвах. На этих почвах 60% общей прибавки урожая, получаемой от минеральных туков, падает на долю азотных удобрений и только 40% приходится в сумме на фосфорные и калийные удобрения (Соколов, 1968; Смирнов, Петербургский, 1975).

Фосфор. Роль фосфора, как и азота, в жизни растений исключительно велика. Значение фосфора для растений определяется, прежде всего, тем, что он входит в состав протоплазмы и клеточных ядер. В отличие от азота и серы он не

входит в состав молекул простого белка, но является необходимой частью нуклеиновых кислот (РНК и ДНК), которые в соединении с простыми белками образуют сложные белки - нуклеопротеиды. Фосфор в растениях содержится в минеральных и органических веществах (Плешков, 1957; Вечер, Гончарик, 1973). В минеральной форме он чаще всего находится в виде кальциевых, калиевых, магниевых солей фосфорной кислоты. Фосфорная кислота имеет большое значение и для обмена азотистых веществ в организме. Особая роль принадлежит фосфопиридоксалю. При его участии протекают процессы аминирования, переаминирования и дезаминирования (Прянишников, 1965). Фосфорная кислота необходима растениям и для первичного процесса усвоения NO_3^- и восстановления его до NH_3. Все эти обстоятельства подчеркивают тесную связь между азотным и фосфорным питанием, указывают на нарушение белкового обмена при недостатке фосфора, особенно на фоне высокого снабжения азотом (Плешков, 1957; Прянишников, 1965; Вечер, Гончарик, 1973; Бардышев, 1984; 1991).

Особо важна роль фосфора в энергетике живой клетки. Для осуществления всех синтетических процессов необходимы затраты энергии, которая поставляется макроэргическими соединениями. Основная роль среди макроэргических соединений принадлежит АТФ.

Недостаток фосфора нарушает нормальное развитие картофеля: понижается ветвистость куста, листья приобретают тусклозеленый или бронзовый оттенок, бутонизация и цветение задерживаются на 3-5 дней, на клубнях появляются коричневые пятна. Поэтому наибольшее большое значение фосфор имеет на ранних стадиях, когда идет интенсивное формирование листовой поверхности растений, что определяет будущий урожай (Плешков, 1957; Писарев, 1968; Вечер, Гончарик, 1973; Коршунов, 2001; Perrenoud, 1993). Общее содержание фосфора в растениях картофеля плавно увеличивается в течение всей вегетации. Основная масса его переходит из листьев в молодые клубни, которые интенсивно поглощают его до самой уборки (Писарев, 1968; Бардышев, 1984; 1991).

В питании растений фосфором участвуют анионы $H_2PO_4^-$ и HPO_4^{2-}, которые образуются при растворении фосфорных удобрений в почве. В почвах с интер-

валом pH от слабокислой до слабощелочной водорастворимые соли фосфорной кислоты превращаются в результате химического связывания в $CaHPO_4 * 2H_2O$, $MgHPO_4$ и долгое время остаются в этом виде. В последующем происходит химическое закрепление фосфора в виде малорастворимых соединений типа $Ca_3(PO_4)_2$ и $Mg_3(PO_4)_2$, в кислых почвах образуются еще менее доступные для растений фосфаты алюминия и железа. По современным представлениям в почве почти не бывает условий для образования $Ca_3(PO_4)_2$. Гораздо вероятнее возникновение еще менее растворимых соединений октакальций фосфата $Ca_4H(PO_4)_3*3H_2O$ и даже гидроксилапатита $Ca_5(OH)(PO_4)_3$. Возникновение апатитоподобных минералов в нейтральных почвах (pH≥6) из внесенных легкорастворимых фосфорных удобрений протекает довольно медленно и завершается наполовину за 2-6 лет (Кореньков, 1982; Кирпичников и др. 1993; Минеев, 1999). Этим и можно объяснить длительное последействие фосфатов на нейтральных почвах. Возникновение фосфатов полуторных окислов в кислых почвах идет гораздо быстрее, что и обусловливает меньший эффект удобрений на таких почвах в сравнении с нейтральными. Поэтому недостаток фосфора чаще наблюдается на кислых подзолистых суглинистых почвах. Взаимодействуя с обменным алюминием и железом почвы, он переходит в трудно растворимые и недоступные для растений фосфаты полуторных окислов. При наличии процессов связывания фосфорной кислоты алюминием и железом даже при внесении в почву сравнительно больших количеств суперфосфата в почвенном растворе очень скоро исчезает растворимая фосфорная кислота. При известковании кислых почв в почвенном растворе уменьшается содержание обменных алюминия и железа, и фосфор, переставая ими связываться, становится более доступным растениям (Кирпичников и др., 1993).

Фосфорные удобрения улучшают вкусовые качества картофеля (Писарев, 1957;1968; Гриднев, 1982; Кукреш, 1985; Гущина, 1986; Даньков, 1988; Коршунов, 2001; Perrenoud, 1993); способствуют увеличению количества клубней, укрепляют ткани растений, повышают их вирусоустойчивость (Банкина, 1976); повышают устойчивость картофеля к засухе и болезням (Сухоиванов, 1971; Гущина, 1986; Карманов, Кирюхин, Коршунов, 1988; Коршунов, 2001).

Калий в отличие от азота, фосфора и серы, которые входят в состав разнообразных органических соединений, находится в растениях в основном в минеральной форме и представлен катионом K^+. Большая часть калия (80% общего содержания) в растениях находится в клеточном соке и извлекается водой, меньшая - адсорбирована коллоидами и совсем незначительная (меньше 1% от общего содержания) необменно поглощается митохондриями в протоплазме (Минеев, 1999; Прокошев, Дерюгин, 2000). Сохраняя легкую подвижность, калий все же удерживается в освещенном растении, ночью же частично может выделяться через корни и вновь поглощаться днем. Днем калий лучше удерживается в растениях благодаря образованию на свету легко разрушимых связей этого катиона с некоторыми органическими соединениями. В старых листьях заметная часть калия вымывается дождями. Калия больше в органах, где высокий уровень обмена веществ, где интенсивно делятся клетки (меристема, молодые побеги, пыльца). Легкая подвижность калия в растениях обусловливает его реутилизацию (повторное использование), т.е. при недостатке его в питательном растворе ранее поглощенный калий может передвигаться от старых органов к молодым, вновь растущим. Именно поэтому недостаток калия визуально обнаруживается на старых листьях. В противоположность азоту и фосфору, содержание калия в товарной массе урожая большинства культур (в т.ч. картофеля) гораздо ниже, чем в нетоварной: в зернах пшеницы 0,3-0,5%; в клубнях картофеля 2-3%, в корнеплодах сахарной свеклы ~2%, тогда как в стеблях пшеницы 0,9-1,0%; в листьях картофеля 1,6-4,7% и сахарной свеклы ~3,9% (Смирнов, Петербургский, 1975). В выносе урожая корне- и клубнеплодов, подсолнечника, гречихи, калий занимает первое место, у большинства остальных растений калию принадлежит второе место (Прокошев, Дерюгин, 2000).

Калий стимулирует нормальное течение процесса фотосинтеза, т.к. до 50% K_2O листьев находится в хлоропластах; усиливает отток углеводов из пластинки листа в другие органы (Кирпичников, 1970; Бусыгин, 1986; Прокошев, Дерюгин, 2000; Коршунов, 2001). При недостатке калия в растениях накапливаются растворимые углеводы, а синтез крахмала в клубнях картофеля замедляется (Коршунов, Филиппова, 1982; Бусыгин, 1986; Пшеченков, Сидякина, 2000; Прокошев, Дерюгин, 2000; Коршунов, 2001).

Не входя в состав ферментов, он активизирует работу многих из них: рибофлавина, тиамина, киназы, пировиноградной кислоты, энзимов - с участием которых синтезируются некоторые пептидные связи, что повышает биосинтез аминокислот (Плешков, 1957; Вечер, Гончарик, 1973; Минеев, 1999; Прокошев, Дерюгин, 2000). Роль калия (наряду с кальцием и магнием) усиливается при аммиачном питании, в этом случае больше образуется белков, аммиачный азот (NH_4^+) лучше связывается в самом растении (Авдонин, 1965; Сухоиванов, 1971; Петухов, Панова, Дудина, 1985).

Калий увеличивает гидрофильность (оводненность) коллоидов протоплазмы. При нормальном обеспечении калием растения лучше удерживают воду, легче переносят кратковременные засухи и заморозки (Кирпичников, 1970; Вечер, Гончарик, 1973; Прокошев, Дерюгин, 2000; Imas, 1999); повышается устойчивость растений картофеля к различным грибным и бактериальным болезням (Бусыгин, 1986; Аристархов, 2000; Perrenoud S, 1990; Imas, 1999); улучшается лежкость при хранении, снижается степень потемнения мякоти при кулинарной обработке (Гречушников, 1957; Тамман, Прокошев, 1962; Писарев, 1968; Пшеченков, Сидякина, 2000; Mengel, 1971; Perrenoud S, 1990; Imas, 1999). Оптимизация калийного питания способствует образованию в растительных тканях фенольных соединений - основы многих защитных механизмов растений, а также увеличивает содержание аминокислоты – аргинина, которая действует токсично на развитие патогена, вызывающего фитофтороз (Krauss, 1997). Минимальная концентрация калия в питательном растворе, при которой растения еще могут его усваивать, составляет 0,01 мг K_2O в 1 л 0,0001% раствора, голодание растений обнаруживается тогда, когда его содержание понижается в 3-5 раз.

При калийном недостатке стебли укорочены и теряют прочность. Рост куста замедляется и приобретает раскидистую форму, задерживается цветение. Нижние листья картофеля становятся бронзово-коричневого цвета, края листовых пластинок отмирают, наблюдается явление так называемого "краевого ожога" листьев. Клубни имеют слегка удлиненную форму, мелкие и плохо хра-

нятся, снижается крахмалистость, т.к. при калийном голодании усиливается трата углеводов на дыхание (Гречушников, 1957; Писарев, 1957; 1968; Тамман, Прокошев, 1962; Сухоиванов, 1971; Коршунов, 2001). Избыточное калийное питание также вредно, как и недостаточное - снижается крахмалистость, вкусовые качества, рассыпчатость, наблюдается потемнение мякоти (Бусыгин, 1986; Пшеченков, Сидякина, 2000).

Содержание калия в почве в доступной для картофеля форме не постоянно, оно находится в прямой зависимости от влажности и типа почвы. Чем больше влажность, тем больше доступность калия, поэтому влияние калийных удобрений на урожайность картофеля больше проявляется в засушливые годы (Гречушников, 1957; Тамман, Прокошев, 1962; Кирпичников, 1970; Mengel, 1971; Прокошев, 2002). По утверждению В.В.Прокошева (2002), старое крестьянское нравоучение – «сумей собрать добрый урожай в плохой год» реализуется только при достаточном уровне калия в почве. По способности фиксировать внесенный калий почвы располагаются в следующий убывающий ряд: чернозем > серая лесная > дерново-подзолистая (Анспок, Штиканс, Визла, 1981; Кореньков, 1982; Прокошев, Дерюгин, 2000). Повышенная фиксация калия в черноземах связана с высоким содержанием органического вещества, оказывающего наряду с минеральной частью, решающее влияние на закрепление калия. Поглощенный калий является резервом, который, переходя в обменную форму, участвует затем в питании растений.

Улучшение калийного питания картофеля усиливает как общий рост растений, так и нарастание листовой поверхности, удлиняет продолжительность жизни листьев нижних и средних ярусов, а также период их фотосинтетической деятельности (Плешков, 1957; Писарев, 1968; Кирпичников, 1970; Вечер, Гончарик, 1973; Бардышев, 1984; Прокошев, Дерюгин, 2000).

Кальций в составе растений концентрируется преимущественно в вегетативных органах, поэтому те растения, которые образуют большую вегетативную массу, уносят наибольшее количество кальция (в т.ч. картофель).

Наиболее богаты кальцием клеточные оболочки, в которых он содержится в форме пектата кальция. В самих клетках он осаждается в виде оксалата (CaC_2O_4) (Власюк, 1969; Зейналова, 1970; Бардышев, 1984). Кальций найден и в составе некоторых белков. Передвижение кальция в растениях затруднено, вследствие осаждения его щавелевой кислотой, являющейся неизбежным продуктом обмена веществ (цикл Кребса) в ходе дыхания клеток. Т.е. этот элемент не может использоваться повторно (реутилизироваться) по мере роста растений; при отсутствии постоянного снабжения кальцием, вновь образующиеся листья не будут им обеспечены.

Кальций - единственный из катионов, необходимый всем растениям, который должен быть не только внутри тканей, но и снаружи - в среде окружающей корни. Признаки кальциевого голодания появляются у растений даже при высоком абсолютном количестве обменного кальция в почве (Магницкий, 1967). При недостатке кальция корни ослизняются и загнивают, что вызвано повышением гидрофильности и растворимости пектиновых веществ клеточной стенки (Петербургский, 1964; Прянишников, 1965; Cormack, 1955); листья становятся хлоротичными, отмирает верхушечная почка и прекращается рост стебля (Небольсин, 1983); нарушается соотношение белкового и углеводного обмена (Прянишников, 1965; Хостанцев, Гончарова, 1974).

При кислой реакции почвы поступление кальция в растения затруднено из-за антагонизма присутствующих в растворе ионов: H^+; Al^{3+}; Fe^{3+}; Mn^{3+}; NH_4^+; K^+(Гедройц, 1926; Кедров-Зихман, Ярусов и др., 1934; Корнилов и др., 1971; Козловский, Небольсин, Алексеев, Чуриков, 1983; Небольсин, Небольсина,1997). Фосфорно-калийные удобрения также снижают содержание кальция в листьях, стеблях и корнях. Это же явление антагонизма при поступлении катионов отражено в законе П. Эренберга (1919): усиленное питание калием снижает поглощение кальция и магния и наоборот. Имеются сведения о значительно более сильном влиянии калия на содержание кальция, чем кальция на содержание калия (Козловский, Небольсин, Алексеев, Чуриков, 1983).

Дефицит кальция приводит к нарушению избирательности процесса поглощения, поэтому низкому содержанию кальция обычно сопутствует низкий урожай и нетипичный для данного вида растений зольный состав (Прянишников, 1965). Получение хорошего урожая сельскохозяйственных культур возможно лишь при содержании кальция, во много раз превышающем количество, потребляемое самими растениями.

Магний. Значение магния в жизни растений определяется активизацией важнейших физиологических и биохимических реакций, его участием в строении молекулы хлорофилла и процессах формирования более 300 ферментов (Прянишников, 1965; Магницкий, 1967; Кляченко, 1973; Аристархов, 2000; Kiss A. Sandor., 1983). Магний участвует в преобразовании фосфорных соединений, тесно связанных с дыханием и энергетическими процессами в растениях. Особо важное значение придается взаимосвязи Mg с аденозинтрифосфатом (АТФ). Магний активизирует ферменты, участвующие в цикле трикарбоновых кислот (цикле Кребса) и в гликолизе. Установлено, что синтез белка осуществляется через полирибосомные цепочки, которые образуются при определенной концентрации Mg, равной 10^{-3} моль (Шкляев Ю.Н., 1981). При низком его содержании происходит распад рибосом, а при более высоком – рибосомы соединяются в димеры, что не способствует конденсации аминокислот в протеин. Наряду с кальцием и калием, магний определяет физико-химическое состояние протоплазмы (Прянишников, 1965; Магницкий, 1967; Вечер, Гончарик, 1973; Аристархов, 2000). В отличие от кальция магний концентрируется более заметно в генеративных органах. М.М. Мазаева (1961), Д.Н. Прянишников (1965), A. Nason, W.D. Mcelroy (1963) установили, что магний преимущественно концентрируется в наиболее жизнедеятельных тканях с повышенным делением клеток (в стеблях злаков – в узлах кущения, в зерне – в зародыше, в клубнях картофеля – в глазках). Однако для данного элемента характерно и высокое содержание его в листьях (Кляченко, 1973). Недостаток магния тормозит синтез азотсодержащих соединений (Klein et al., 1982), особенно хлорофилла, вызывая хлороз листьев, который проявляется, прежде всего, на старых органах (Магницкий, 1967; Кляченко, 1973).

На легких почвах с низким содержанием магния (3-6 мг MgO на 100 г почвы) картофель испытывает магниевое голодание. Картофель сильно отзывается на магний, количество которого в почве должно быть не менее 33-49 мг на 100 г почвы (Альсмик, Амбросов, Вечер и др., 1979). При его внесении лучше развиваются клубни и корнеплоды, чем ботва (Магницкий, 1967). На дерново-подзолистых почвах с низким уровнем обменного магния дозы растворимых в воде и лимонной кислоте магниевых удобрениях под картофель должны составлять 60-90, на торфоболотных – 100 кг/га д.в. Дефицит Mg характерен не только для почв легкого гранулометрического состава, но и для суглинистых разностей. Исследованиями агрохимслужбы выявлено в целом по Российской Федерации 47,4 % низко- и среднеобеспеченных магнием почв (Аристархов А.Н., 2000), которые нуждаются в улучшении магниевого режима.

Л.И. Кораблева (1954), К.П. Магницкий (1967) отмечают, что у картофеля в ранние фазы его развития потребность в магнии небольшая, но с начала цветения она резко возрастает, а затем, перед созреванием уменьшается.

Поступление магния в растения определяется не только наличием доступной формы в питательной среде, но и зависит от соотношения его с другими катионами, от фазы развития, вида растений, кислотности почвы и других условий.

К.К. Гедройц (1932) считал, что установление неблагоприятных соотношений между Ca и Mg при внесении высоких доз извести является причиной отрицательного действия известкования на ненасыщенных основаниями почвах. Согласно данным, полученным О.К. Кедровым-Зихманом (1957), в случае применения одного $CaCO_3$ наибольший урожай клубней картофеля был получен при pH 4,7 и составил 257 г/сосуд. При внесении такой же дозы углекислых солей Ca и Mg наибольший урожай клубней был получен при pH 5,7 и равнялся 361 г/сосуд. По данным Х.К. Асарова (1949) максимальные урожаи картофеля достигались при совместном внесении извести, магния и бора на фоне полного минерального удобрения. В опытах H.C. Harrison et al. (1982) урожайность картофеля существенно не изменялась в зависимости от содержания в почве обменных кальция и магния, но заметно колебалась с изменением содержания в почве обменного калия. Максимальный урожай клубней (250 ц/га) был получен при содержании в почве 5% обменного калия и 5% обменного магния.

Так как калий и магний действуют антагонистически, то недостаток магния проявляется сильнее при одностороннем усилении калийных удобрений (Магницкий, 1967). При внесении под картофель калийных удобрений рекомендуется на каждые 100 кг K_2O вносить дополнительно 25 кг MgO, если содержание магния менее 20 мг на 100 г почвы (Альсмик, Амбросов, Вечер и др., 1979).

В многочисленных полевых опытах, проводимых в различных зонах страны, установлено, что максимальные урожаи клубней зафиксированы в тех случаях, когда минеральные удобрения вносили в сочетании с навозом (Щербакова, Громыко, 1983; Кукреш, 1985; Мерзлая, 2002); второе место по эффективности занимало – полное минеральное удобрение и последнее - навоз, при раздельном его применении. Сравнение органических и минеральных систем удобрений показало, что растения картофеля лучше используют азот минеральных, а фосфор и калий – органических удобрений (Кулаковская, Детковская, Рыбик, 1972; Кулаковская, 1990). Так, на дерново-подзолистой супесчаной почве в условиях достаточного увлажнения картофель хорошо отзывался на совместное внесение навоза и минеральных удобрений (40 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{90}$), прибавка урожая на этом варианте составила 115%. Увеличение дозы навоза с 40 до 80 т на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ и, наоборот, повышение дозы минеральных удобрений в два раза на фоне 40 т/га навоза не способствовало дальнейшему увеличению продуктивности картофеля (Шугля, 1981). Длительное внесение навоза не вызывает депрессии урожаев в отличие от длительного внесения высоких доз минеральных туков (Прянишников, 1965; Белоус, 1997). Органические удобрения являются не только источником элементов питания растений, но и выполняют важную мелиоративную роль, увеличивая емкость поглощения, улучшая водно-физические свойства почвы и баланс гумуса. На дерново-подзолистых малобуферных песчаных почвах Новозыбковского филиала ВИУА минеральные удобрения оказались малоэффективны без внесения органических.

В рекомендациях по возделыванию картофеля (Возделывание картофеля..., 1977) в хозяйствах Московской области на дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почвах оптимальной дозой удобрений для получения высоких

урожаев клубней при орошении считалось сочетание 60-70 т/га органики с минеральными удобрениями в количестве $N_{150}P_{180}K_{210}$ на фоне известкования по половинной дозе, рассчитанной по гидролитической кислотности. В дальнейшем дозы минеральных туков, вносимых на фоне органических удобрений, были снижены. Для получения продуктивности картофеля на уровне 200-250 ц/га и выше по фону навоза (40-60 т/га – под столовый и 60-80 т/га – под фуражный картофель) на дерново-подзолистой супесчаной почве было рекомендовано вносить минеральные удобрения в следующих дозах N - 90-120; P_2O_5 - 60-120; K_2O - 120-160 кг/га (Замотаев, Коршунов, Воловик и др., 1985).

Таким образом, наряду с азотом, фосфором и калием, роль кальция и магния в развитии растений картофеля велика. Оптимизация питания картофеля макро- и микроэлементами на фоне оптимизации кальциевого и магниевого режима кислых дерново-подзолистых почв является сложным и динамичным процессом. Результаты, которого зависят не только от природных особенностей почв, но и от правильного выбора конкретных норм внесения удобрений и химических мелиорантов, наиболее полно учитывающих потребность культуры в кальции, магнии, азоте и других элементах. Из этого положения вытекает необходимость разработки такой системы удобрений, которая позволила бы длительное время получать высокие устойчивые урожаи картофеля по годам в условиях специализированных севооборотов на легких дерново-подзолистых почвах.

19.3. Влияние условий минерального питания на химический состав растительных органов, вынос питательных элементов и урожайность картофеля

При проведении стационарных полевых опытов было установлено быстрое угасающее действие низких доз извести (Скворцов, 1968; Кукреш, 1976; Кочеткова, 1984; Стрельников, 1984, Шильников, Лебедева, 1987), в то время как полные дозы оказывают длительное влияние на плодородие и почвенную кислотность (Шильников, Аканова, Баринов, 2000; Аканова, 2001; Аристархов, 2000; 2002). В условиях интенсивного земледелия применение низких доз извести приводит к недобору урожая чувствительных к повышенной кислотности

культур – пшеницы, ячменя, бобовых – которые должны входить в состав специализированных картофельных севооборотов (Писарев, 1968; Коршунов, 1984; Карманов, Кирюхин, Коршунов, 1988). Низкие дозы извести (0,25 и 0,5 по г.к.) не обеспечивают устойчивого повышения плодородия почв. Это положение подтверждают не только многочисленные данные полевых опытов, но и практика известкования кислых почв. Хорошо известно, что в тех районах и областях, где известкование проводили осторожно и малыми дозами, кислотность почв существенно не изменилась.

В последние годы проведен целый ряд опытов по России, в которых полные дозы известковых материалов в сочетании с органическими и минеральными удобрениями создавали благоприятную реакцию среды, оптимальное соотношение элементов питания для всех культур, в том числе для картофеля, и не снижали урожайность и качество по сравнению с половинной дозой (Кулаковская, 1978; 1990; Авдонин, 1978; Авдонин, Болышева, 1978; Шильников, 1982; Удалова, 1980; Болышева, 1984; Аканова, 2001; Аристархов, 2002). В полевом опыте Соликамской опытной станции, проведенном на супесчаной почве, на фоне минеральных удобрений полная доза извести (7 т/га $CaCO_3$) повышала урожай картофеля в первой ротации севооборота с 205 до 267 ц/га, а во второй – с 209 до 238 ц/га. Применение даже полуторной дозы не приводило к понижению урожая (Рудометов, 1958). В опыте Н.С.Авдонина, Т.Н.Болышевой (1978) двойная доза извести повышала урожай клубней на 15%. Наибольший прирост урожая наблюдался при внесении на фоне двойной дозы извести 120 кг/га калийных удобрений. Результаты исследований А.Н. Аристархова (2002) показали теоретическую и практическую целесообразность применения полных доз извести в севооборотах с картофелем на фоне повышенных норм органических и минеральных удобрений.

Противоречивость результатов известкования почв под картофель объясняется многими причинами. В.Н. Прокошев (1952), О.К. Кедров-Зихман (1957) сделали вывод, что отрицательное действие известкования на картофель проявлялось в тех случаях, когда применялись известковые удобрения, не содержа-

щие значительных количеств магния, а положительное – при наличии последнего. Отрицательный результат на картофеле после проведения известкования наблюдался в опытах М.В. Власовой (1937); В.Н. Прокошева (1952); А.Г. Хостанцева, В А. Гончаровой (1974); С.А. Тулина, А.К. Алексеевой (1978) - урожай клубней снижался из-за избытка кальция в почве.

В опыте С.А.Тулина, А.К.Алексеевой (1978), за 11 лет исследований на среднеокультуренных дерново-подзолистых почвах Брянской области известняковая мука, внесенная по полной гидролитической кислотности, снижала урожай и крахмалистость клубней. В то время как доломитовая мука устойчиво повышала урожай при сохранении высокой крахмалистости продукции. Данные В.Н. Соболевского, В.П. Лапченко (1976) показывают, что все формы извести (в дозах до 1,5 по г.к.) не оказывали отрицательного влияния на урожай клубней картофеля в течение первых пяти лет, причем в наиболее благоприятные годы проявилась даже положительная их роль. И только на 6 год последействия мел снизил урожай на 27 ц/га. Доломитовая мука и сланцевая зола урожая не снижали. В опыте Л.И. Удаловой (1980) в среднем за 9 лет известковые удобрения (известняковая мука, доломитовая мука и металлургический шлак) повышали урожай картофеля на 6-15 ц/га. Лучшей формой известковых удобрений оказалась доломитовая мука.

Известкование влияет на величину урожая через изменение химического состава различных органов этого растения. Замена части кальция на магний в известковом удобрении приводила к понижению процентного содержания кальция в органах картофеля, то же самое наблюдали при внесении в почву одного углекислого магния (Кедров-Зихман, 1957; Авдонин, Болышева, 1978; Lee, Macdonald, 1977; Blasl, Bachler, 1982). Под влиянием углекислых кальция и магния во всех органах картофеля заметно повышался процент общего азота и фосфора (Кедров-Зихман, 1957; Аристархов, 2000). А.Н. Аристархов (2000) отмечает, что высокая сумма аминокислот на вариантах с известью хорошо согласовывалась с данными минерального состава растений картофеля. Лучшие варианты по аминокислотам характеризовались усиленным поступлением в растения азота и

фосфора, мобилизованных известью. Наоборот, кальциевая недостаточность отрицательно сказывается на поглощении картофелем азота, фосфора и калия (Кляченко, 1973). По данным А.Г. Хостанцева, В.А. Гончаровой (1974) на делянке с наивысшим содержанием кальция (доза выше 1,0 по г.к.) наблюдалось значительное накопление в листьях кальция при меньшем содержании в них калия и азота. В другом опыте при известковании посадок картофеля молотым известняком в условиях Полесья Украины наблюдалось повышение содержания азота в растениях (Воловненко, Чорный, 1982). Как известно, на содержание азота в растениях определяющее влияние оказывают почвенные условия: температура, влажность, кислотность, содержание токсичных элементов и др. Известкование улучшает использование азота культурами (по сравнению с кислыми почвами в 1,3-1,7 раза), в основном, благодаря активизации полезной почвенной микрофлоры, улучшающей азотный режим. Использование азота на известкованных почвах из различных форм азотных удобрений практически одинаково. На кислых почвах использование азота из удобрений снижается, главным образом, из-за токсичности алюминия и меньшее - марганца и железа (Козловский, Небольсин, Алексеев, Чуриков, 1983; Палавеев, Тотев, 1983).

В работе А.Н. Аристархова (2002) установлено, что химический состав растений картофеля не имел существенных различий при использовании полных и половинных доз извести. С увеличением доз извести содержание P, K и Mg в картофеле росло незначительно, а концентрация микроэлементов – слабо уменьшалась.

Известь является не только средством для нейтрализации почвенной кислотности, но и источником питания растений кальцием и магнием. Опыты А.Н. Небольсина, З.П. Небольсиной (1997) с известью, меченной изотопом ^{45}Ca, показали, что доля кальция, усвоенного из нее через три года после внесения, составляет при малых дозах – 14-29%, при больших – 31-42%, а в год внесения на легких почвах – до 50-82%. Острый дефицит в кальциевом питании сельскохозяйственных культур обусловленный низким и очень низким содержанием кальция в почвах (30-70% площадей почв), снижающий урожай и качество

культур, установлен в Республике Коми, Новгородской, Псковской, Ивановской, Тверской, Костромской, Смоленской, Нижегородской и Камчатской областях. В этих областях и в целом ряде других областей России также велика доля среднеобеспеченных кальцием почв. Обеспеченность почв Российской Федерации магнием также очень слабая: 47,4% площади почв относятся к низко- и среднеобеспеченным по Mg (Аристархов, 2000). Это свидетельствует о том, что в настоящее время во многих областях России существует проблема дефицита кальция и магния в питании сельскохозяйственных культур.

Вынос кальция урожаем (с учетом нетоварной массы) составляет: у зерновых - около 1 кг/ц, зернобобовых – 2-3; многолетних бобовых трав - около 3; картофеля и свеклы - 0,4-0,5 и капусты - 0,6 кг/ц (Каюмов, 1989). Однако если учесть, что уровень урожаев пропашных культур значительно выше, чем у зерновых, то и потребность в кальции у растений картофеля высокая; по выносу с урожаями он уступает лишь калию (Сопильняк, 1972; Кулаковская, Детковская, Рыбик, 1972; Смирнов, Петербургский, 1975; Демин, Рузлева, 1985; Аристархов, 2000). Так, 150 ц клубней картофеля и 50 ц ботвы выносят 85 кг CaO, но вся ботва остается в поле и поэтому хозяйственный вынос для картофеля меньше – 50-60 кг/га. Как известно, размер выноса элементов питания у картофеля изменяется от внесения удобрений, кислотности почвы и ее механического состава. В опыте Н.И. Гриднева (1982) с ростом доз и сочетаний удобрений вынос азота и магния увеличивался в 2 раза, а фосфора и калия – в 1,5-1,8 раза.

Потребность растений в магнии зависит от вида культуры и уровня урожаев. Много выносят этого элемента питания из почвы сахарная и кормовая свекла (36-42 кг/га), картофель (24-36 кг/га, значительно больше фосфора), мало выносят зерновые культуры (6-10 кг/га) и злаковые травы (6-8 кг/га). Промежуточное место по выносу магния занимает люпин (12-24 кг/га), бобовые травы (20-30 кг/га).

При известковании кальцийсодержащими материалами (например, мелом) в известкованной почве избыток кальция может помешать нормальному поступлению ионов калия и магния в растения (люпин, картофель, лен), вследствие

антагонизма, возникающего между этими ионами (Sears, 1930; Хостанцев, Гончарова, 1974; Асаров, Фомина, 1976; Авдонин, Болышева, 1978; Magdoff, Bartlett, 1980; Аристархов, Кочеткова, 1981; Болышева, 1984; Paterson, Henninger, 1982), что отрицательно сказывается на урожае и является одной из причин вредного влияния известкования на картофель.

Растения картофеля потребляют кальций и магний в определенных соотношениях. По данным А.И. Ахромейко (1939); А.С. Вечера, М.А.Бардышева (1972); М.А.Бардышева (1984) в надземную массу кальция поступает в 2-3 раза больше, чем магния, а в корнях соотношение Ca/Mg колеблется в пределах 10,2-12,4, в молодых клубнях оно равно 2,4-3,1.

Было установлено, что для устранения или ослабления кальциефобности картофеля следует вносить повышенные дозы калийных удобрений и использовать доломит (Асаров, 1949; Шемпель, Старовойтов, 1956; Кедров-Зихман, 1957; Кирпичников, 1970; Асаров, Фомина, 1976; Авдонин, Болышева, 1978; Шильников и др., 1979; Lee, Macdonald, 1977). По данным Н.С.Авдонина, Т.Н.Болышевой (1978), на слабоокультуренной среднесуглинистой дерново-подзолистой почве по силе своего положительного действия на фоне повышенной дозы извести первое место занимает – калий, второе – магний, третье – бор. В опыте Д.К. Валовненко, Д.Л. Чорного (1982) на известкованном фоне внесение 120 кг/га калия в составе полного минерального удобрения повышало процентное содержание K_2O в клубнях, а внесение 40 т/га навоза снижало. П.П. Соловьев (1977) в своих исследованиях также отмечает, что действие известковых удобрений на картофель под влиянием минеральных удобрений повышалось, а под влиянием навоза – снижалось. Х.К.Асаров, Л.Г.Фомина (1976), Н.С.Авдонин, Т.Н.Болышева (1978) пришли к противоположному выводу: органические удобрения, содержащие комплекс элементов питания, оказывают при известковании смягчающее действие. Так, в полевом опыте с картофелем на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве на фоне 30 т/га навоза известь повышала величину и качество урожая клубней, в то время как на фоне одних минеральных удобрений известкование по полной г.к. снижало урожай

(Асаров, Фомина, 1976). По данным Н.А. Кирпичникова (1970), процентное содержание калия в картофеле от известкования несколько уменьшалось и особенно заметно в засушливый год. В то время как внесение известняковой муки совместно с повышенной дозой калия повышало содержание калия в листьях и стеблях, что увеличивало интенсивность роста ботвы и клубней, повышалась фотосинтетическая деятельность картофеля. В среднем за 3 года от известкования получили прибавку урожая Приекульского раннего 18,7 ц/га.

В работах ряда исследователей была отмечена следующая закономерность – отрицательное действие извести на неудобренном фоне полностью прекращалось или переходило в положительное на фоне минеральных или органических удобрений, а также при их сочетании (Корнилов, Благовидов, 1965; Шемпель, Старовойтов, 1956; Рудометов, 1958; Шильников, 1982). На дерново-подзолистой почве супесчаного и среднесуглинистого механического состава в звене севооборота с картофелем, при насыщенности им на 20%, изучалось действие 0,25; 0,5 и 1,0 доз извести по г.к. Высокий уровень минеральных и органических удобрений, в том числе калийных, обеспечил благоприятное питание картофеля макроэлементами. На известкованных делянках отмечено повышенное содержание Ca, Mg, P и K. Известкование стимулировало поступление в растения азота почвы и отток калия из вегетативных органов в продуктивные. На 3-ий и 4-ый годы исследования от полных и половинных доз извести по фону $N_{120}P_{100}K_{140}$ + 40 т/га навоза на легких почвах получены практически равные прибавки урожаев картофеля (Аристархов, Кочеткова, 1981; Кочеткова, 1984).

Влияние известкования на урожайность картофеля зависит не только от обеспеченности почвы питательными элементами, но и от времени взаимодействия известковых удобрений с почвой. Так, по данным В.И. Шемпеля, К.Т. Старовойтова (1956); М.М. Романенковой (1961); Ф.И. Семеновой и др. (1973); Л.И. Удаловой (1980), при возделывании картофеля наиболее высокие прибавки урожая получены при непосредственном применении известковых материалов; по мере удаления от времени внесения эффективность известкования снижалась. В рекомендациях прежних лет предлагалось в севооборотах время по-

садки картофеля максимально удалять от времени известкования (Справочник агронома, 1948). K. Holmstrom (1983) также не рекомендует размещать картофель на свежепроизвесткованной почве.

Противоречивость результатов известкования в опытах с картофелем еще раз указывает на сложность и недостаточную изученность этого вопроса. Отсутствуют длительные наблюдения за влиянием извести на химический состав картофеля, как при непосредственном проведении известкования, так и в последействии. Поскольку химический состав отражает своеобразие складывающегося питательного режима, характерного для каждого вида растений в его онтогенезе, то разработка этого вопроса является актуальной.

19.4. Эффективность комплексного применения средств химизации в интенсивном севообороте с картофелем

Изучение эффективности сочетания доломитовой муки, минеральных и органических удобрений на продуктивность картофельного севооборота и агрохимические свойства почвы проводили в двухфакторном полевом опыте на территории ОПХ «Коренево» Люберецкого района Московской области на двух полях со следующим чередованием культур: картофель, горох-овес, картофель, ячмень. Схема опыта [(6x4)x3=72 делянки] включала три дозы доломитовой муки и неизвесткованный контроль без удобрений. Дозы доломитовой муки (24% Ca и 11% Mg), рассчитанные в долях гидролитической кислотности - 0,5, 1,0 и 2,0 по г.к., что соответствовало в физическом весе – 3,2 т/га, 6,4 и 12,8 т/га, были внесены весной 1977 г. на обоих полях, под перепашку зяби согласно схеме опыта. Указанные дозы доломитовой муки являлись фонами, на которых ежегодно перед посадкой картофеля применяли следующие дозы и виды удобрений: 80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$; 80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$; $N_{90}P_{90}K_{120}$; $N_{135}P_{135}K_{180}$; $N_{150}P_{150}K_{180}$. В опыте использовали аммиачную селитру, двойной гранулированный суперфосфат и хлористый калий. В качестве навоза применяли твердую фракцию бесподстилочного навоза КРС с содержанием N-1,42%; P_2O_5-1,30%; K_2O-1,41%; CaO-1,30%; MgO-0,87% на сухое вещество и

влажностью 63,3%. Общая площадь делянки 53 м^2, учетная 37 м^2. Делянки размещали методом рендомизированных повторений. Повторность трехкратная. Общая площадь опыта 1 га.

Почва опытного участка представлена дерново-слабоподзолистой разностью супесчаного механического состава, нормального увлажнения. Почвообразующая порода – флювиогляциальные песчаные отложения. Пахотный горизонт почвы перед закладкой полевого опыта характеризовался следующими показателями: pH_{KCl} – 4,5-4,9; гидролитическая кислотность – 3,7-4,2 мг-экв/100 г почвы, обменная кислотность - 0,28-0,39, сумма поглощенных оснований – 1,5-3,1 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 32-42%, содержание подвижного алюминия – 1,45-2,31 мг, фосфора – 23,4-27,5, калия 13,5-17,9 мг/100 г почвы, гумус – 2,2-2,7%, обменные Ca – 36,2-53,8 и Mg – 13,6-21,8 мг/100 г почвы.

Вегетационные периоды за годы исследований были различными. Наиболее дождливыми были 1976, 1980 и 1982 гг., гидротермический коэффициент (ГТК) – 2-2,5, а засушливыми 1981 и 1999 гг. (ГТК = 0,86-0,99). В 1977, 1979, 1981, 1983 и 1988 гг. наблюдались засушливые периоды с крайне неравномерным выпадением осадков в период клубнеобразования. Неравномерность выпадения осадков корректировали поливами из постоянной оросительной сети. Влажность почвы в период бутонизации - цветения картофеля не опускалась ниже 60-75% от ППВ.

За период с 1977 по 1988 гг. – прошли три ротации картофельного севооборота. До 1981 г. выращивали сорт Любимец, с 1982 по 1985 гг. – с. Домодедовский, с 1986 по 1988 гг. – с. Невский. Все сорта картофеля относятся к одной группе спелости – среднеранние. Посадку картофеля проводили в первой декаде мая элитным семенным материалом. Схема посадки 70 х 30 см. Сажали картофель сажалкой СН-4Б в предварительно нарезанные гребни с глубиной заделки клубней 8-10 см. Уход за растениями состоял: из двух довсходовых культиваций (КОН-2,8) с одновременным боронованием, двух междурядных обработок после всходов и одного окучивания перед смыканием ботвы. Клубни

убирали копателем КТН-2Б с последующим подбором вручную. Урожай картофеля учитывали путем взвешивания клубней с учетной площади.

В 1998-2001 гг. на этом же стационарном полевом опыте изучали последействие доломитовой муки, минеральных и органических удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические свойства почвы. В 1999 и 2001 гг. на опытном участке выращивали овес и викоовсяную смесь на зеленый корм, в 2000 г. – кукурузу на силос. Удобрения не вносились.

19.5. Динамика плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы под влиянием удобрений и известкования

Стабилизация и повышение плодородия почв НЗ России предполагает комплексное применение средств химизации с проведением опережающего известкования.

Результаты исследований показали, что применение доломитовой муки обеспечило снижение всех видов почвенной кислотности в первый же год после известкования. Уже в 1978 г. величина pH_{KCl} на опыте повысилась с 4,6-4,8 до 5,4-6,8 в зависимости от доз мелиоранта. Наибольшие значения pH_{KCl} удерживались в течение первых 3-4 лет (рис.19 и 20).

Продолжительность действия известкования зависела от доз доломитовой муки, органических и минеральных удобрений. Влияние половинной дозы доломитовой муки на pH_{KCl} почвы на неудобренном фоне продолжалось в течение 6 лет, а на фоне средних доз минеральных удобрений ($N_{90}P_{90}K_{120}$) и сочетания навоза с минеральными удобрениями ($N_{90-135}P_{90-135}K_{120-180}$) – 7 лет.

Применение одних минеральных удобрений в повышенных дозах ($N_{135-150}P_{135-150}K_{180}$) сократило срок действия половинной дозы до 5 лет. Действие полной дозы доломитовой муки на pH_{KCl} было более продолжительным (7-11 лет) и также зависело от доз и сочетаний удобрений.

Скорость подкисления почвенной среды на вариантах совместного применения органических и минеральных удобрений на фоне половинной дозы ме-

лиоранта была минимальной и сравнима с таковой на неудобренных делянках (табл.128).

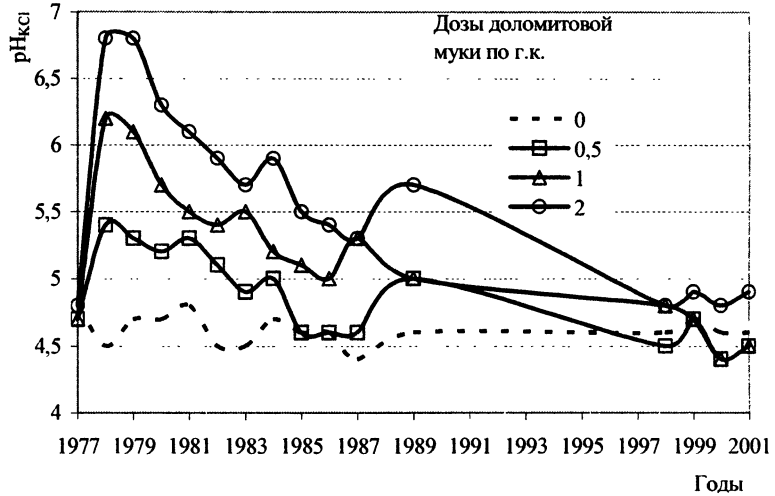

Рис. 19 Динамика pH_{KCl} почвы при внесении 80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$ на фоне различных доз мелиоранта

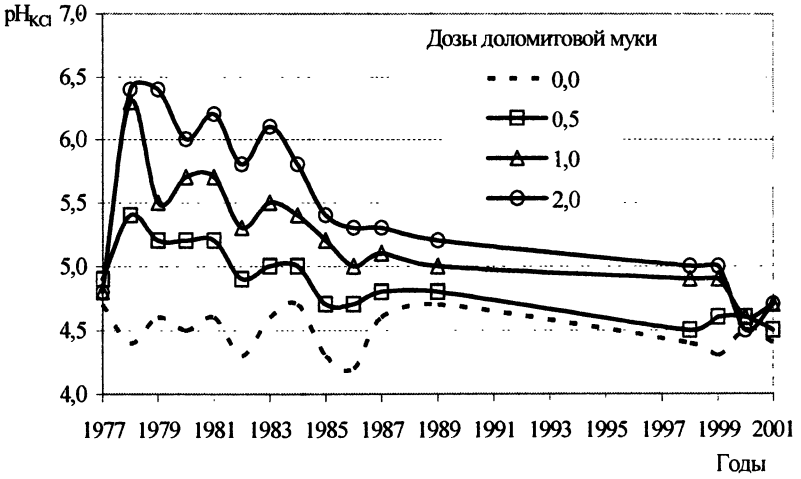

Рис. 20 Динамика pH_{KCl} почвы при внесении $N_{90}P_{90}K_{120}$ на фоне различных доз доломитовой муки

Таблица 128

Снижение уровня pH_{KCl}, достигнутого в первый год действия известкования, за период с 1978 по 1989 гг., %

Удобрения	Дозы доломитовой муки			Среднее
	0,5 г.к.	1,0 г.к.	2,0 г.к.	
Без удобрений	-9	-7	-18	-11
80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$	-7	-19	-16	-14
80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$	-7	-19	-21	-16
$N_{90}P_{90}K_{120}$	-11	-21	-19	-17
$N_{135}P_{135}K_{180}$	-18	-23	-23	-21
$N_{150}P_{150}K_{180}$	-10	-25	-26	-20
Среднее по известкованию	-10	-19	-21	

Сочетание факторов в высоких дозах способствовало максимальному увеличению скорости подкисления почвы. За 10 лет применение повышенных доз минеральных туков ($N_{135\text{-}150}P_{135\text{-}150}K_{180}$) на фоне полной и двойной доз доломитовой муки способствовало увеличению кислотности на 23-26%. На фонах полной и двойной доз доломитовой муки, где первоначально наблюдалась практически полная нейтрализация почвенной среды, в последующие годы развивалась наибольшая скорость подкисления.

Половинная доза доломитовой муки не вызывала сильных изменений гидролитической кислотности, ее величина на этом фоне в течение всего периода исследований (с 1978 по 2001 гг.) колебалась в интервале 3±0,2-0,5 мг-экв/100 г почвы (рис.21).

Более глубокие изменения гидролитической кислотности наблюдались на фоне полной и двойной доз доломитовой муки. После резкого снижения в 1978 г. кислотность на этих фонах вновь начинала возрастать и к 1985 г. (на восьмой год последействия) увеличилась в 1,5-2,0 раза по сравнению с уровнем первого года действия мелиоранта.

В настоящее время (1998-2001 гг.) на величину гидролитической кислотности оказывает остаточное влияние двойная доза доломитовой муки на всех вариантах опыта и поддерживает ее на уровне 2,7-2,9 мг-экв/100 г почвы, на остальных фонах известкования она колеблется в пределах 3,0-3,4 мг-экв/100 г почвы.

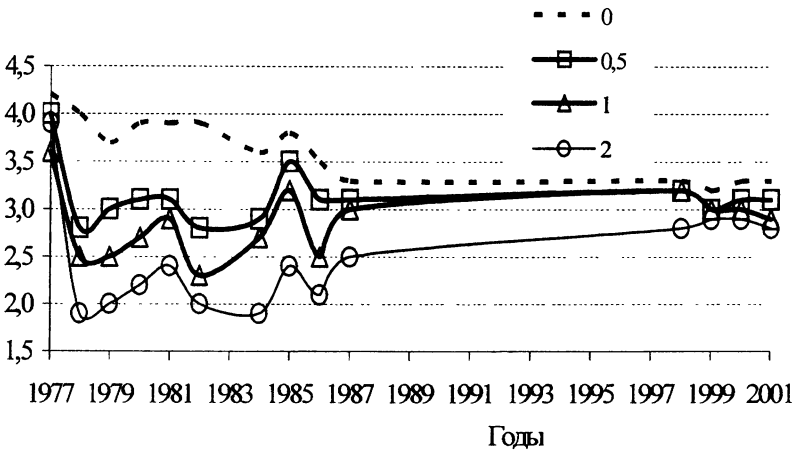

Рис. 21 Динамика гидролитической кислотности почвы при внесении 80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$ на известкованных фонах

Систематическое применение возрастающих доз минеральных удобрений в течение 10 лет способствовало увеличению гидролитической кислотности на 27-40% по сравнению с ее уровнем, установившимся в первый год действия известкования. На вариантах без применения удобрений уровень гидролитической кислотности, достигнутый в первый год после известкования, оставался без изменений в течение 10-15 лет. Органоминеральная система питания картофеля по своему подкисляющему действию занимала промежуточное положение – за 10 лет ее применения гидролитическая кислотность повысилась на 24-34%.

Изменение обменной кислотности и подвижного алюминия под действием известкования было подчинено тем же закономерностям (рис. 22). Минимальный уровень H_o и Al достигнут на фоне полной и двойной доз доломитовой муки, который затем практически не изменялся на протяжении 10 лет независимо от применяемых удобрений.

Обменная кислотность и подвижный алюминий существенно увеличивались от систематического применения возрастающих доз минеральных удобрений ($N_{90-150}P_{90-150}K_{120-180}$) на кислой почве. Через 10 лет применения $N_{150}P_{150}K_{180}$ содержание подвижного Al достигло 5,25 мг/100 г почвы, что в 2,8 раза выше исходного значения.

Внесение доломитовой муки длительное время способствовало обогащению дерново-подзолистой супесчаной почвы обменными основаниями. Максимальные значения суммы обменных оснований были отмечены на следующий год после известкования двойной дозой.

На фоне этой дозы при совместном внесении органических и минеральных удобрений она составила 6,7-7,2 мг-экв, при внесении минеральных удобрений существенно ниже – 5,8-6,3 и без удобрений – 5,9 мг-экв/100 г почвы. В течение последующих 12 лет (или трех ротаций севооборота) сумма обменных оснований постепенно уменьшалась, причем наиболее интенсивно под влиянием минеральной системы удобрений. В настоящее время (2001 г.) сумма обменных оснований находится ниже исходного уровня на неизвесткованных вариантах и на фоне половинной дозы доломитовой муки, а на фоне полной и двойной доз мелиоранта поддерживается на уровне с исходной почвой или даже немного превышает его.

В 1978 г. на фоне полной и двойной доз доломитовой муки была достигнута оптимальная степень насыщенности почвы основаниями, которая постепенно снижалась с течением времени. Через 24 года после закладки опыта степень насыщенности основаниями в зависимости от применявшихся ранее удобрений колеблется: на кислом фоне – от 34 до 40%, на фоне половинной дозы – от 37 до 42%, на фоне полной дозы – от 42 до 47% и на фоне двойной – от 46 до 51%. На содержание обменных Са и Mg в почве заметное влияние оказало не только известкование, но и применяемые системы удобрений. Минеральные удобрения ускоряли переход Са и Mg доломитовой муки в обменно-поглощенное состояние, а в дальнейшем способствовали более интенсивному вымыванию их из пахотного слоя почвы (табл. 142). Через 10 лет содержание обменного Са на абсолютном контроле снизилось на 4%, а на вариантах органоминеральной системы питания – увеличилось на 2-3%. Применение высокой дозы минеральных удобрений ($N_{150}P_{150}K_{180}$) за 10 лет привело к достоверному снижению обменного Са на 13% от исходного уровня. По данным последних лет (1998-2000 гг.) содержание обменного кальция по фонам известкования составляет: на кислом

фоне – 28-33 мг/100 г почвы, на фоне половинной – 35-38 мг; на фоне полной – 40-41 мг и на фоне двойной дозы доломитовой муки – 43-48 мг/100 г почвы.

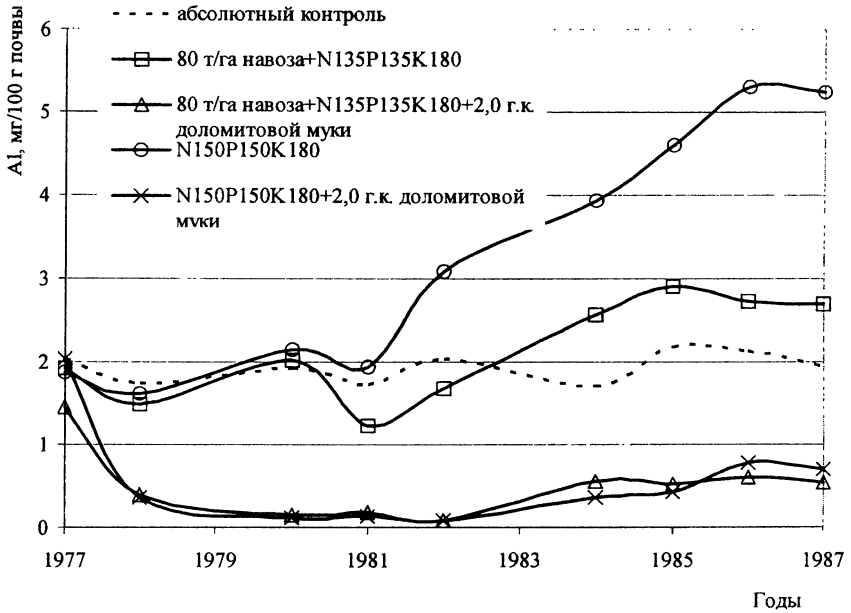

Рис.22 Динамика содержания подвижного алюминия в почве

В отличие от кальция, обеднение почвы магнием происходило более интенсивно. Через 10 лет после известкования (1987 г.) содержание обменного магния возвратилось на исходный уровень, который был до известкования, а на вариантах без удобрений и неизвесткованных делянках его концентрация стала существенно ниже исходных значений. В настоящее время содержание обменного магния на всех вариантах опыта (MgO – 11-18 мг/100 г почвы) в два раза ниже исходного уровня. По данным полевого опыта среднегодовые потери MgO за период с 1977 по 2000 гг. составили: на неизвесткованном фоне – 0,7-0,9 мг/100 г почвы (21-27 кг/га), на фоне известкования – 1,0-3,1 мг (30-93 кг/га), а CaO соответственно – 1,5-2,0 мг (45-60 кг/га) и 1,6-3,4 мг/100 г почвы (48-102 кг/га).

Внесение доломитовой муки привело к увеличению подвижных форм фосфора, особенно заметно в период с 1981 по 1985 гг. Известкование по своему действию на фосфатный режим почвы оказалось равноценно внесению удобрений. На кислом фоне фосфорные удобрения работали слабо, поскольку основная часть фосфора удобрений связывалась в недоступные формы подвижными железом и марганцем. На известкованном фоне применение удобрений существенно повышало содержание подвижного фосфора в почве. Через 24 года на содержание подвижного фосфора в почве ощутимо сказывается влияние последействия удобрений.

В севооборотах картофельной специализации особое место занимают вопросы калийного питания. В настоящее время калий во многих почвенных разностях стал элементом первого минимума, опередив азот. При возделывании этой культуры на легких почвах калийному питанию следует уделять усиленное внимание, поскольку на супесчаных почвах величина выноса калия на 1 т основной продукции картофеля наибольшая, где вынос азота составляет 4,0-5,9 кг, фосфора 1,8-2,1 кг, калия 9,2-12,4 кг (табл. 140). Несмотря на внесение больших доз калийных удобрений в нашем опыте, обогащение почвы этим элементом проходило очень медленно. За 10 лет применения удобрений содержание калия в почве существенно увеличилось по органоминеральной системе питания. Внесение минеральных удобрений в дозах $N_{90-150}P_{90-150}K_{120-180}$ было недостаточно для достоверного увеличения обменного калия в почве при высокой насыщенности севооборота картофелем.

За период с 1978 по 1989 гг. достоверное увеличение обменного калия отмечено только на фоне двойной дозы доломитовой муки по сравнению с кислой почвой (рис.23). В настоящее время (2001 г.) последействия изучаемых факторов на содержание этого элемента не наблюдается. Количество обменного калия в почве на опытном участке снизилось до 5 - 10 мг/100 г почвы, т.е. практически, приблизилось к минимальному уровню. Среднегодовые потери калия из почвы за 24 летний период составили 0,4-0,6 мг /100 г почвы (или 12-18 кг/га).

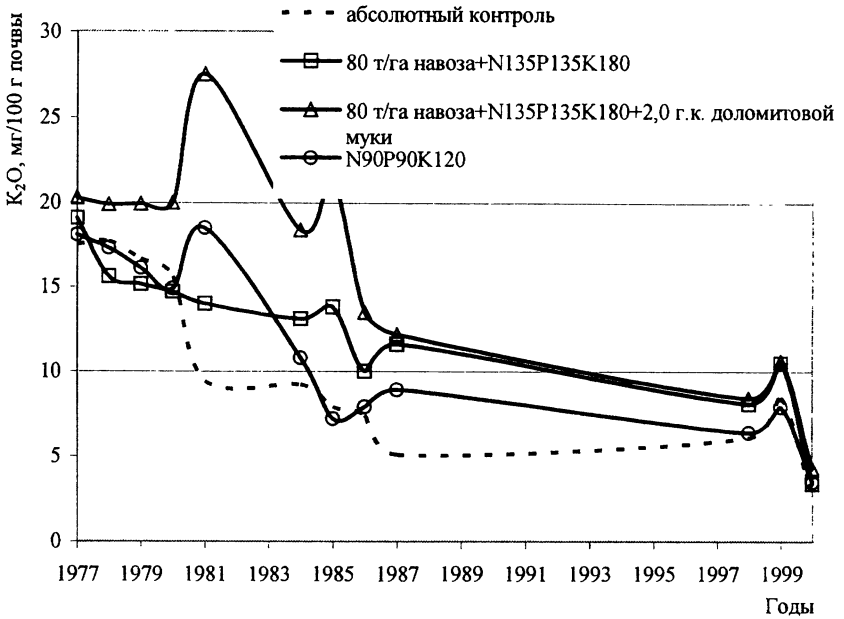

Рис.23 Динамика содержания обменного калия в почве

Таким образом, установлены общие закономерности изменения плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы. Максимальные сдвиги агрохимических показателей в нейтральную сторону отмечены в первые 3-4 года, закономерно увеличиваясь с увеличением доз доломитовой муки и затуханием нейтрализуюшего эффекта (табл.129). Сочетание высоких дозировок минеральных удобрений ($N_{135-150}P_{135-150}K_{180}$) и доломитовой муки (по 1,0 и 2,0 г.к.) вызывало максимальное увеличение скорости подкисления почвенной среды – на 23-26% и обеднение щелочноземельными элементами. Чем выше доза мелиоранта и минеральных удобрений, тем существенней первоначальные изменения в почве и выше обратная скорость подкисления. Среднегодовые потери pH_{KCl} в кислую сторону закономерно увеличивались с увеличением доз мелиоранта и удобрений и составили: на кислом фоне – 0,01-0,03 ед. pH /год, на фоне половинной дозы – 0,03-0,06, на фоне полной дозы доломитовой муки – 0,04-0,10, на фоне двойной дозы – 0,07-0,10 ед. pH /год.

Таблица 129

Влияние известкования на смещение агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Дозы доломитовой муки		Максимальный сдвиг показателей				Сдвиг показателей от 1 т доломитовой муки			
в долях г.к.	в т/га	pH_{KCl}	$H_г$	S	V,%	pH_{KCl}	Нг	S	V, %
			мгэкв/100 г						
0,5	3,2	0,7	-0,8	1,6	19	0,22	-0,25	0,5	6
1,0	6,4	1,4	-1,7	2,8	30	0,22	-0,27	0,4	5
2,0	12,8	1,9	-2,4	4,2	51	0,15	-0,19	0,3	4

Потери элементов из пахотного слоя легкой дерново-подзолистой почвы достигают существенных размеров, особенно высоки потери кальция, магния и калия. Через 24 года после проведения известкования действие двойной дозы доломитовой муки ощутимо сказывается на основных физико-химических показателях плодородия дерново-подзолистой почвы, остаточное влияние полной дозы мелиоранта также проявляется на некоторых параметрах. Влияние половинной дозы не наблюдается. В интенсивном севообороте с картофелем на легкой дерново-подзолистой почве применение органоминеральной системы удобрений на известкованном фоне обеспечивает стабилизацию почвенного плодородия в течение длительного времени.

Почвенные разрезы, выполненные в 2000 г. на абсолютном контроле и на варианте сочетания факторов в максимальных градациях ($N_{150}P_{150}K_{180}$ + известкование 2,0 по г.к.), позволили установить длительность последействия известкования (24 года) и удобрений (10 лет) на физико-химические свойства горизонтов почвы. Так, если обменная кислотность на абсолютном контроле по горизонтам колебалась от 0,69 до 4,10 мг-экв, то на варианте последействия 2,0 г.к. доломитовой муки + $N_{150}P_{150}K_{180}$ по соответствующим генетическим горизонтам – от 0,3 до 0,4 мг-экв/100 г почвы (табл.130, 131).

Содержание подвижного алюминия на абсолютном контроле по профилю почвы колебалось от 0,10 до 1,20 мг-экв/100 г почвы, а на варианте последействия 2,0 г.к. доломитовой муки + $N_{150}P_{150}K_{180}$ – от 0,03 до 0,21 мг-экв/100 г почвы. На варианте последействия 2,0 г.к. доломитовой муки + $N_{150}P_{150}K_{180}$ по всем

горизонтам почвенного профиля степень насыщенности основаниями, содержание CaO, MgO, P_2O_5 выше соответствующих значений на абсолютном контроле. Повышенное содержание фосфора в почве объясняется последействием удобрений, суммарная доза которых на этом варианте за период с 1977 по 1988 гг. составила 900 кг P_2O_5.

Таблица 130

Характеристика горизонтов почвы на абсолютном контроле (без удобрений и известкования), 2000 г.

Горизонт мощность, см	pH_{KCl}	Нг	Нобм	S	Al	V,%	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O
		мг-экв/100 г почвы					мг на 100 г почвы			
Апах 0-37	4,7	3,30	0,69	2,0	0,10	38	32	13	45	3,0
B_1 50-125	3,7	4,60	4,10	2,7	1,20	37	24	9	12	5,7
B_2 125-180	4,1	1,78	0,79	2,8	0,70	61	21	12	37	3,5
C>190	4,5	0,40	0,20	2,5	0,20	86	6	8	45	2,0

Таблица 131

Характеристика горизонтов почвы на варианте последействия двойной дозы доломитовой муки и $N_{150}P_{150}K_{180}$, 2000 г.

Горизонт, мощность, см	pH_{KCl}	Нг	Нобм	S	Al	V, %	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O
		мг-экв/100 г почвы					мг на 100 г почвы			
Апах 0-40	4,9	2,7	0,3	2,4	0,03	47	45	17	52	4
B_1 50-120	4,3	1,2	0,4	2,2	0,06	65	25	10	36	5
B_2 120-180	4,5	0,9	0,3	2,7	0,21	75	30	15	63	3,5
C>190	4,5	0,4	0,2	2,5	0,12	86	9	5	52	3

При сравнении данных по динамике физико-химических параметров генетических горизонтов кислой дерново-подзолистой почвы, полученных в 1984 и 2000 годах, установлено, что среднегодовые потери элементов за период 1984-2000 гг. составили: в пахотном горизонте CaO - 1,75 мг и MgO - 0,56 мг, в горизонте B_1соответственно - 2,2 и 0,56 мг, в иллювиальном – 4,75 и 1,06 мг/100 г почвы.

Таким образом, исследования по динамике физико-химических параметров генетических горизонтов дерново-подзолистой супесчаной почвы, проведенные в разные годы (1984, 1987 и 2000 гг.) позволяют утверждать, что известкование оказывает длительное, положительное воздействие на плодородие всего профиля почвы (вплоть до глубины около 2 м). При известковании кислых почв происхо-

дит существенное обогащение элементами питания и оптимизация кислотности (прежде всего гидролитической) не только пахотного, но и подпахотного горизонтов почвы. В то же время, данные по изменению содержания обменных кальция и магния в генетических горизонтах на абсолютном контроле позволяют сделать вывод о значительных безвозвратных потерях щелочноземельных элементов, подтверждающие данные, полученные в лизиметрическом опыте.

19.6. Влияние известкования, удобрений и их сочетаний на урожайность картофеля и продуктивность севооборота

Как известно, картофель предъявляет высокие требования к условиям минерального питания. Результаты исследований показали, что средние дозы минеральных удобрений ($N_{90}P_{90}K_{120}$) за три ротации севооборота повышали урожайность картофеля по сравнению с неудобренным фоном на 30%, повышенные ($N_{135}P_{135}K_{180}$) – на 40% (табл.132).

Увеличение дозировок удобрений до $N_{150}P_{150}K_{180}$ не вызывало дальнейшего роста урожайности. Применение 80 т/га навоза в сочетании с $N_{90\text{-}135}P_{90\text{-}135}K_{120\text{-}180}$ также не привело к значительному повышению продуктивности картофеля. В среднем за 12 лет исследований от действия навоза прибавка не превышала 14-25 ц/га или 4-8%.

С увеличением доз минеральных удобрений в органоминеральной системе питания картофеля эффективность навоза снижалась. На фоне высоких доз минеральной и органоминеральной систем удобрений развивалась мощная ботва, увеличивалось поглощение азота, затягивался период созревания, а в результате масса клубней не достигала потенциально возможного уровня.

В первой ротации севооборота (1977-1980 гг.) все три дозы доломитовой муки повышали урожай картофеля, как без применения удобрений (на 12-46 ц/га), так и при внесении средних ($N_{90}P_{90}K_{120}$) и повышенных ($N_{135}P_{135}K_{180}$) доз минеральных удобрений (на 25-51 ц/га), а также при сочетании указанных доз с навозом (на 21-53 ц/га). В среднем за первые четыре года проведения опыта при внесении различных доз удобрений наибольшие прибавки урожая клубней получены

на фоне полной и двойной доз мелиоранта. Таким образом, даже двойная доза доломитовой муки не понижала урожая картофеля в первые годы исследований.

Таблица 132

Урожайность клубней картофеля, ц/га

Удобрения	вой муки по	I-ая ротация 1977-1980		II-ая ротация 1981-1984		III-ья ротация 1985-1988		Среднее за 1977-1988	
Без удобрений	0	284	-	242	-	197	-	241	-
	0,5	296	+12	267	+25	195	-2	253	+12
	1,0	330	+46	266	+24	199	+2	265	+24
	2,0	324	+40	222	-20	195	-2	250	+9
80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$	0	372	-	379	-	279	-	343	-
	0,5	393	+21	390	+11	286	+7	357	+14
	1,0	403	+31	405	+26	294	+15	367	+24
	2,0	404	+32	350	-29	303	+18	352	+9
80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$	0	381	-	402	-	294	-	359	-
	0,5	415	+34	400	-2	288	-6	368	+9
	1,0	434	+53	409	+7	308	+14	384	+25
	2,0	416	+35	372	-30	293	-1	361	+2
$N_{90}P_{90}K_{120}$	0	361	-	339	-	253	-	317	-
	0,5	387	+26	363	+24	268	+15	339	+22
	1,0	400	+39	355	+16	253	0	336	+19
	2,0	409	+48	314	-25	235	-18	319	+2
$N_{135}P_{135}K_{180}$	0	391	-	365	-	278	-	345	-
	0,5	418	+27	388	+23	271	-7	359	+14
	1,0	416	+25	383	+18	293	+15	364	+19
	2,0	442	+51	347	-18	259	-19	350	+5
$N_{150}P_{150}K_{180}$	0	408	-	366	-	267	-	347	-
	0,5	409	+1	373	+7	268	+1	350	+3
	1,0	415	+7	364	-2	266	-1	348	+1
	2,0	412	+4	366	-	267	-	348	+1
$НСР_{05}$	удобрений	23		24		21		20	
	известк.	19		20		17		18	

Во второй ротации севооборота (1981-1984 гг.) повышение урожая клубней картофеля отмечено на фоне половинной и полной доз доломитовой муки, а на фоне двойной - достоверное снижение. Отрицательное влияние известкования началось на 6 год (1982 г.) на фоне двойной дозы и проявилось в снижении урожайности по сравнению с кислым фоном и известкованными делянками по половинной и полной дозам.

В третьей ротации севооборота (1985-1988 гг.) на варианте без удобрений и при внесении высоких доз минеральных удобрений ($N_{150}P_{150}K_{180}$) влияние доломитовой муки на урожайность картофеля не наблюдалось; при внесении средних и повышенных доз удобрений ($N_{90-135}P_{90-135}K_{120-180}$) отмечено достоверное снижение урожая (-18-19 ц/га) на фоне двойной дозы доломитовой муки. На вариантах совместного внесения органических и минеральных удобрений отрицательное действие двойной дозы доломитовой муки уменьшалось по сравнению со второй ротацией севооборота. Это свидетельствует о смягчающем эффекте органических удобрений при известковании кислых почв высокими дозами известковых материалов.

Максимальные прибавки урожаев клубней картофеля от известкования получены в первые годы исследований, затем величина прибавок сократилась примерно вдвое.

В среднем за 12 лет исследований наблюдалась высокая эффективность известкования посадок картофеля полными дозами при использовании органоминеральной системы удобрений (80 т/га навоза + $N_{90-135}P_{90-135}K_{120-180}$). При минеральной системе питания ($N_{90-135}P_{90-135}K_{120-180}$) получены практически равные прибавки урожайности на фоне известкования половинными и полными дозами, при этом в полном удобрении калий преобладал над азотом и фосфором (N : P : K = 1:1:1,3). Известкование посадок картофеля двойной дозой оказалось не эффективно, поэтому следует строго следить за внесением оптимальных доз известковых материалов на практике, не допускать переизвесткования почвы.

На известкованной почве расходовалось на 30% меньше минеральных удобрений для достижения эквивалентного уровня урожайности, получаемого на кислой почве (табл.132). Так, если на кислой почве в среднем за 12 лет для получения урожайности картофеля в пределах 345 ц требовалось внесение $N_{135}P_{135}K_{180}$, то на фоне половинной и полной доз доломитовой муки применение $N_{90}P_{90}K_{120}$ способствовало достижению такого же уровня урожая – 336-339 ц/га. То же самое наблюдали на вариантах органоминеральной системы питания. Таким образом, для экономного расходования удобрений на дерново-

подзолистых кислых почвах в севооборотах картофельной специализации известкование должно опережать их применение.

Таблица 133

Продуктивность картофельного севооборота (ц/га зерн.ед.)

Удобрения	Дозы извести по г.к.	Урожай картофеля, горохо-овса и ячменя в сумме по ротациям			Среднегодовые за 1977-1988 г	
		I ротация 1977-1980	II ротация 1981-1984	III ротац. 1985-1988	Урожай	Прибавка
Без удобрений	0	234	187	168	49,1	-
	0,5	240	202	178	51,7	2,6
	1,0	264	206	184	54,5	5,4
	2,0	264	177	176	51,5	2,4
80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$	0	288	266	218	64,3	-
	0,5	298	278	228	67,0	2,7
	1,0	321	281	231	69,4	5,1
	2,0	303	267	236	67,2	2,9
80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$	0	289	284	227	66,7	-
	0,5	308	286	230	68,7	2,0
	1,0	319	298	236	71,1	4,4
	2,0	316	274	237	68,9	2,2
$N_{90}P_{90}K_{120}$	0	276	248	198	60,1	-
	0,5	292	268	214	64,5	4,4
	1,0	300	270	203	64,4	4,3
	2,0	307	245	198	62,5	2,4
$N_{135}P_{135}K_{180}$	0	292	259	211	63,5	-
	0,5	306	271	221	66,8	3,3
	1,0	307	270	229	67,2	3,7
	2,0	321	259	208	65,7	2,2
$N_{150}P_{150}K_{180}$	0	299	262	210	64,3	-
	0,5	306	262	211	64,9	0,6
	1,0	310	266	211	65,6	1,3
	2,0	310	268	213	65,4	1,1

С увеличением дозировок удобрений эффективность известкования снижалась (табл.133). Так, например, на фоне половинной дозы доломитовой муки среднегодовые прибавки продукции снизились с 4,4 ц/га з.ед при применении $N_{90}P_{90}K_{120}$ до 0,6 ц/га з.ед. при применении $N_{150}P_{150}K_{180}$, соответственно на фоне полной дозы с 4,3 до 1,3 ц/га з.ед., на фоне двойной дозы мелиоранта – с 2,4 до 1,1 ц/га з.ед. Проведение известкования в сочетании с высокими дозами удоб-

рений ($N_{150}P_{150}K_{180}$) не окупалось дополнительной продукцией. Причина в том, что известкование является мощным фактором, существенно изменяющим поступление питательных элементов в растения картофеля.

Данные растительной диагностики показали, что в соке черешков листьев картофеля при внесении удобрений повышалась концентрация NO_3 и K, а содержание фосфора практически не изменялось. Известкование вызывало ослабление поступления фосфора и калия в растения картофеля и способствовало некоторому увеличению концентрации нитратного азота. Увеличение дозировок удобрений на известкованном фоне приводило к дисбалансу поступления питательных элементов в сторону увеличения NO_3 и снижению эффективности известкования. Именно поэтому, при выращивании картофеля на известкованной почве целесообразно снижать дозы азотных удобрений и повышать фосфорно-калийное питание.

В первой ротации севооборота максимальная продуктивность культур севооборота получена на фоне полной и двойной доз доломитовой муки. В последующие годы половинная и полная дозы мелиоранта более существенно повышали продуктивность севооборота, по сравнению с двойной, в основном, за счет снижения урожайности картофеля на этом фоне. В то же время, за период с 1977 по 1988 гг. все три дозы доломитовой муки увеличивали продуктивность ячменя и горохоовсяной травосмеси, однако, максимальные прибавки отмечены на фоне полной дозы.

Максимальная продуктивность севооборота получена на известкованной почве (0,5-2,0 по г.к.): при внесении $N_{135}P_{135}K_{180}$ - 66-67 ц/га з.ед. в год и при совместном внесении навоза со средней дозой удобрений $N_{90}P_{90}K_{120}$ – 67-69 ц/га з.ед. Применение органоминеральной системы удобрений с повышенной дозой минеральных туков (80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$) обеспечивало максимальную продуктивность севооборота – 67-71 ц/га з.ед., однако, эффект от известкования при этом наблюдался только на фоне полной дозы мелиоранта.

Важной характеристикой, определяющей эффективность того или иного агротехнического приема, является окупаемость затраченных средств сельхозяйст-

венной продукцией (табл.134), т. к. она позволяет определить экономическую эффективность применяемых систем удобрений и целесообразность известкования.

Проведение известкования половинными и полными дозами в сочетании со средними дозами удобрений повышало продуктивность и характеризовалось высокой окупаемостью дополнительной продукцией. В первой ротации севооборота 1 кг половинной дозы доломитовой муки без применения удобрений окупался 4,4 кг картофеля или 0,6 кг зерна. При внесении органоминеральной системы удобрений окупаемость повышалась до 7,8-12,6 кг или 0,9-1,7 кг зерна, а при внесении минеральных удобрений ($N_{90-135}P_{90-135}K_{120-180}$) – до 9,6-10,0 кг картофеля или 1,3-1,5 кг зерна. 1 кг полной дозы мелиоранта окупался 4,7-10,0 кг картофеля или 0,7-1,6 кг зернового эквивалента. Увеличение доз минеральных удобрений с $N_{90}P_{90}K_{120}$ до $N_{150}P_{150}K_{180}$ на фоне полной дозы доломитовой муки сопровождалось снижением окупаемости 1 кг мелиоранта с 7,4 кг до 1,3 кг картофеля или с 1,1 до 0,5 кг зерна. Проведение известкования в сочетании с высокими дозами минеральных удобрений ($N_{150}P_{150}K_{180}$) слабо окупалось дополнительной продукцией картофеля и зерновых культур (табл.135).

Окупаемость половинных и полных доз мелиоранта снижалась во времени, тем быстрее и существеннее, чем выше была доза NPK в органоминеральной и минеральной системах удобрений. Из этого следует, что на известкованной почве следует длительное время ограничивать дозы удобрений, стремиться использовать эффект, создаваемый известкованием, и экономить дорогостоящие туки.

За период с 1977 по 1988 гг. среднегодовая окупаемость картофелем 1 кг доломитовой муки по дозам составила: половинной 4,1- 8,0 кг и полной – 3,5-4,6 кг клубней. С учетом урожайности всех культур севооборота среднегодовая окупаемость 1 кг доломитовой муки в зависимости от систем удобрений составила: половинной – 0,8-1,6 кг з.ед., полной – 0,7-1,0 и двойной – 0,2-0,6 кг зернового эквивалента дополнительно к урожаям на кислом фоне (таблица 135). Таким образом, известкование оптимальными дозами (0,5-1,0 по г.к.), является энергосберегающим элементом в севооборотах с картофелем.

Таблица 134

Влияние сочетаний известкования и удобрений на окупаемость их урожаями сельскохозяйственных культур

Дозы извести, т/га	I ротация		II ротация		III ротация		1977 – 1988 гг	
	картофель, кг	все культуры, кг з.ед.	картофель, кг	все культуры, кг з.ед.	картофель, кг	все культуры, кг з.ед.	картофель, кг	все культуры, кг з.ед.
среднегодовая прибавка от 1 кг доломитовой муки								
3,2	4,4	0,6	9,3	1,4	-	0,9	4,6	1,0
6,4	8,7	1,4	4,5	0,9	-	0,8	4,4	1,0
12,8	3,7	0,7	-	-	-	0,2	1,2	0,3
прибавка от 1 кг д.в.NPK при внесении (80 т/га + $N_{90}P_{90}K_{120}$) + прибавка от 1 кг доломитовой муки								
0	5,8	0,9	9,1	1,3	5,4	0,8	6,8	1,0
3,2	+7,8	+0,9	+4,1	+1,1	+2,6	+0,9	+4,8	+1,0
6,4	+ 5,9	+1,6	+4,9	+0,7	+2,8	+0,6	+4,5	+1,0
12,8	+3,0	+0,4	-	+1,0	+1,7	+0,4	+1,6	+0,6
прибавка от 1 кг д.в.NPK при внесении (80 т/га + $N_{135}P_{135}K_{180}$) + прибавка от 1 кг доломитовой муки								
0	5,8	0,8	9,6	1,5	5,8	0,9	7,1	1,1
3,2	+12,6	+1,7	-	+0,2	-	+0,4	+4,1	+0,8
6,4	+10,0	+1,4	+1,3	+0,7	+2,6	+0,4	+4,6	+0,8
12,8	+3,3	+0,6	-	-	-	+0,2	+1,1	+0,3
прибавка от 1 кг д.в. NPK при внесении $N_{90}P_{90}K_{120}$ + прибавка от 1 кг доломитовой муки								
0	25,7	3,5	32,3	5,1	18,7	2,5	25,6	3,7
3,2	+9,6	+1,5	+8,9	+1,9	+5,6	+1,5	+8,0	+1,6
6,4	+7,4	+1,1	+3,0	+1,0	-	+0,3	+3,5	+0,8
12,8	+4,5	+0,7	-	-	-	-	+1,5	+0,2
прибавка от 1 кг д.в. NPK при внесении $N_{135}P_{135}K_{180}$ + прибавка от 1 кг доломитовой муки								
0	23,8	3,2	27,3	4,0	18,0	2,4	23,0	3,2
3,2	+10,0	+1,3	+8,5	+1,1	-	+0,9	+6,2	+1,1
6,4	+4,7	+0,7	+3,4	+0,5	+2,8	+0,9	+3,6	+0,7
12,8	+4,8	+0,7	-	-	-	-	+1,6	+0,2
прибавка от 1 кг д.в. NPK при внесении $N_{150}P_{150}K_{180}$ + прибавка от 1 кг доломитовой муки								
0	25,8	3,4	25,8	3,9	14,6	2,2	22,1	3,2
3,2	-	+0,6	+2,6	-	-	+0,1	+0,9	+0,2
6,4	+1,3	+0,5	-	+0,2	-	+0,1	+0,4	+0,3
12,8	+0,4	+0,3	-	+0,1	-	+0,1	+0,1	+0,1

Таблица 135

Затраты антропогенной энергии на нейтрализацию физиологической кислотности минеральных удобрений (после 3-х ротаций севооборота)

Удобрения	Внесено кг ($CaCO_3$ + $MgCO_3$)	Нужно внести кг $CaCO_3$ на нейтрализ.	Затраты или экономия (-) антропогенной энергии, МДж/га		
			Энергоемкость $CaCO_3$	Внесение $CaCO_3$	Всего
80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$	7300	1600	0	0	-21660
80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$	7300	2400	0	0	-18620
$N_{90}P_{90}K_{120}$	0	1600	6080	97	6177
$N_{135}P_{135}K_{180}$	0	2400	9120	146	9266
$N_{150}P_{180}K_{180}$	0	2670	10146	162	10308

Данные энергетической оценки полностью подтверждают выводы, полученные при расчете окупаемости затрат. Оптимальное сочетание факторов с энергетической точки зрения было при применении средних доз удобрений $N_{90-135}P_{90-135}K_{120-180}$ на фоне известкования половинными и полными дозами мелиоранта; на этих вариантах получен наименьший расход энергии на 1 ц продукции – 214-221 МДж/ц и наиболее высокий Кээ – 1,65-1,71. Двойная доза доломитовой муки приводила к перерасходу энергии и снижала Кээ не зависимо от применяемых систем удобрений.

Если оценивать применение различных систем удобрений с позиций их последействия на компоненты почвенного плодородия, то необходимо учитывать не только прямые и косвенные затраты энергоресурсов на производство культуры, но и энерговложения на воспроизводство почвенного плодородия после той или иной системы удобрений (табл.135).

По данным Анспок П.И., Штиканса Ю.А., Визла Р.Р. (1981) на устранение подкисляющего действия 1 ц аммиачной селитры необходимо внести 0,75 ц $CaCO_3$, 1 ц суперфосфата – 0,2 ц $CaCO_3$, а на нейтрализацию 1 ц хлористого калия – 0,16 ц $CaCO_3$.

В нашем севообороте через 12 лет для нейтрализации отрицательного действия только средней дозы минеральных туков ($N_{90}P_{90}K_{120}$) потребуется внести 16 ц $CaCO_3$. С навозом, наоборот, за 12 лет дополнительно в почву поступило 73 ц ($CaCO_3 + MgCO_3$). В результате на фоне органоминеральной системы удобрений, содержание обменного кальция в почве повысилось на 2-3%, а экономия энергозатрат составила 18620-21660 МДж/га. Следовательно, применение органоминеральной системы удобрений энергетически оправдано, поскольку обеспечивает долговременное повышение потенциального плодородия почвы.

19.7. Влияние известкования в сочетании с удобрениями на качество клубней картофеля

Наряду с ростом урожайности сельскохозяйственных культур в последнее время большое внимание уделяется вопросам экологии. Одним из аспектов этой проблемы является качество потребляемой продукции.

По важности среди пищевых растений в мире картофель занимает четвертое место после пшеницы, риса и кукурузы. Значение картофеля в питании человека обусловлено, прежде всего, содержанием таких важнейших компонентов, как крахмал, протеин, витамины, минеральные вещества. Клубни его в зависимости от сорта содержат 76-78% воды и 22-24% сухих веществ. Сухие вещества, в основном, состоят из 12-15% крахмала, 1-3% белка и около 1% минеральных солей (Сидякина, 2001). Если биологическую ценность куриного белка принять за 100, то по отношению к нему белок картофеля составит 85%. Из растительных белков картофельный уступает только пшеничному и гречишному, превосходя по переваримости все остальные овощные и кормовые культуры. Кроме того, обладая достаточно высоким потенциалом содержания аскорбиновой кислоты и особо ценных веществ - антиоксидантов (антоцианов, каротиноидов), картофель может играть важную роль в профилактике целого ряда заболеваний и в этом отношении является одним из ценнейших продуктов в здоровом диетическом питании человека (Федотова Л.С., Анисимов Б.В., 2006).

По общему содержанию минеральных элементов картофель превосходит многие виды овощей и плодов. В отличие от мяса и белого хлеба, большая часть минеральных веществ в картофеле представлена солями основного характера, что очень важно для поддержания щелочности крови. Он ценен и как поставщик витаминов С, A_1 (каротин), группы В, PP_1, обладает многими лечебными свойствами. Потребление средней нормы вареного картофеля (300 г в день) на 10-12% обеспечивает суточную потребность человека в углеводах, фосфоре, витамине B_2, на 30-40 - в аминокислотах, на 40-50 в витамине С, на 20-25 - в витамине B_1, на 55-60 - в калии, на 25-30 - в кальции и железе, на 1-2% в каротине (Клюквина Ю.В., Лаптев Ю.П., 1974).

За последнее время, в сложившихся экстремальных условиях перестройки уклада сельского хозяйства, при возделывании картофеля основное внимание уделяется валовому сбору клубней и значительно меньше качеству продукции. В результате этого качество картофеля существенно снизилось. Многочисленными исследованиями установлено, что любое нарушение в системе удобрений, в т.ч. применение высоких несбалансированных доз удобрений, снижает крахмалистость, вкусовые характеристики, содержание витаминов, лежкоспособность клубней и наоборот усиливает оводненность и повреждаемость тканей, накопление нитратов и потемнение мякоти (Ильин В.Б. и др, 1974; Карманов С.Н., Кирюхин В.П., Коршунов А.В, 1988; Молявко А.А, 1997; Пшеченков К.А., Сидякина И.И, 2000; Сидякина И.И, 2001; Коршунов А.В, 2001; Федотова Л.С, 2003; Федотова Л.С, Анисимов Б.В, 2006). Поэтому в условиях сокращения посевных площадей и валовых сборов картофеля по России, вопросы качества продукции встают на 1-ое место.

При нарушении оптимальных сочетаний между основными элементами питания высокие дозы органических и минеральных удобрений снижают содержание крахмала в клубнях. Особенно опасен избыток азота. Качество клубней картофеля при этом ухудшается по ряду причин: азот удлиняет период вегетации и затягивает физиологическую зрелость клубней; увеличивает долю крупных клубней в урожае, которые характеризуются более низким содержани-

ем крахмала по сравнению с клубнями средней величины; повышает расход углеводов на связывание поступающего избыточного азота (Замотаев А.И., Коршунов А.В., Воловик А.С и др., 1985; Гущина В.А, 1986; Карманов С.Н., Кирюхин В.П., Коршунов А.В., 1988; Даньков, 1988; Коршунов, 2001; Коршунов, Филиппова, 2003). В то же время имеется ряд данных, показывающих, что азотные удобрения положительно влияют на крахмалистость клубней картофеля (Ильин В.Б.и др., 1974). Такая тенденция отмечается при внесении умеренных доз азота на почвах с низким содержанием его усвояемых форм. Следовательно, высокая урожайность картофеля и крахмалистость клубней отмечается при оптимальном снабжении растений азотом, а угнетение продуктивности - при недостатке или избытке азота в питательном растворе. Впрочем, эта закономерность характерна и для других элементов питания.

Внесение фосфорных удобрений ускоряет рост и развитие растений картофеля, созревание клубней, повышает накопление в них крахмала, витамина «С», устойчивость к болезням и механическим повреждениям при уборке, улучшает вкусовые качества и сохранность клубней. Недостаток в почве доступного фосфора замедляет развитие растений картофеля, приводит к образованию дуплистости внутри клубней, что снижает его пищевые достоинства (Ильин В.Б.и др., 1974; Замотаев А.И., Коршунов А.В., Воловик А.С и др., 1985; Карманов С.Н., Кирюхин В.П., Коршунов А.В., 1988).

Внесение фосфорных удобрений на почве с низким содержанием доступного фосфора повышает урожайность клубней, содержание крахмала, сырого протеина, витамина «С», товарность и вкус (Кирпичников Н.А., 1970; 1989; Белоус Н.М, 1997; Молявко А.А, 1997; Коршунов А.В, 2001; Коршунов А.В, Филиппова Г.И, 2003). Установлено, что действие фосфорных удобрений на крахмалистость картофеля противоположно азотным. Обеспечение растений фосфором в оптимальных дозах способствует более интенсивному переходу глюкозы в крахмал и снижению содержания свободных сахаров (Ильин В.Б.и др., 1974; Гриднев Н.И, 1982; Карманов С.Н., Кирюхин В.П., Коршунов А.В., 1988; Даньков Н.Г, 1988; Белоус Н.М, 1997; Коршунов А.В., 2001; Коршунов А.В.,

Филиппова Г.И, 2003). Применение фосфорных удобрений на фоне азотно-калийного является одним из решающих факторов, способствующих повышению крахмалистости картофеля. Фосфорные удобрения, изменяя активность ферментов, способствуют образованию транспортных форм углеводов в листьях и синтезу крахмала в клубнях. При усиленном азотном и азотно-калийном питании наблюдается противоположная картина. Повышая долю фосфора и калия в полном минеральном удобрении, можно получать высоко крахмалистый картофель, который лишь немного уступает качеству продукции с абсолютного контроля, но при этом увеличивается сбор крахмала вдвое.

Бесхлорные формы калийных удобрений имеют преимущество перед хлосодержащими в повышении содержания сухого вещества, крахмала, витамина «С», вкуса клубней и снижения потемнения мякоти (Молявко А.А., 1997; Пшеченков К.А., Сидякина И.И., 2000; Коршунов А.В., 2001).

По данным международного института калия (M.Kushizaki, 1975), наблюдается четкая сопряженность крахмалистости клубней картофеля в зависимости от форм калийных удобрений и времени их внесения (рис.24).

Показатели качества картофеля сильнее всего ухудшаются под влиянием порошковидной формы хлористого калия. На дерново-подзолистой супесчаной почве при внесении KCl ослаблялись процессы крахмалообразования в картофеле. Это объяснялось отрицательным влиянием хлора на передвижение и превращение простых углеводов в сложные, а именно в крахмал (Коршунов А.В., 2001).

В другом опыте, на дерново-подзолистой суглинистой почве средняя доза (K_{90}) крупнокристаллической формы хлористого калия увеличивала урожайность и товарность, а кулинарные качества были на уровне варианта с калимагнезией - $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$. Серосодержащие формы калийных удобрений (сернокислый калий и калимагнезия) повышали урожайность, товарность, содержание сухих веществ, крахмала, витамина «С», улучшали кулинарные качества картофеля, снижали общие потери при хранении (Бусыгин В.Н., 1986).

Калийно-магниевые удобрения, примененные на дерново-подзолистых почвах легкого механического состава (супесчаные и песчаные), имели преим -

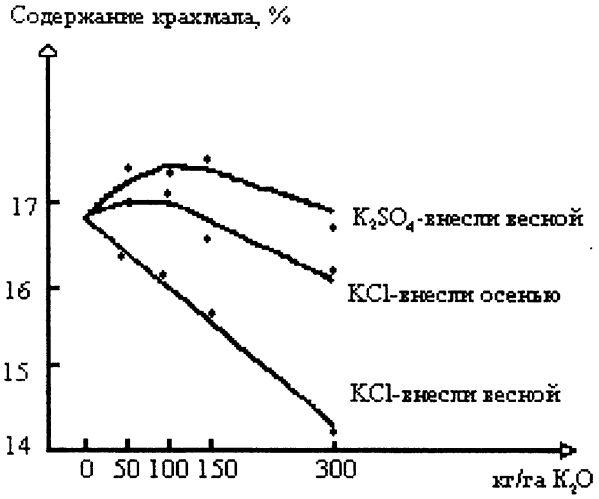

Рис. 24 Эффективность различных форм калийных удобрений и времени внесения их на содержание крахмала в клубнях картофеля (Kushizaki, 1975)

щества, особенно по действию на выход крахмала перед бесхлорным калийным удобрением (сернокислым калием). Прибавка урожая картофеля от внесения калийно-магниевого удобрения на легких почвах была в 1,5 раза больше, чем от внесения хлористого калия, сбор крахмала повышался в 2 раза (Кореньков Д.А., 1982).

Существует и другое мнение о влиянии форм калийных удобрений на качество картофеля. Обобщение многочисленных результатов исследований позволило Прокошеву В.В., Дерюгину И.П. (2000) сделать следующий вывод: отрицательное действие KCl отчетливо проявляется лишь на слабо окультуренных почвах с низким содержанием фосфора и калия. На гумусированных почвах и при умеренных дозах действие хлорида и сульфата калия на крахмалистость равноценно.

Многочисленными исследованиями установлено, что известкование кислых почв повышает эффективность использования растениями питательных веществ, содержащихся в минеральных и органических удобрениях, а

также в самой почве, что положительно влияет не только на урожайность, но и на показатели качества клубней картофеля (Асаров Х.К., 1949; Володько О.К., 1971, 1985; Христофоров Л.В., 1975; Соболевский В.Н., Лапченко В.П., 1976; Авдонин Н.С., Большева Т.Н., 1978; Удалова Л.П., 1980; Валовненко Д.К., Чорный Д.Л., 1982; Кочеткова Г.Г., 1984; Шкель М.П., Прудников В.А., 1985; Кирпичников Н.А., 1989; Белоус, 1997; Аристархов, 2000; Lee, Macdonald, 1977; Klein et al., 1982).

В длительном стационарном опыте ВНИИКХ (1977-1988 гг.) на дерново-подзолистой супесчаной почве (Федотова, 2003) качество картофеля изменялось в худшую сторону с увеличением доз NPK в системе удобрений. Средние дозы минеральных удобрений ($N_{90}P_{90}K_{120}$) вызывали снижение крахмала и сухих веществ на 1,3%, повышенные ($N_{135}P_{135}K_{180}$) – на 1,6; 1,7% и высокие дозы ($N_{150}P_{150}K_{180}$) - на 1,8; 1,9% по сравнению с абсолютным контролем. Совместное внесение органических и минеральных удобрений (80 т/га навоза + $N_{90\text{-}135}P_{90\text{-}135}K_{120\text{-}180}$) приводило к максимальному понижению крахмала (2-2,2%) и сухих веществ (на 2,2-2,6%). В результате применения возрастающих дозировок удобрений снижалось содержание витамина «С» в клубнях картофеля и повышалась концентрация нитратов (рис.25). По своему отрицательному влиянию на качество продукции совместное внесение 80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$ было равноценно действию максимальной дозы минеральных удобрений $N_{150}P_{150}K_{180}$.

Как отмечали Х.К. Асаров (1949), Л.И. Кораблева (1954) и К.П. Магницкий (1967), при совместном внесении Ca, Mg, NPK и бора уже в самом раннем периоде роста картофеля создаются условия для наилучшей ассимиляции и наибольшего накопления крахмала. В работах Л.П. Удаловой (1980), Г.Г. Кочетковой (1984), М.П. Шкель, В.А. Прудникова (1985) выявлено увеличение крахмалистости клубней картофеля при известковании разными дозами (даже полуторная доза увеличивала содержание крахмала на 0,7%).

В длительном стационарном опыте ВНИИКХ (1977-1988 гг.) на дерново-подзолистой супесчаной почве в отличие от удобрений известкование не вызывало увеличения оводненности тканей (табл.136).

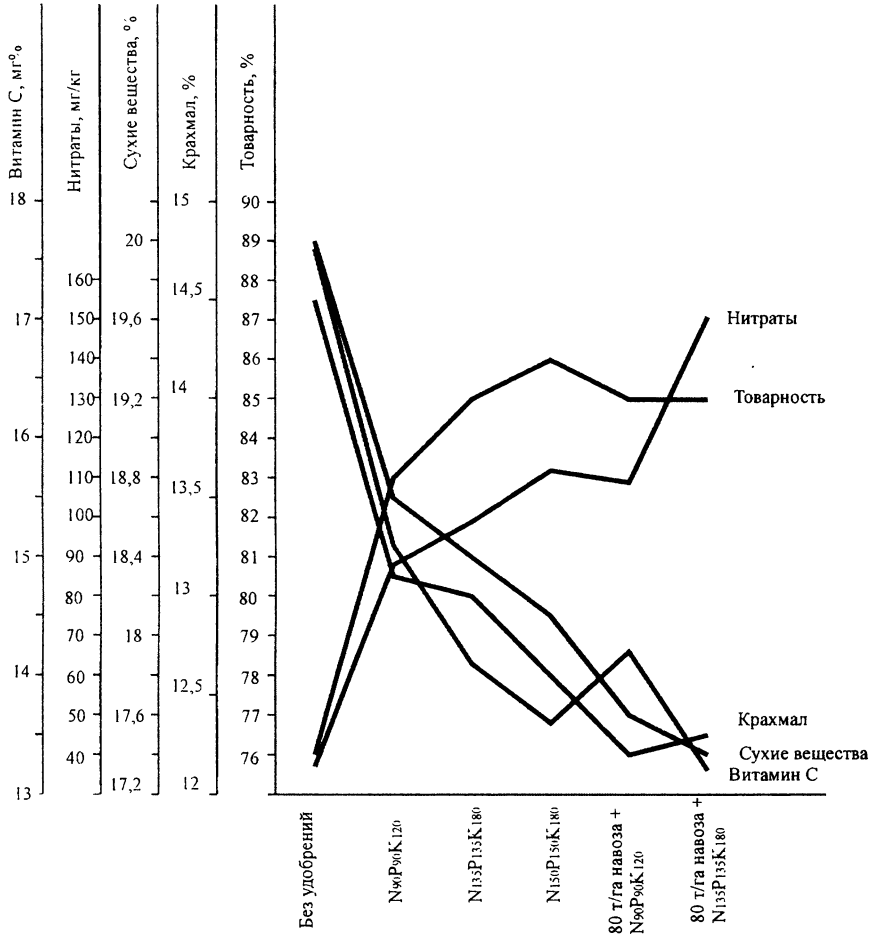

Рис.25 Влияние удобрений на товарность и качество картофеля

По данным ряда исследователей при известковании наряду с повышением крахмалистости клубней картофеля увеличивается содержание витамина «С», сухих веществ, сырого белка и суммы аминокислот (Магницкий К.П, 1967; Аристархов А.Н, Кочеткова Г.Г, 1981; Валовненко Д.К, Чорный Д.Л, 1982; Кочеткова Г.Г, 1984; Володько О.К, 1971; 1985; Молявко А.А, 1997; Аристархов А.Н, 2000; 2002; Lee, Macdonald, 1977).

На известкованном фоне повышалось содержание крахмала, сухих веществ, аскорбиновой кислоты (на 0,3-0,9%) и, как следствие, выход питательно ценных веществ (табл.136, рис. 26, 27).

Таблица 136

Показатели качества клубней картофеля в зависимости от известкования и удобрений (1977-1986 гг.)

Удобрения	Дозы извести по г.к.	Крахмал, %	Сух. вещества, %	Витамин С, мг %	NO_3 мг/кг сыр. клубней
Без удобрений	0	14,5	19,7	17,6	34,7
	0,5	14,9	20,1	18,1	33,2
	1,0	14,8	20,1	17,3	49,6
	2,0	14,6	20,1	17,1	55,1
80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$	0	12,1	17,3	14,2	105,6
	0,5	12,6	17,7	13,9	124,1
	1,0	12,9	17,8	13,8	118,1
	2,0	12,7	17,9	13,7	128,1
80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$	0	12,3	17,1	13,2	139,8
	0,5	12,8	18,9	13,2	127,5
	1,0	12,6	17,6	13,6	128,1
	2,0	12,2	17,3	13,6	140,7
$N_{90}P_{90}K_{120}$	0	12,9	18,4	15,1	85,1
	0,5	13,5	18,8	14,9	88,2
	1,0	13,6	18,6	15,1	94,3
	2,0	13,4	18,8	14,7	98,9
$N_{135}P_{135}K_{180}$	0	12,9	18,0	14,1	98,8
	0,5	13,0	18,2	14,5	113,5
	1,0	13,2	18,4	14,1	101,8
	2,0	12,9	18,2	14,2	130,2
$N_{150}P_{150}K_{180}$	0	12,5	17,7	13,6	113,3
	0,5	13,1	18,1	13,5	110,2
	1,0	12,9	18,2	13,7	135,0
	2,0	12,9	18,3	13,9	144,0

Таким образом, сбалансированное питание N, P, K, Ca и Mg, которое обеспечивалось ежегодным применением средних доз минеральных удобрений ($N_{90-135}P_{90-135}K_{120-180}$) на известкованной почве (0,5-1,0 по г.к.), позволило получать высокие урожаи картофеля (338-364 ц/га), избегая существенного ухудшения качества клубней.

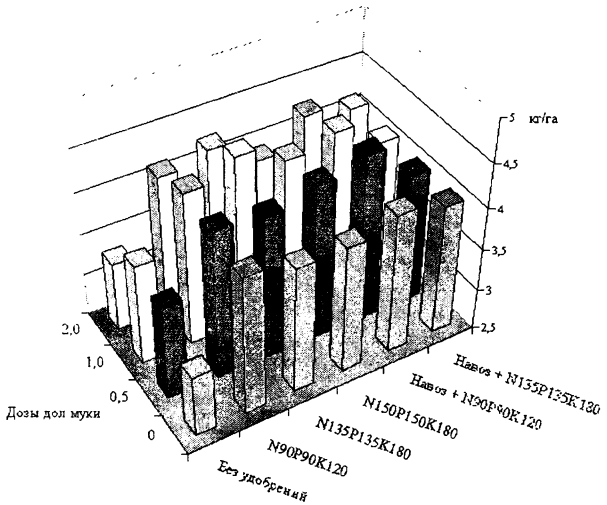

Рис. 26 Выход аскорбиновой кислоты в зависимости от известкования и удобрений, кг/га

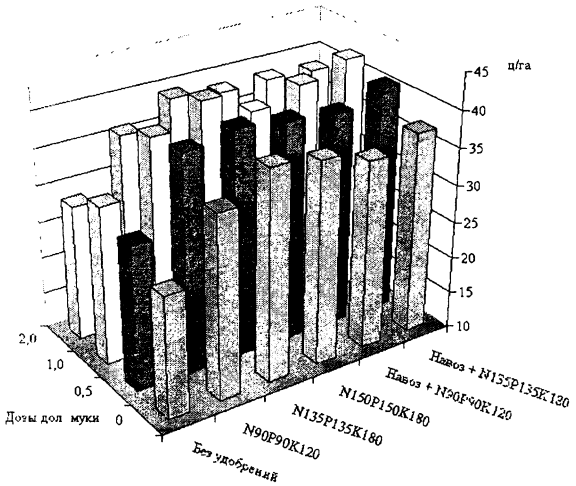

Рис. 27 Выход крахмала в зависимости от изучаемых факторов, ц/га

Противоположные данные, полученные в Северо-Западном регионе, показывают, что известкование полными дозами (в последействии) уменьшало содержание крахмала в картофеле – на 0,8-1,2% (Небольсин А.Н, 1983). Снижение крахмалистости клубней картофеля при известковании наблюдалось вслед-

ствие нарушения поступления калия (Кораблева Л.И, 1954) и магния в растения (Магницкий К.П, 1967; Авдеев Ю.С, 1975). В длительном полевом опыте (цит. по Авдееву Ю.С, 1975) при введении Mg в состав удобрений крахмалистость клубней увеличивалась в среднем на 0,8-1,0%. В целях получения клубней с высокой крахмалистостью W.Hunnius (1972) рекомендует даже при достаточном обеспечении магнием вносить в почву 40 кг/га MgO, а при недостаточном содержании магния в почве – 80-120 кг/га MgO.

Установлено, что лучшими формами известковых материалов для картофеля являются магнийсодержащие (например, доломитовая мука) и силикатные (сланцевая зола) (Асаров Х.К., 1949; Кораблева Л.И., 1954; Семенова Ф.И., 1961; Магницкий К.П., 1967; Семенова Ф.И., Иванова В.Ф., Удалова Л.П., 1973; Асаров Х.К., Фомина, 1976; Удалова Л.П., 1980; Шильников И.А., 1982; Кулаковская Т.Н., 1978; 1990; Болышева, 1984; Бардышев, 1991; Небольсин А.Н., 1983; Белоус Н.М., 1997; Аристархов А.Н., 2000; 2002; Аканова Н.И., 2001). Силикатные формы известковых материалов, в отличие от углекислых, не вызывали развития парши на картофеле (Соболевский, Лапченко, 1976).

Отрицательной стороной известкования почвы под картофель считается усиление заболеваемости этой культуры паршой (Streptomyces scabies Jussow – парша обыкновенная и др. виды). Поражение клубней картофеля паршой снижает их товарную ценность, ухудшает семенные качества, а также способствует проникновению в клубень возбудителей других инфекционных болезней (Попкова К.В., Шнейдер Ю.И., Воловик А.С., Шмыгля В.А, 1980). Актиномицеты заражают молодые клубни, не успевшие развить плотную кожуру. Развитие болезни происходит в течение всего периода активного роста клубней.

Т.Уайтхед, Т.Мак-интол, У.Финдлей (1955) отмечают, что развитие парши происходит пропорционально увеличению pH почвы. По данным G.Oblisami (1973) в известкованных почвах численность актиномицетов увеличивалась в среднем на 20-30%. Положительное влияние известкования почв на микрофлору актиномицетов наблюдали Беляев А.Г. (1958); Павлович Д.Я. (1978); H. Jensen (1930); C.R. Lee, M.L.Macdonald (1977). Однако в последние годы отмечено много

случаев сильного поражения клубней на почвах с широким диапазоном значений pH (от 4,4 до 7,0). Это объясняется высокой пластичностью возбудителя болезни, разные штаммы которого легко приспосабливаются к кислотности почвы и, следовательно, этот фактор не может быть ограничивающим вредоносность болезни (Попкова К.В., Шнейдер Ю.И., Воловик А.С., Шмыгля В.А, 1980; Schachtschabel, 1956; Schmid, 1969). Красильниковым Н.А. (1950) было установлено, что некоторые виды актиномицетов – возбудителей парши - могут развиваться в очень кислых средах при pH 3,0-4,5 и в очень щелочных – при pH 8,5-9,0.

I.J.Horsfall et al (1954) пришли к выводу - заболевание клубней находится в прямой зависимости от содержания кальция в почве. Было сделано предположение о том, что катион кальция уменьшает активность катионов натрия, калия и меди, которые подавляют развитие парши. Дорожкин Н.А. (1972) объясняет причину развития парши при известковании не только нейтрализацией почвенной кислотности, но и тем, что углекислый кальций необходим для жизнедеятельности актиномицетов, возбудителей парши. Ряд авторов отмечает, что известкование полными дозами приводит к незначительному усилению поражения клубней паршой обыкновенной (Валовненко Д.К., Чорный Д.Л., 1982; Кочеткова Г.Г., 1983; Шильников И.А., 1983; Сопильняк Н.Т. и др., 1984). Даже полуторная доза известковых удобрений в среднем за семь лет исследований увеличила поражаемость клубней этой болезнью только на 4-7% (Шкель М.П., Прудников В.А., 1985).

Кроме того, длительное и систематическое внесение физиологически кислых минеральных удобрений, а также совместное применение органических и минеральных удобрений способствуют резкому снижению пораженности клубней паршой обыкновенной (Хашхожев А.А., 1970; Щупкова, 1982; O.Iohansson, 1967; Белоус Н.М, 1997) и ризоктониозом (Хашхожев А.А 1970).

В стационарном полевом опыте ВНИИКХ (1977-1988 гг.) положительной стороной применения удобрений явилось их угнетающее влияние на развитие болезней (табл.137).

Таблица 137

Распространение болезней на клубнях картофеля в стационарном полевом опыте (1977 – 1988 гг.)

Удобрения	Дозы доломитовой муки по г.к.	парша обыкновенная, %		ризоктониоз, %	
		всего	в сильной степени	всего	в сильной степени
Без удобрений	0	28,6	4,7	18,2	1,3
	0,5	23,6	2,4	24,9	3,4
	1,0	37,9	6,2	26,7	3,3
	2,0	47,8	9,7	25,1	4,4
80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$	0	19,7	3,0	16,5	1,2
	0,5	20,9	2,0	17,4	1,4
	1,0	31,0	1,5	16,9	1,2
	2,0	40,7	4,3	19,7	0,9
80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$	0	15,1	1,7	19,1	1,5
	0,5	24,2	2,4	16,4	1,4
	1,0	24,7	2,4	17,3	1,0
	2,0	43,4	4,7	23,0	1,3
$N_{90}P_{90}K_{120}$	0	17,3	1,3	15,8	1,8
	0,5	24,5	1,4	21,5	1,8
	1,0	33,3	2,0	24,1	1,6
	2,0	45,4	6,4	233	2,2
$N_{135}P_{135}K_{180}$	0	17,5	1,8	10,9	0,8
	0,5	21,9	1,7	16,1	1,5
	1,0	28,8	2,3	21,0	1,4
	2,0	40,3	4,9	22,1	2,1
$N_{150}P_{150}K_{180}$	0	19,6	1,8	16,0	0,9
	0,5	18,9	2,0	15,8	1,4
	1,0	28,4	2,4	19,9	1,4
	2,0	40,0	3,5	19,9	1,5

Удобрения снижали как общее количество клубней, пораженных паршой обыкновенной, так и количество, пораженных в сильной степени. Распространение парши обыкновенной снизилось с 28,6% (4,7% – в сильной степени) на абсолютном контроле до 15,1-19,7% (1,3-3,0% – в сильной степени) по минеральной ($N_{90-150}P_{90-150}K_{120-180}$) и органоминеральной системе удобрений. Увеличение дозы NPK в органоминеральной системе питания и применение одних минеральных удобрений приводило к более существенному снижению распро-

страненности парши обыкновенной в сильной степени. Вместе с тем, сильное поражение клубней паршой обыкновенной вызывают неразложившиеся растительные остатки (солома), одностороннее применение свежего или не перепревшего навоза под картофель (Бубенцов, 1956; Ильин, 1966; Федотова, 2003), а также совместное внесение одних органических удобрений и извести (Хашхожев А.А., 1970; Реброва А.К, 1973; Белоус Н.М., 1997).

Наоборот, высокое содержание в почве гумуса подавляет возбудителей парши обыкновенной (Попкова К.В., Шнейдер Ю.И., Воловик А.С., Шмыгля В.А, 1980). Что наблюдается на высокоплодородных почвах в Баварии и Нидерландах, где, несмотря на нейтральную и слабощелочную реакцию, картофель паршой не поражается (Schachtschabel, 1956; Schmid, 1969).

Малоизученным является вопрос о заболеваемости картофеля ризоктониозом в зависимости от известкования. По данным А. Хашхожева (1970), Я. Кнашене и др. (1976) поражение клубней картофеля ризоктониозом от известкования возрастает. В исследованиях Д.К. Валовненко, Д.Л. Чорного (1982) с ростом доз извести заболевание паршой обыкновенной не наблюдалось, но увеличивалось число клубней, пораженных ризоктонией. Имеются сведения об антагонизме между возбудителями парши обыкновенной и ризоктониоза картофеля при совместном поражении ими клубней (Попковой К.В., Шнейдера Ю.И., Воловика А.С., Шмыгли В.А., 1980).

В длительных стационарных полевых и лизиметрических опытах ВНИИКХ (1976-1988 гг., Федотова Л.С., 2003) распространение ризоктониоза на поверхности клубней картофеля также сдерживалось внесением удобрений. Так, в лизиметрическом опыте на вариантах с максимальной дозой удобрений (80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$) общее количество клубней, заболевших ризоктонией, снизилось в четыре раза, а клубни, пораженные в сильной степени, практически отсутствовали. При сравнении результатов двух параллельных опытов (стационарного полевого и лизиметрического) отчетливо заметно влияние севооборота на оздоровление картофеля. В работах Писарева Б.А. (1968); Попковой К.В., Шнейдера Ю.И., Воловика А.С., Шмыгли В.А. (1980); Белоуса Н.М. (1997);

А.В. Коршунова (2001) также подчеркивается положительная роль севооборота в повышении устойчивости растений картофеля к болезням.

Рядом исследователей установлена положительная роль бора и некоторых других микроэлементов (Cu, Mn) в борьбе с развитием парши на картофеле при известковании почвы (Асаров Х.К, 1949; Авдонин Н.С., 1965; Кирпичников Н.А, 1970; Семенова Ф.И., Иванова В.Ф., Удалова Л.П., 1973; Альшевский и др., 1984; Болышева, 1984). Кедров-Зихман (1957) в качестве примера приводит опыт кафедры агрохимии ТСХА, в котором на фоне двойной дозы извести бор снижал пораженность клубней в 3,6 раза.

Результаты исследований в стационарном микроделяночном опыте (Федотова, 1999) показали, что внесение $P_{135}K_{180}$ в рядки перед посадкой картофеля увеличивало урожайность по сравнению с вариантом разбросного внесения этой же дозы: на известкованной почве на 8 ц и на кислой - на 20 ц. Следовательно, локализация удобрений была более эффективна на кислой почве (табл. 138).

Внесение микроэлементов в рекомендованных оптимальных дозах на фоне ($N_{135\ вразброс}$ + $P_{135}K_{180\ локально}$) на кислой почве дало следующие результаты: эффективным оказалось внесение Zn_4 и суммы микроэлементов - прибавка урожая на этих вариантах по сравнению с базовым составила соответственно 25 и 26 ц (8%). На вариантах с внесением Mn, B и Cu повышение урожая было несущественным и наблюдалось даже незначительное снижение.

На известкованном фоне оказалось эффективно внесение Zn_4 (прибавка +42 ц или 13%), суммы микроэлементов (прибавка +24 ц или 7%) и марганца в дозе 8 кг/га (прибавка +17 ц или 5%), не существенные прибавки получены от бора и меди.

Таким образом, в стационарном микроделяночном опыте на известкованной почве существенное влияние на урожайность картофеля оказали Zn, Mn и сумма микроэлементов, а на кислой - цинк и сумма микроэлементов. В борьбе с распространением парши обыкновенной на кислой почве наиболее эффективны были следующие варианты: с медью (индекс поражения = 75%), цинком (индекс = 79%) и с суммой микроэлементов (индекс = 54%).

На известкованном фоне наибольшее снижение заболеваемости картофеля паршой обыкновенной отмечено при внесении бора (индекс = 59%) и суммы микроэлементов на фоне NPK.

На кислой почве на вариантах с раздельным применением цинка и бора получены минимальные значения заболеваемости клубней ризоктониозом. По мере ослабления угнетающего влияния на заболеваемость ризоктониозом микроэлементы располагались в следующем порядке - Zn - индекс поражения 39%, B - 74%, Mn - 76% и Cu - 79%.

На известкованной почве бор повышал устойчивость картофеля к парше обыкновенной и ризоктониозу. Наименьший индекс поражения ризоктониозом на фоне известкования отмечен на вариантах с применением: бора - 87%, цинка - 78% и суммы микроэлементов – 78%.

K. Holmstrom (1983) не рекомендует размещать картофель на свежепроизвесткованной почве. Другие авторы пришли к выводу, что размещение картофеля допустимо и даже необходимо непосредственно после проведения известкования. Они считают, что вспышка заболевания происходит на 4-5 год и нужно избегать в это время возвращения картофеля на известкованное поле (Христофоров Л.В., 1975; Шильников И.А., Удалова Л.П., Иванова В.Ф., 1978; Попкова К.В., Воловик А.С., 1980; Сопильняк Н.Т. и др., 1984; Аристархов А.Н., 2000; A. Sweigert, 1984).

Наблюдалась даже некоторая тенденция снижения пораженности клубней паршой на фоне известкования, особенно от двойной дозы. Повышение заболеваемости клубней паршой обыкновенной в полевом опыте от известкования отмечено на 5-ый год. В то же время следует отметить, что доля клубней, пораженных паршой обыкновенной в сильной степени, на фоне половинной и полной доз доломитовой муки не превышала допустимого значения по ГОСТ 7176-85 для продовольственного картофеля (2%).

Таблица 138

Урожайность и пораженность болезнями клубней картофеля в зависимости от применения микроэлементов на фоне NPK (среднее за 1981-1985 гг.)

Фон:	без известкования					известкованная по 1,0 г.к.				
Дозы удобрений, кг/га д.в.	Урожайность, ц/га	Прибавка урожая в ц/га к соответствующему контролю (контроль – 100%)		Индекс поражения, %		Урожайность, ц/га	Прибавка урожая в ц/га к соответствующему контролю (контроль – 100%)		Индекс поражения, %	
				паршой обыкн	ризокториозом				паршой обыкн.	ризокториозом
Без удобрений	252		100%			277		100%		
$N_{135}P_{135}K_{180}$ (вразброс)	307		+55			324		+47		
N_{135}(вразброс) + $P_{135}K_{180}$ (в рядки)	327	100%	+75	100	100	332	100%	+55	100	100
$N_{135}P_{202}K_{270}$ (вразброс)	340		+88	113	59	359		+82	73	149
$N_{135}Mn_8Zn_4B_{2,5}Cu_2$ (вразброс)+ $P_{135}K_{180}$ (в рядки)	353	+26		54	96	356	24		86	78
$N_{135}Zn_4$ (вразброс) + $P_{135}K_{180}$ (в рядки)	352	+25		79	39	374	42		108	78
$N_{135}Mn_8$ (вразброс) + $P_{135}K_{180}$ (в рядки)	341	+14		138	76	349	17		106	120
$N_{135}B_{2,5}$ (вразброс) + $P_{135}K_{180}$ (в рядки)	325	-2		113	74	333	1		59	87
$N_{135}Cu_2$ (вразброс) + $P_{135}K_{180}$ (в рядки)	322	-5		75	79	340	8		108	116
$НСР_{05}$		15								

В нашем опыте доломитовая мука во всех изучаемых дозах не увеличивала пораженность клубней паршой обыкновенной на протяжении первых четырех лет исследований (рис.28).

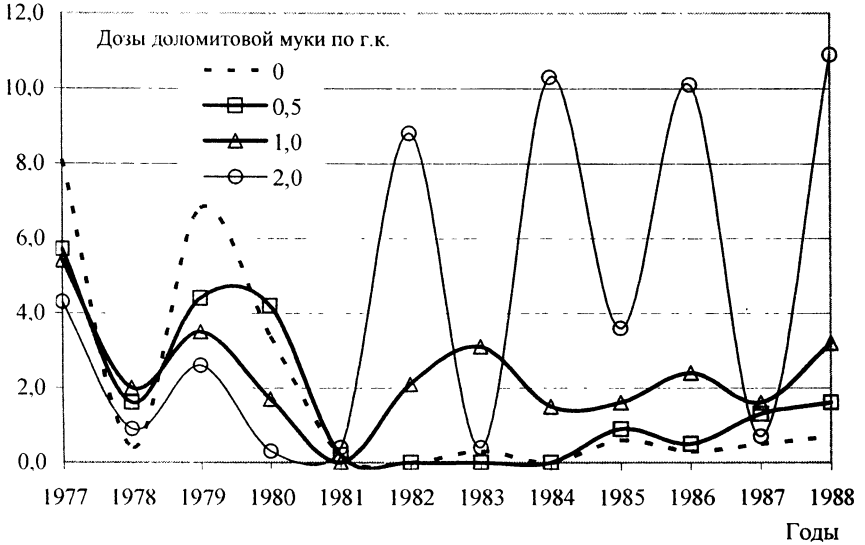

Рис. 28 Распространение парши обыкновенной (сильная степень) при внесении $N_{135}P_{135}K_{180}$ на различных фонах известкования

В среднем за период с 1977 по 1988 гг. общее количество клубней, пораженных паршой обыкновенной, увеличилось: на фоне половинной дозы незначительно – на 1,2-9,3%, на фоне полной – на 8,8 – 16,0% и наиболее существенно на фоне двойной дозы – примерно в 2,0 - 2,9 раза больше, чем на кислом фоне (табл. 139).

Многие исследователи считают, что метеорологические условия влияют на заболевание паршой сильнее, чем известкование. Однако единого мнения на развитие актиномицетов в зависимости от влажности почвы у исследователей нет. По данным Тупеневича С.М. (1973), наибольший процент пораженных клубней паршой обыкновенной наблюдался при дополнительных поливах. Влажность почвы выше оптимальной способствовала усилению поражения клубней паршой

обыкновенной. Я. Кнашене и др. (1976) также отмечают, что в более влажном году клубни поражались паршой обыкновенной в большей степени.

В противоположность этим выводам, ряд исследователей (Красильников Н.А., 1950; Чумаков Ш.А., 1965; Ильин В.Ф., 1966; Писарев Б.А., 1968; Кирпичников Н.А., 1970; Вавуло Ф.П., 1972; Аристархов А.Н., 2000) отмечают, что при повышении температуры и снижении влажности численность актиномицетов резко увеличивается. Как показали исследования ВНИИКХ, парша обыкновенная на супесчаных почвах значительно подавляется при влажности свыше 75% и, наоборот, усиленно развивается на почвах, где влажность снижается ниже 70% ППВ (Попкова, Шнейдер, Воловик, Шмыгля, 1980). Оптимальные условия для массового заражения клубней создаются при влажности почвы 50-70% ППВ. Б.А. Писарев (1968), А.С. Воловик и др. (1977) выделяют орошение, как прием борьбы с паршой обыкновенной. На важность поливов, как средства снижения вредоносности парши обыкновенной указывают D.H. Lapwood (1966) и E.D. Barnes (1972). В условиях повышенной влажности почвы, стимулирующей развитие грибов и бактерий, актиномицеты, вызывающие развитие парши, оказываются в невыгодном положении (Красильников, 1950).

Недостаток комплексных исследований, особенно по качеству продукции, является одним из основных препятствий для успешного решения вопроса известкования кислых почв полными дозами мелиорантов во всех севооборотах. До сих пор вопросу о предотвращении заболевания клубней картофеля при известковании не уделяется должного внимания. Не проводятся целевые исследования по выведению сортов, отзывчивых на известкование с повышенной устойчивостью к парше. Основные усилия селекционеров направлены на выведение фитофтороустойчивых и вирусоустойчивых сортов картофеля, поскольку по вредоносности эти заболевания картофеля являются наиболее опасными. Однако следует сказать, что в последнее время появился целый ряд сортов картофеля отечественной селекции относительно устойчивых к парше. Такие сорта, как Агрия, Акросия, Акцент, Алена, Бежицкий, Белоснежка, Бронницкий, Брянская новинка, Вестник, Вятка, Гатчинский, Елизавета, Жуковский ранний, Зарево, Зов,

Ласунак, Луговской, Любимец, Мастер, Москворецкий, Огонек, Петербургский, Раменский, Резерв, Сокольский, Эффект и др. получили оценку 7 баллов по 9-ти балльной шкале учета пораженности паршой (9 баллов – не поражаются паршой) (Анисимов Б.В., 2000).

Следовательно, применяя сорта картофеля с повышенной устойчивостью к парше и соблюдая все оптимальные агротребования при известковании почв под эту культуру, а, так же используя органоминеральную систему питания, можно смело ожидать получения высоких урожаев с отличным качеством продукции.

Важной характеристикой картофеля является его способность храниться в осенне-зимний период (табл.139). Сохранность картофеля имеет непосредственную связь с уровнем минерального питания. Ранее было установлено, что наибольший выход полноценных клубней после хранения получается на фоне умеренных доз азота в сочетании с повышенными дозами фосфора и калия (Коршунов А.В., Филиппова Г.И., 1982; 2003).

В нашем опыте картофель, выращенный на кислой почве, во время хранения имел больше общих отходов – от 11,0 до 15,1%, чем на известкованной – 7,7-12,7%. Средние дозы минеральных удобрений ($N_{90-135}P_{90-135}K_{120-180}$) и органоминеральная система удобрений (80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$) снижали общие потери, в том числе количество гнилых клубней, по сравнению с абсолютным контролем, а при внесении этих доз и систем удобрений на известкованном фоне количество гнилей сокращалось в 1,3-1,9 раза.

Самые большие потери, в т.ч. количество гнилей, было на вариантах с высокими дозами NPK на кислом фоне: 80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$ – 14,4% и $N_{150}P_{150}K_{180}$ – 15,1%. Таким образом, применяя средние дозы NPK со сбалансированным соотношением элементов и включая в минеральное питание картофеля кальций и магний, можно свести потери при хранении к минимуму. При выращивании картофеля в условиях кислых дерново-подзолистых почв легкого механического состава высокое качество продукции обеспечивается при комплексном применении средств химизации.

Таблица 139

Лежкость клубней картофеля в зависимости от удобрений и известкования в среднем за 1981-1986 гг.

Удобрения	Дозы извести по г.к.	Здоровые клубни	Общие отходы при хранении	Из них, %	
		%		Естественная убыль массы	Гнили (абсолют.+технич.)
Без удобрений	0	87,5	12,5	7,8	4,7
	1,0	88,6	11,4	6,9	4,5
80 т/га навоза + $N_{90}P_{90}K_{120}$	0	89,0	11,0	6,0	5,0
	1,0	90,8	9,2	6,2	3,0
80 т/га навоза + $N_{135}P_{135}K_{180}$	0	85,6	14,4	6,6	7,8
	1,0	87,3	12,7	5,8	6,9
$N_{90}P_{90}K_{120}$	0	88,1	11,9	7,7	4,2
	1,0	90,7	9,3	6,0	3,3
$N_{135}P_{135}K_{180}$	0	88,5	11,5	6,3	5,2
	1,0	92,4	7,6	5,0	2,6
$N_{150}P_{150}K_{180}$	0	85,0	15,0	7,0	8,0
	1,0	88,7	11,3	5,6	5,7

Опережающее известкование оптимальными дозами доломитовой муки (0,5-1,0 по г.к.) в сочетании с применением навоза под предшественник и ежегодным внесением средних доз минеральных туков ($N_{90-135}P_{90-135}K_{120-180}$) перед посадкой позволит получать стабильно высокие урожаи картофеля с хорошим качеством.

19.8. Распределение элементов питания по органам растений картофеля и вынос питательных элементов с урожаями

В составе картофеля обнаружено 29 элементов таблицы Менделеева. Среднее содержание наиболее важных макро- и микроэлементов в клубнях картофеля представлено в таблице 140.

При ежедневном потреблении 200 г картофеля потребность человека удовлетворяется на 30% дневной нормы в калии, 15-20% – в магнии, 17 – в фосфоре, 15 – в меди, 14 – в железе, 13 – в марганце, 6– в йоде и 3% – фтора.

Интересны данные по распределению элементов питания по органам растений картофеля, полученных на стационарном опыте вниикх в течение 10 лет (рис. 29).

Таблица 140

Содержание минеральных веществ, мг на 100 г сырой массы клубней (Putz,1990)

Минеральные элементы	Содержание, мг/100 г
Калий	445,0
Кальций	10,0
Фосфор	50,0
Магний	25,0
Натрий	10,0
Железо	0,8
Марганец	0,15
Медь	0,15
Цинк	0,27
Фтор	0,01
Йод	0,004
Селен	0,004...0,02

Распределение N, P, Ca, Mg и S было подчинено общим закономерностям – максимальная концентрация этих элементов приходилась на листья, затем в порядке убывания их содержания следовали стебли, корни и клубни. Калия и хлора больше всего содержалось в стеблях, далее располагались листья, корни, клубни.

В стеблях содержание калия в 2,3 раза выше, чем в клубнях. Концентрация хлора в стеблях была на одном уровне с азотом. К настоящему времени появились исследования, в которых определенная роль в повышении устойчивости растений к грибным болезням отводится хлору (Guohua Xu, Magen H., Tarchizky J. et al., 2000). Максимальная концентрация алюминия в картофеле приходилась на корни, затем в порядке убывания располагались стебли, листья, клубни. По данным Т.Палавеева, Т.Тотева (1983) картофель является культурой, для которой алюминий полезен. Алюмофильные растения (кукуруза, овес, просо и в том числе картофель) без видимых повреждений аккумулируют в корнях до 90% поступившего алюминия.

Наиболее стабильным элементом, с наименьшей амплитудой колебаний от среднего значения был фосфор. Его содержание в картофеле не опускалось ниже 0,33 и не поднималось выше 0,48%. Между содержанием фосфора и

алюминия в корнях и стеблях (т.е. в проводящих органах) установлена тесная корреляционная зависимость (r = 0,75-0,86). Как показали исследования С.Н.Адрианова (2000), на легких почвах питание растений фосфором и формирование их продуктивности определяется содержанием рыхлосвязанных фосфатов и фракцией Al - P, которые составляют основной резерв доступных растениям фосфатов.

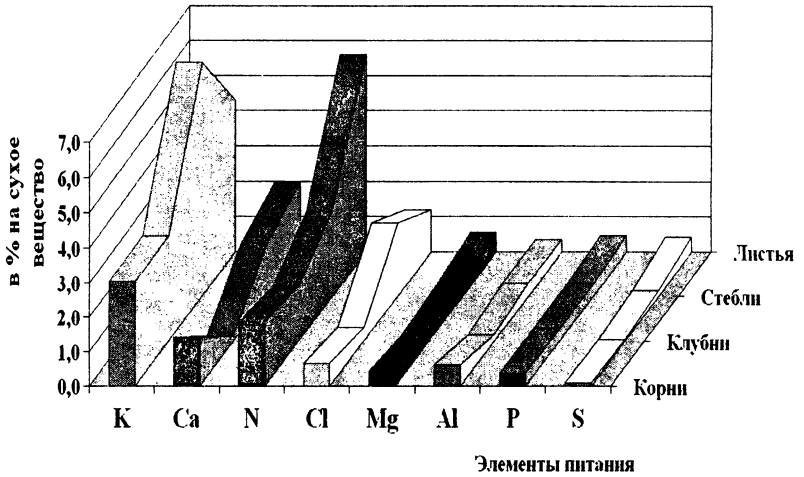

Рис. 29 Распределение элементов питания по органам растений картофеля

Как известно, вынос элементов питания растениями существенно изменяется в зависимости от уровня урожаев. Без применения удобрений вынос картофелем азота составлял 100-135 кг/га, фосфора – 24-27, калия – 200-239, кальция – 29-36, магния – 8-9 и серы 6-7 кг/га. Вынос элементов питания под действием удобрений существенно возрастал по сравнению с абсолютным контролем: азота в 2 раза, фосфора в 1,5, калия в 1,9 раза, кальция и серы в 1,7 раза, магния в 1,6 раза.

В соответствии с различным содержанием элементов питания в ботве и клубнях картофеля их хозяйственный и биологический вынос значительно различаются (табл. 141).

Таблица 141

Вынос питательных веществ 1 центнером клубней картофеля с учетом ботвы, кг/ц

Удобрения	Дозы доломит. муки по г.к.	Урожай клубней, ц/га	Клубни: ботва	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	S
Без удобрений	0	266	1:0,4	0,40	0,21	0,92	0,13	0,10	0,02
	1,0	299	1:0,5	0,47	0,21	0,97	0,16	0,12	0,02
	2,0	283	1:0,5	0,45	0,18	0,94	0,14	0,12	0,02
Навоз 80 т/га + $N_{135}P_{135}K_{180}$	0	383	1:0,8	0,56	0,21	1,24	0,16	0,10	0,03
	1,0	414	1:0,7	0,54	0,21	1,07	0,14	0,12	0,02
	2,0	391	1:0,7	0,59	0,21	1,10	0,16	0,12	0,03
$N_{135}P_{135}K_{180}$	0	372	1:0,6	0,52	0,21	1,04	0,14	0,10	0,03
	1,0	396	1:0,6	0,52	0,18	1,02	0,16	0,12	0,02
	2,0	398	1:0,6	0,53	0,18	0,97	0,16	0,12	0,02

За период исследований максимальная продуктивность картофеля, и, следовательно, вынос элементов питания наблюдались на фоне полной дозы мелиоранта совместно с удобрениями. На вариантах комплексного применения средств химизации ежегодно с урожаем 350-400 ц/га клубней (без ботвы) из почвы безвозвратно теряется – 100-130 кг азота, 22-26 кг фосфора, 200-230 кг калия, 9-10 кг кальция, 11-15 кг магния и 3 кг серы (рис. 30).

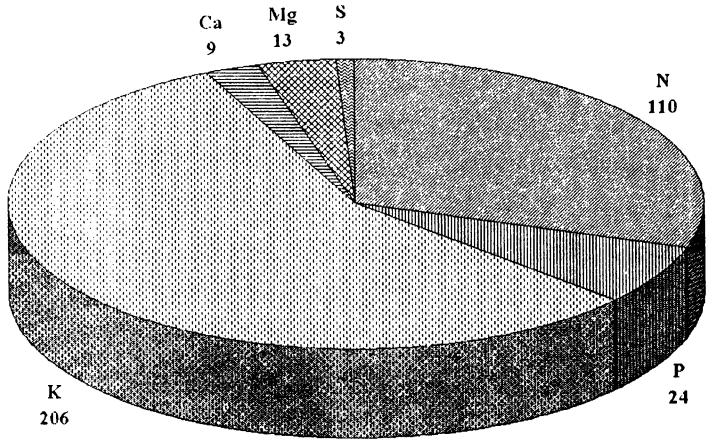

Рис. 30 Вынос элементов питания урожаями клубней картофеля, кг/га

Однако с учетом соответствующего количества ботвы при формировании высоких урожаев картофеля (биологический) вынос элементов увеличивается почти в два раза и составляет: азота 200–230 кг/га, фосфора 33–37, калия 320–380, кальция 45–50, магния 20–30 и серы 8–10 кг/га. Вынос кальция и магния в сумме в 2–2,2 раза превышает вынос фосфора.

С ростом урожайности картофеля, увеличивался расход элементов на формирование 1 ц продукции: азота с 0,4 до 0,59 кг, калия с 0,92 до 1,24 кг, кальция с 0,13 до 0,16 кг и магния с 0,10 до 0,12 кг/ц. На известкованной дерново-подзолистой почве сокращался расход на формирование 1 ц клубней фосфора и калия и увеличивался кальция и магния.

19.9. Потери элементов питания из корнеобитаемого слоя почвы под картофелем

Изучение состава инфильтрационных вод под картофелем в лизиметрическом опыте показало, что по количественному составу катионы распределялись в следующем порядке:Ca^{2+}(22,1-57,2 мг/л) > Mg^{2+} (9,3-33,3 мг/л) > K^{+}(1,9-12,1 мг/л), а анионы: SO_4^{2-} (58,7-139,6 мг/л) > HCO_3^{-}(26,5-75,2 мг/л) > Cl^{-} (11,2-63,2 мг/л) > NO_3^{-} (9,4-29,7 мг/л). Максимальные потери элементов отмечены в осенний период после уборки картофеля – 45-56% от суммарного количества за год. Среднегодовые потери элементов за период исследований составили (кг/га): кальция – 55-127, магния – 22-75, азота (нитратного) – 23-69, калия – 6-26, серы ($S\text{-}SO_4^{2-}$) – 43-105 и хлора – 24-138.

Возрастающие дозы удобрений увеличивали выщелачивание азота в 1,5-2,6 раза, калия в 2,1-4,4 раза, хлора в 1,5-4,4 раза, серы в 1,2-1,6 раза, магния в 1,3-2,2 раза, кальция 1,1-1,6 раза по сравнению с потерями из неудобренной почвы (рис. 31).

Повышение доз мелиоранта увеличивало вымывание кальция на 14-65%, магния на 9-82%, серы на 15-34%, хлора на 8-23%, нитратного азота на 3-33% по сравнению с неизвесткованным фоном. Самые большие потери элементов (Ca, Mg, N, S и Cl) отмечены по органоминеральной системе питания с повы-

шенной дозой минеральных туков ($N_{135}P_{135}K_{180}$) на фоне двойной дозы доломитовой муки, т.е. при наложении двух факторов в максимальных дозировках.

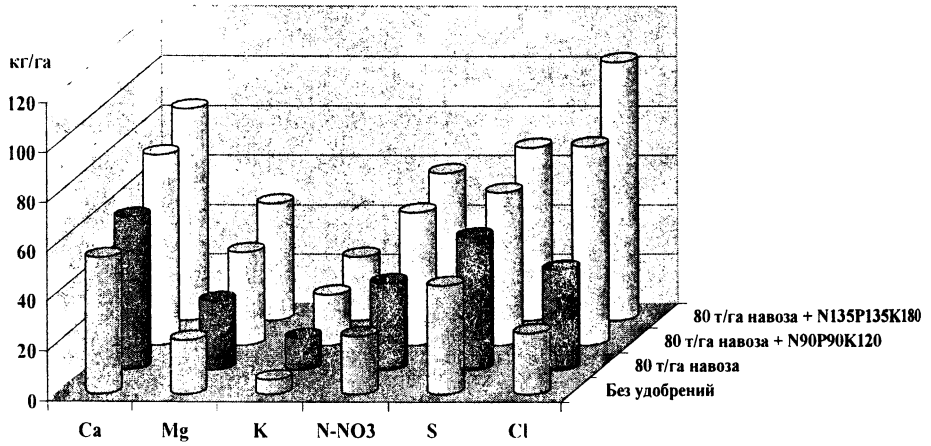

Рис. 31 Потери элементов питания с инфильтрационными водами из пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы (1977-1984 гг.), кг/га

В отличие от Ca, Mg, N, S и Cl, максимальные потери калия отмечены при использовании органоминеральной системы удобрений на кислом фоне. Известкование уменьшало потери калия на 18-50%. Т.Н.Кулаковской, В.Ю.Агеец (1978) установлено, что известкование, увеличивая поглотительную способность почвы, способствует повышению поглощения калия почвенно-поглощающим комплексом и уменьшению его потерь с водами.

Между концентрациями Ca^{2+} и анионами сильных кислот (SO_4^{2-} Cl^- NO_3^-) была установлена тесная положительная корреляционная зависимость, а между Ca^{2+} и HCO_3^- – слабая (табл.142).

Эти расчеты свидетельствуют о том, что кальций, в основном, мигрирует вниз по профилю почвы в виде солей сильных кислот (44-86%) и только в 10% случаев в виде $Ca(HCO_3)_2$. В отличие от кальция, магний в равной степени способен мигрировать как в виде солей сильных кислот (67-81%), так и в виде гидрокарбоната (44%).

Таблица 142

Взаимосвязь между содержанием ионов в лизиметрических водах

Факторы взаимосвязи	Коэф. корреляции (r)	Коэф. детерминации (r^2)	Факторы взаимосвязи	Коэф. корреляции (r)	Коэф. детерминации (r^2)
$Ca^{2+} : SO_4^{2-}$	0,66	0,44	$Mg^{2+} : SO_4^{2-}$	0,90	0,81
$Ca^{2+} : HCO_3^-$	0,31	0,10	$Mg^{2+} : HCO_3^-$	0,66	0,44
$Ca^{2+} : Cl^-$	0,76	0,58	$Mg^{2+} : Cl^-$	0,82	0,67
$Ca^{2+} : NO_3^-$	0,93	0,86	$Ca^{2+} : NO_3^-$	0,83	0,69
$Ca^{2+}:(Cl^-+SO_4^{2-})$	0,81	0,66	$Mg^{2+}:(Cl^-+SO_4^{2-})$	0,91	0,83

Поэтому потери магния из почвы определяется интенсивностью обоих факторов (увеличивающимися дозами удобрений и возрастающими дозами мелиоранта), а потери кальция в большей степени - ростом доз удобрений.

19.10. Продуктивность картофеля на фоне силикатных форм известковых материалов

Затраты на известкование почв могут быть уменьшены на 35-45% при использовании известьсодержащих отходов промышленности и одновременно будут высвобождаться земли, занятые отвалами. В настоящее время используется лишь незначительная часть отходов. В то время как в Германии, например, в ассортименте известковых удобрений, ¾ занимают отходы промышленности, главным образом металлургические шлаки. По данным ряда исследователей (Корнилов М.Ф., Алямовский Н.И.; Сонина К.И., Мельникова М.Н. (1971); Васильева С.Н. (1975); Белоконь В.Д., Удалова Л.П. (1977); Шильников И.А., Ермолаев С.А., Аканова Н.И. (2002) применение известьсодержащих отходов промышленности повышало урожай культур на 30-40% больше по сравнению с известняковой мукой. К недостаткам проведенных исследований относятся: их краткосрочность, малая информативность и, как правило, отсутствие полноценной экологической оценки изменения свойств почвы и качества продукции. В связи с этим целью наших исследований являлось изучение эффективности различных форм известковых материалов на продуктивность культур картофельно-

го севооборота и их экологическую безопасность, а также на плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы в условиях стационарного полевого опыта.

Стационарный опыт был заложен весной 2003 г. на территории ОПХ «Коренево» Люберецкого района Московской области, в котором согласно схеме (табл. 143) были внесены различные формы и дозы известковых материалов под весеннюю культивацию зяби.

Таблица 143

Характеристики известковые мелиорантов

Вид известкового мелиоранта	Содержание, %				Доза конкретного известкового материала, равная 1,0 г.к. (т/га)
	влаги	недеятельных частиц	CaO (или нейтрализующая способность)	SiO_2	
Известняковая мука	1,5	5,0	95,0	-	9,9
Торфяная зола	19,9	20,0	25,0	44,3	44,9
Металлургич. шлак	1,6	34,3	88,0	14,3	10,8

Как известно, нейтрализующая способность силикатных форм известковых удобрений колеблется в широких пределах – от 20 до 100% в пересчете на $CaCO_3$ (в нашем опыте нейтрализующая способность торфяной золы составляла 25%, а металлургического шлака – 88%). В практике земледелия дозы мелиорантов не должны выходить за пределы 8-12 тонн на гектар. При расчете же доз силикатных известковых удобрений по гидролитической кислотности они могут превышать эти нормы в 1,5-2,0 раза, что совершенно не приемлемо для производства. Поэтому схема опыта была построена при условии равенства доз известковых удобрений в физической массе (4, 8 и 12 т/га).

Схема опыта

1. Фон $N_{90}P_{90}K_{120}$ - без известкования
2. Фон + 4 т/га металлургический шлак
3. Фон + 8 т/га металлургический шлак
4. Фон + 12 т/га металлургический шлак
5. Фон + 4 т/га торфяная зола

6. Фон + 8 т/га торфяная зола
7. Фон + 12 т/га торфяная зола
8. Фон + 4 т/га известняковая мука
9. Фон + 8 т/га известняковая мука
10. Фон + 12 т/га известняковая мука

Общая площадь каждой делянки 56 $м^2$, учетная – 38 $м^2$. Повторность – четырехкратная. Расположение делянок рендомизированное по повторениям. Чередование культур на стационарном опыте следующее: картофель (2003 г. – с. «Ресурс» - среднеспелый), картофель (2004 г.– с. «Дельфин» - ранний), вика-овес на зеленый корм (2005 г.), картофель (2006 г. – с. «Невский» – среднеранний). Агротехника возделывания картофеля общепринятая для зоны: два довсходовых боронования, два послевсходовых и одно окучивание перед смыканием ботвы. Ежегодно во время вегетации растений картофеля проводились обработки ботвы инсектицидами и фунгицидами против колорадского жука и фитофтороза.

Почва - дерново-слабоподзолистая супесчаная, нормального увлажнения со следующими агрохимическими показателями пахотного слоя: pH_{KCl} – 4,0; $H_г$ – 5,7 мг-экв/100 г почвы; S - 1,3 мг-экв/100 г почвы, P_2O_5 - 33 и K_2O – 9,6 мг/100 г почвы, гумус – 1,7%.

В 2003 г. результаты исследований показали, что наибольший эффект на картофеле получен от применения торфяной золы в дозе 4 т/га – прибавка к фону ($N_{90}P_{90}K_{120}$) составила 21 ц/га. При дальнейшем увеличении дозировок золы продуктивность картофеля снижалась. Влияния металлургического шлака на урожайность картофеля в первый год проведения опыта не установлено. На фоне повышенных доз известняковой муки наблюдалось достоверное снижение урожайности. Металлургический шлак и торфяная зола повышали содержание крахмала в клубнях картофеля. Существенное повышение крахмалистости отмечено на фоне металлургического шлака в дозах 8 и 12 т/га и на фоне торфяной золы в дозе 8 т/га. На этих же вариантах опыта увеличивался выход крахмала – до 30,5-30,8 ц/га, против 28,8 ц/га на фоновом варианте ($N_{90}P_{90}K_{120}$).

Максимальные урожайность (291 ц/га) и сбор крахмала (32,0 ц/га) получен на фоне торфяной золы в дозе 4 т/га + $N_{90}P_{90}K_{120}$ (табл.144).

Таблица 144

Продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от известкования

Варианты опыта	Картофель				Вика–овес, 2005 г		Картофель, 2006 г		Сумма всех культур за 2003–2006 г	
	2003 г		2004 г							
	ц/га	ц/га, з. ед.	ц/га	ц/га, з. ед.	ц/га	ц/га, з. ед.	ц/га	ц/га, з. ед.	ц/га	ц/га, з. ед.
Фон – $N_{90}P_{90}K_{120}$	270	67,5	288	72,0	365	65,7	410	102,5	308	–
Ф + шлак 4 т/га	269	67,3	316	79,0	433	77,9	452	113,0	337	29
Ф + шлак 8 т/га	268	67,0	352	88,0	418	75,2	443	110,8	341	33
Ф + шлак 12 т/га	272	68,0	320	80,0	423	76,1	403	100,8	325	17
Ф + зола 4 т/га	291	72,8	304	76,0	418	75,2	448	112,0	336	28
Ф + зола 8 т/га	281	70,3	340	85,0	418	75,2	435	108,8	339	31
Ф + зола 12 т/га	265	66,3	344	86,0	430	77,4	468	117,0	347	39
Ф + известмука 4 т/га	275	68,8	300	75,0	435	78,3	444	111,0	333	25
Ф + известмука 8 т/га	248	62,0	306	76,5	418	75,2	449	112,3	326	18
Ф + известмука12т/га	239	59,8	292	73,0	430	77,4	455	113,8	324	16
$НСР_{05}$	20,0		25,0		32,0		23,5			

По результатам первого года исследований установлено, что известкования торфяной золой в дозах 4-8 т/га дало положительные результаты на картофеле, а известкование металлургическим шлаком в дозах 4-12 т/га не вызывало депрессии его продуктивности. В то же время повышенные дозы традиционной формы известкового материала – известняковой муки (8 и 12 т/га), снижали урожайность картофеля.

В 2004 г. на фоне применения металлургического шлака в дозах 4-12 т/га и торфяной золы в дозах 8-12 т/га получены высокие достоверные прибавки урожая картофеля по сравнению с фоновым вариантом, которые соответственно колебались в пределах 28-64 ц/га (+10-22%) и 52-56 ц/га (+18-19%). На фоне известкования традиционной формой известкового материала – извести – наблюдалась тенденция увеличения продуктивности картофеля – прибавки к фону составили 4-18 ц/га ($НСР_{05}$ = 25 ц/га).

В 2005 г. получены прибавки зеленой массы викоовсяной травосмеси по всем известкованным фонам (от 53 до 70 ц/га или 15-19% к контролю).

В 2006 г. достоверные прибавки урожая клубней картофеля отмечены на фоне металлургического шлака в дозах 4 - 8 т/га – 33-42 ц/га; на фоне торфяной золы в дозах 4 -12 т/га – 25 – 58 ц/га и на фоне известняковой муки в дозах 4-12 т/га – 34-45 ц/га.

В сумме за четыре года (2003-2006 гг.) от единовременного внесения 4-8 т/га металлургического шлака или торфяной золы получена прибавка продуктивности культур севооборота на уровне 28-33 (в среднем 30) ц/га в зерновом эквиваленте (зерн. ед.), что в рублевом эквиваленте составляет около 9000 руб/га или 2250 руб/га в год (из расчета закупочных цен за 1 кг пшеницы 4-5 класса в среднем 3 рубля, по данным ЮФО на 14.08.2006 г.). Максимальная прибавка продуктивности культур звена картофельного севооборота – 39 ц зерн. ед. – получена на фоне 12 т/га торфяной золы.

Показатели качества клубней картофеля существенно не изменялись на известкованных фонах, созданных малыми и средними дозами известковых материалов (табл.145), отмечается даже некоторая тенденция улучшения этих показателей, и только на фонах максимальных доз металлургического шлака и известняковой муки (12 т/га) наблюдалось достоверное снижение витамина С.

Картофель относится к группе культур, у которых нитратредуктаза в корнях обладает низкой активностью, поэтому с ксилемным соком транспортируется в надземную часть в основном нитратный азот, его восстановление происходит в листьях, где локализован фермент с высокой активностью (Церлинг В.В., 1979).

Таблица 145

Влияние различных форм и доз известковых материалов на показатели качества клубней картофеля. Сорт Невский, 2006 г

Варианты опыта	Сухое вещество, %	Крахмал, %	Витамин "С", мг %	Вкус вареного картофеля, в баллах	NO_3, мг/кг сырой мякоти
Фон – $N_{90}P_{90}K_{120}$	18,8	12,1	30,3	6,2	74
Фон + металлургический шлак 4 т/га	19,5	12,7	29,3	5,0	60,0
Фон + металлургический шлак 8 т/га	19,3	12,0	31,1	5,5	108,5
Фон + металлургический шлак 12 т/га	19,2	11,8	25,7	6,2	129,0
Фон + торфяная зола 4 т/га	19,2	12,0	29,3	5,4	69,0
Фон + торфяная зола 8 т/га	19,1	12,0	30,1	6,0	94,0
Фон + торфяная зола 12 т/га	18,3	11,6	29,5	6,3	103,5
Фон + известняковая мука 4 т/га	18,1	11,1	28,3	6,0	92,5
Фон + известняковая мука 8 т/га	19,1	11,6	28,8	6,2	92,5
Фон + известняковая мука 12 т/га	19,0	11,1	25,6	5,0	139,0
$НСР_{05}$	1,0	0,8	2,3	0,7	45

По этой причине в корнях и клубнях некоторых сортов картофеля, отличающихся низкой нитратредуктазной активностью, могут обнаруживаться значительные количества не восстановленных нитратов. Уровень содержания нитратов в картофеле можно регулировать, изменяя условия минерального питания (Карманов СН., Кирюхин В.Н., Коршунов А.В., 1988; Коршунов А.В., 2001; Федотова Л.С., Тимошина Н.А., 2004). Наименьшее значение нитратов в клубнях было получено при следующем соотношении элементов питания в удобрении – N: P: K = 1: 1,5: 1,2. На концентрацию нитратов в продукции сущетсвенное влияние оказывают азотные удобрения, тогда как фосфорные и в несколько меньшей мере – калийные, наоборот, снижают их уровень. В экстремальные го-

ды действие метеорологических условий на аккумуляцию нитратов в растениях равно и даже превосходит действие удобрений. Сведений о влиянии известкования на процесс накопления нитратов клубнями картофеля встречается крайне мало. Поэтому так важна информация по содержанию нитратов в картофеле на известкованной почве, полученная в опыте с силикатными формами известковых материалов (табл. 146) и в стационарном полевом опыте с доломитовой мукой (за 1977-1988 гг., табл. 136). Проведенные многолетние исследования по диагностике минерального питания позволяют сделать вывод о том, что известкование улучшает азотный режим почвы и тем самым способствует увеличению поступления $N\text{-}NO_3$ в вегетативную надземную массу (ботву) и клубни картофеля.

Чтобы не вызывать перекорма растений картофеля нитратной формой азота и получать продукцию с регламентируемым содержанием нитратов, на известкованной почве следует сокращать дозы азотных удобрений и повышать фосфорно-калийное питание. Увеличение концентрации нитратов в пределах ПДК в мякоти сырого картофеля можно считать как показатель улучшения азотного режима почвы и минерального питания растений, поскольку такой уровень нитратов не представляет опасности для здоровья людей, т.к. установлено, что основная концентрация NO_3^- в клубнях картофеля приходится на кожуру. При ручной очистке сырого картофеля содержание нитратов в мякоти снижается на 60 %, а после варки очищенного картофеля - на 74 % от исходного содержания их в сыром неочищенном картофеле. (Федотова Л.С., Тимошина Н.А., 2004).

Результаты агрохимических анализов почвы осенью 2003 г. показали, что в первый год действия силикатных форм известковых материалов не произошло закономерного уменьшения обменной и гидролитической кислотности, а также увеличения суммы и степени насыщенности обменными основаниями, что, очевидно, объясняется относительно медленным взаимодействием этих мелиорантов с ППК почвы (табл. 147). В то время как на фоне известняковой муки изменение кислотности и насыщенности ППК почвы основаниями носило закономерный характер. Так, на фоне известняковой муки в дозе 4 т/га обменная кислотность(pH_{KCl}) равнялась 5,0, гидролитическая кислотность 3,9 и сумма

обменных оснований 4,1 мг-экв/100 г почвы, то эти же показатели на фоне известняковой муки в дозе 8 т/га соответственно изменились до следующих значений - 5,6 ед. pH_{KCl}, 3,2 и 5,0 мг-экв/100 г почвы, а на фоне 12 т/га известняковой муки составили — 5,9 ед. pH_{KCl}, 3,1 и 6,5 мг-экв/100 г почвы.

К 2006 г. на известкованных делянках под влиянием механических обработок почвы происходило равномерное перемешивание известковых мелиорантов с почвенной массой. В результате на фоне шлака и торфяной золы наблюдалось постепенное снижение кислотности и увеличение суммы обменных оснований пропорциональное внесенным дозам. Наиболее сильные изменения физико-химических свойств почвы отмечены на делянках с известняковой мукой (pH_{KCl} – 4,7-5,8; Нг – 1,9-3,3 мг-экв/100 г почвы; S – 2,1-3,7 мг-экв/100 г почвы; V – 38,9-66,1%) и наименьшие на фоне торфяной золы, близкие к показателям фонового варианта: pH_{KCl} – 4,1-4,3; Нг – 4,1-4,5 мг-экв/100 г почвы; S – 2,1-2,3 мг-экв/100 г почвы; V – 30,9-35,9% (для сравнения, на неизвесткованном фоне – pH_{KCl} – 4,3; Нг – 4,6 мг-экв/100 г почвы; S – 1,8 мг-экв/100 г почвы и V – 28,1%). Изменения физико-химических свойств почвы, произошедшие под влиянием металлургического шлака, занимали промежуточное положение.

Наблюдения за динамикой развития парши на картофеле позволили установить, что силикатные и углекислые формы известковых материалов не вызывали ее развития в первые три года проведения опыта (2003 - 2005 гг.)

Вспышка заболеваемости картофеля паршой обыкновенной произошла на четвертый год проведения опыта (2006 г.). Результаты клубневого анализа показали, что распространение и развитие парши изменяется пропорционально увеличению pH почвы, коэффициент корреляции составил – r = 0,86 и обратно пропорционально гидролитической кислотности, r = -0,88 (табл.148).

Однако и на неизвесткованном фоне распространение и развитие парши было существенным, что объясняется биологическими особенностями сорта картофеля (Невский – не устойчив к парше), недостатком влаги и неравномерностью выпадения осадков в период активного роста клубней (июль месяц). Известкование металлургическим шлаком и известняковой мукой существенно

Таблица 147

Влияние известковых материалов на физико-химические показатели плодородия почвы

Варианты опыта	Дозы мелиорантов, т/га	pH_{KCl}				Нг, мг-экв/100 г почвы				S, мг-экв/100 г почвы				V, %			
		2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.
Фон–$N_{90}P_{90}K_{120}$	0	4,6	4,3	4,2	4,3	4,9	5,2	4,4	4,6	3,1	2,2	1,7	1,8	39,5	29,2	27,9	28,1
Фон + шлак	4	5,1	4,6	4,6	4,6	4,8	4,3	3,5	3,8	3,3	2,1	1,7	2,1	41,0	31,2	32,7	35,6
Фон + шлак	8	5,0	4,9	5,2	4,9	3,3	3,4	2,6	3,1	5,5	2,7	2,6	2,5	65,1	38,7	50,0	44,6
Фон + шлак	12	4,3	4,7	5,0	4,9	4,7	3,7	2,9	3,0	3,4	3,5	3,0	3,2	44,2	49,1	50,8	53,2
Фон + зола	4	4,9	4,4	4,3	4,3	5,4	4,4	3,9	4,7	4,0	2,2	1,7	2,1	42,7	32,9	30,4	30,9
Фон + зола	8	4,3	4,2	4,1	4,1	6,0	5,1	4,5	4,5	3,1	2,0	2,0	2,1	34,1	28,2	30,8	31,8
Фон + зола	12	4,8	4,7	4,3	4,4	5,8	4,6	3,9	4,1	2,9	2,2	2,2	2,3	33,4	32,4	36,1	35,9
Ф + изв. мука	4	5,0	5,2	4,7	4,7	3,9	3,7	3,2	3,3	4,1	1,5	1,8	2,1	52,5	28,0	36,0	38,9
Ф + изв. мука	8	5,6	5,8	5,8	5,3	3,2	2,5	1,9	2,5	5,0	2,5	3,7	3,0	59,1	50,4	66,1	54,5
Ф + изв. мука	12	5,9	6,3	6,4	5,8	3,1	1,6	1,3	1,9	6,5	3,2	3,9	3,7	67,7	64,6	75,0	66,1

увеличивало заболеваемость клубней паршой обыкновенной: на фоне металлургического шлака на 36,5-59,6%, и на фоне известняковой муки на 26,3-58,9% к контролю. Малые дозы торфяной золы (4 и 8 т/га) математически доказуемо снижали заболеваемость картофеля паршой обыкновенной, и только высокая доза (12 т/га) увеличивала распространенность болезни, без увеличения степени ее развития.

Данные по заболеваемости картофеля паршой обыкновенной на четвертый год после известкования (2006 г.) можно объяснить не только физико-химическими свойствами почвы, но и подвижностью микроэлементов, которая изменялась по-разному. Математический анализ парных сравнений Шеффе (Scheffe) позволил установить заметное влияние известковых материалов на содержание подвижных форм меди, цинка и никеля в почве. Содержание подвижных форм никеля и цинка снижалось практически на всех известкованных фонах, а содержание меди - на фоне металлургического шлака и известняковой муки. Известкование различными формами мелиорантов увеличивало содержание подвижных форм свинца, однако, оно не превышало МДУ.

Таблица 148

Влияние различных форм и доз известковых материалов на распространение и развитие парши обыкновенной на клубнях картофеля. Сорт «Невский» 2006 г. (Федотова Л.С., Тимошина Н.А. и др., 2007)

Варианты опыта	Распространение парши обыкновенной (P%)	Степень развития парши обыкновенной (R%)
Фон – $N_{90}P_{90}K_{120}$	32,0	12,0
Фон + металлург. шлак 4 т/га	69,3	32,3
Фон + металлург. шлак 8 т/га	91,6	54,0
Фон + металлург. шлак 12 т/га	68,5	52,0
Фон + торфяная зола 4 т/га	21,0	5,7
Фон + торфяная зола 8 т/га	4,9	2,2
Фон + торфяная зола 12 т/га	43,2	16,0
Фон + известняк. мука 4 т/га	58,3	23,9
Фон + известняк. мука 8 т/га	82,1	51,0
Фон + известняк. мука 12 т/га	90,9	67,3
$НСР_{05}$	10,5	5,6

В известкованной почве содержание подвижных форм хрома оставалось на уровне фонового варианта или снижалось, как, например, на фоне известняковой муки в различных дозах и на варианте с высокой дозой металлургического шлака (12 т/га). Таким образом, можно сделать вывод, что недостаток подвижных форм меди и хрома на фоне известкования металлургическим шлаком и известняковой мукой, могло привести к усилению развития возбудителей парши обыкновенной и заболеваемости клубней актиномикозом.

Подводя итоги представленных исследований на культуре картофеля, необходимо подчеркнуть, что роль макро-, мезо- и микроэлементов в сбалансированном соотношении (т.е. удобрений, модифицированных микро- и мезоэлементами) в формировании величины урожая этой культуры и, особенно, качества продукции – велика. Отечественным производителям картофеля следует подойти вплотную к применению научно-обоснованных разработок по комплексной химизации, в том числе, опережающему известкованию и внесению сложных удобрений, которые бы содержали наряду с азотом, фосфором и калием обязательно кальций, магний, серу и микроэлементы. Надеемся, что публикация материалов многолетних исследований в этой книге послужит процветанию сельского хозяйства России.

ГЛАВА 20

ИЗ ОПЫТА ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОЧВ ЗА РУБЕЖОМ

И.А. Стебут в своей магистерской диссертации (1865 г.) отмечает, что «известь – едва ли не одно из самых древних удобрительных средств после помета домашних животных». Еще до Рождества Христова в древнем Риме употребляли известь большей частью в обожженном виде преимущественно для удобрения виноградников, масличных и вишневых плантаций с целью ускорения созревания плодов. Применение мергеля было распространено во Франции с незапамятных времен. Уже в средние века имеется много упоминаний об извест-

кования почв в Европе, но наибольшего практического применения оно достигает на территории современной Англии.

Великий шотландский поэт Роберт Бернс (1759 - 1796 гг.), родом из крестьян, занимался сельскохозяйственным трудом, арендуя у богатых землевладельцев пахотные земли. В его договоре на аренду было одним из условий предусмотрено раз в четыре года внесение мергеля на земельном участке.

Из Англии прием известкования почв переместился в Германию, где были отмечены как практические успехи этого способа повышения урожайности сельскохозяйственных растений, так и негативные результаты. Родилось выражение: «Известь обогащает отцов и разоряет детей», которое явилось следствием непонимания процессов происходящих в почве. Дети копировали отцов, применяя регулярное внесение извести, которое могло приводить к нарушению соотношения в почве Ca:K, Ca : Mg и не заменяло удобрение почвы. Именно тогда сложилось отрицательное отношение к использованию доломитов, которое сохранялось до начала двадцатого века, и было устранено классическими работами К.К. Гедройца и О.К. Кедрова-Зихмана.

Наблюдательные крестьяне заметили, что сочетание извести с применением навоза дает положительный эффект. В результате родилась близкая к нашим современным представлениям пословица: «Кто известкует без навоза, тот разоряет себя, сам не сознавая того».

Конец XVIII века на Западе знаменует собой период усиленного развития сельскохозяйственной литературы. Известкование, в самом широком смысле слова, занимает выдающееся место во всех сельскохозяйственных книгах того времени и рассматривается наравне с навозным удобрением как основной способ повышения плодородия почв. Во второй половине XIX века были изобретены и широко вошли в практику земледелия минеральные удобрения, высокая эффективность которых привела к резкому сокращению применения извести. Только агрохимики того времени понимали отрицательные последствия забвения известкования, которое приведет к снижению содержания в почве кальция и магния. Точными полевыми опытами они доказали необходимость известкования в условиях

применения удобрений, подкисляющих почву. Известкование почв в Англии вновь нашло широкое практическое применение. В период Второй мировой войны (1941 – 1945 гг.) в Англию, блокированную немецкими подводными лодками, был резко сокращен подвоз из колоний сельхозпродуктов и удобрений. Именно в этот период многократно возросли масштабы известкования почв, которое, по выражению журнала «Британский союзник» спасло Англию от голода.

В Германии в послевоенный период резко сократилось применение извести для оптимизации реакции среды в почве, что привело к увеличению площадей кислых почв в 5 раз (с 1956 по 1965 годы). Были приняты меры по резкому увеличению поставок сельскому хозяйству известковых удобрений, и в настоящее время проводится систематическое известкование почв. При этом дозу извести для поддерживающего известкования определяют исходя из возможного выноса кальция с урожаями, потерь его из почвы с фильтрующимися атмосферными осадками и количества извести, необходимой для нейтрализации физиологической кислотности минеральных удобрений. По данным научно–исследовательских учреждений ФРГ, количество вымываемого из почвы оксида кальция колеблется от 60 до 600 кг/га в год, а средний вынос его урожаем – от 25 до 200кг/га. В таблице 149 приведены дозы извести, используемые для поддерживающего известкования. Их вносят 1 раз в 3-4 года.

Для различных по механическому составу почв ФРГ приняты определенные оптимальные величины pH солевой вытяжки (в 0,1 н. KCl). Чем больше в почве глинистых частиц, тем ближе к нейтральной должна быть ее реакция. Для тяжелых почв оптимальной считают pH 6,9-7,5, при этом необходимо, чтобы в них содержалось 0,2-1,0% свободного углекислого кальция, улучшающего физико-механические свойства почвы и предохраняющего ее структуру от разрушения обильными осадками и тяжелыми машинами.

В рекомендациях для практиков длительное время существовало правило: известковать почвы часто, но небольшими дозами. Независимо от кислотности почвы за один прием вносили не более 20-25 ц/га CaO и повторяли известкова-

ние не раньше, чем через три года. Поэтому, доведение реакции среды почвы до оптимальной, иногда затягивалось на десяток лет. Полевые опыты последних лет показали целесообразность одноразового внесения полной дозы извести.

Таблица 149

Дозы извести (ц/га CaO) для поддерживающего известкования

Почвы	Желаемый уровень pH (0, 1 н. KCl вытяжки из почвы)	Пашня		Сенокосы и пастбища	
		значение pH	требуется CaO	значение pH	требуется CaO
Песчаные	5,3 - 5,7	выше 5,5 5,5 - 5,3 ниже 5,3	– 5 минимум 5	4,8 - 5,2	5
Супесчаные	5,8 - 6,2	выше 6,0 6,0 - 5,8	– 10	5,3 - 5,7	5,5
Легкие суглинки	6,3 - 6,7	выше 6,5 6,5 - 6,3 6,2 - 6,0 ниже 6,0	– 10 15 минимум 15	5,8 - 6,2	6
Средние суглинки	6,9 - 7,5 + 0,2% свободной $CaCO_3$	выше 7,0 7,0 - 6,5 6,4 - 6,3 6,2 - 6,0 ниже 6,0	20 25 30 минимум 30	6,0 - 6,5	6
Тяжелые суглинки	6,9 - 7,5 + 1,0% свободной $CaCO_3$	выше 7,0 7,0 - 6,5 6,4 - 6,3 6.2 - 6,0 ниже 6.0	30 40 50 минимум 50	6,0 - 6,5	6

Дозы извести для основного известкования устанавливают по методу Шахтшабеля, имеющему модификации для минеральных и торфяных почв. Рассчитанные таким образом дозы для разового внесения могут достигать 20 т/га CaO и более. Для минеральных почв составлены 4 таблицы, в которых предусмотрено доведение pH почвы в 0.1 н. KCl вытяжке до 7,0; 6,5; 6,0; 5,5. Дозы извести рассчитывают на основании определения pH почвы в растворах хлористого калия и уксуснокислого кальция. В таблице 150 приведены дозы CaO, необходимые для доведения почв с различной реакцией до pH 6,0.

Для торфяных почв дозы извести определяют иначе: 20 $см^3$ почвы помещают в эрленмейеровскую колбу с 4 г KCl, добавляют 50 $см^3$ раствора 1/30 н. $Ca(OH)_2$ и 10 $см^3$ воды. Несколько раз взбалтывают и через сутки определяют pH. Во второй пробе определяют pH исходного образца почвы. Потребность в извести на основании обеих величин приведена в таблице 151. Необходимо иметь в виду, что оптимальная величина pH при использовании торфяников под пашню принята равной 3,9, а при использовании под луг или пастбище - 4,5. Поэтому в скобках приведены дозы CaO для лугов и пастбищ.

В полевых опытах проверка фактически получаемых величин pH при внесении доз извести, рассчитанных по методу Шахтшабеля, показала, что реакция почвы была в большинстве случаев несколько ниже ожидаемой. Шахтшабель объясняет причину расхождения результатов лабораторных и полевых анализов неравномерным распределением известковых удобрений в пахотном слое, потерями извести вследствие вымывания в нижние горизонты. Проверка метода Шахтшабеля по определению доз извести в модельных полевых опытах показала на необходимость его корректировки. Для ее осуществления использовали результаты анализов почв и учета урожаев в многолетних опытах с дозами и формами извести, проведенных в Ольденбурге. Средняя продолжительность каждого опыта – два года. Полевые опыты проводили на минеральных почвах, содержащих менее 10% гумуса; известковые удобрения вносили в форме жженой (CaO) или углекислой ($CaCO_3$) извести, дозы ее определяли только по методу Шахтшабеля. Всего для оценки метода были использованы результаты 30 полевых опытов: 12 на глинистых почвах и 18 – на песчаных. Средняя исходная величина pH на почвах тяжелого механического состава равнялась 5,2 (4,3-6,3), легкого - 4,6 (3,6-5,5). Требуемый сдвиг величины pH по сравнению с исходной должен был составить соответственно 1,5 (0,7-2,2) и 1,3 (0,4-2,4) в 0,1 н. KCl.

Сопоставление расчетных доз извести с фактически необходимыми для достижения установленного уровня реакции почвы показало, что между ними имеется тесная зависимость: коэффициент корреляции равен 0,86 для всех почв, 0,93 - для суглинков и 0,81 - для супесей. Дозы извести, определенные ла-

бораторным методом, были в среднем на 40% ниже фактически необходимых для установления желаемого уровня реакции.

Таблица 150

Потребность в извести (CaO, ц/га) для доведения реакции почвы до pH 6,0 (в 0,1 н. KCl)

pH ацетата кальция	pH 0,1 н. KCl вытяжки из почвы									
	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2 - 5,0	4,9 - 4,6	4,5 и меньше
7,0		1	1	1	1	1	1	2	2	2
6,9		1	1	2	2	2	2	3	3	4
6,85		2	2	3	3	3	4	4	5	6
6,8		2	3	3	4	5	5	6	7	8
6,75		2	3	4	5	5	6	7	8	9
6,7	2	3	4	5	6	6	7	8	10	11
6,65	2	3	5	6	7	8	8	9	11	13
6,6	2	4	5	7	9	9	9	11	13	14
6,55	2	4	6	7	9	10	11	12	15	16
6,5	3	5	7	8	10	11	12	14	16	18
6,45	3	5	7	9	11	12	13	15	18	20
6,4	3	6	8	10	12	14	15	17	20	23
6,35	4	7	9	11	13	15	16	19	23	25
6,3	4	8	10	13	15	17	19	21	25	28
6,25	5	8	12	14	17	19	21	24	28	32
6,2	5	9	13	16	18	21	22	26	31	35
6,15	6	10	14	18	20	23	26	29	35	39
6,1	6	12	16	20	23	26	29	33	40	44
6,05	7	13	18	22	26	29	32	37	44	49
6,0	8	15	21	26	30	34	37	43	51	57
5,95	9	17	24	29	34	39	42	49	58	65
5,9	11	20	27	34	39	44	49	56	67	74
5,85	13	24	33	41	48	54	59	68	81	90
5,8	17	32	44	54	63	71	78	90	107	120

Для установления степени воспроизводимости величины pH при различных сроках отбора проб почвы в одноименных вариантах опыта ежегодно определяли этот показатель на неизвесткованных делянках. Химические анализы показали значительные сдвиги реакции почвы на неизвесткованных делянках

Таблица 151

Потребность торфяных почв в извести (CaO, ц/га), вычисленная на основании исходного pH в 0,1 н. KCl вытяжке и установившегося после добавления $Ca(OH)_2$*

pH после добавления $Ca(OH)_2$	Исходная величина pH									
	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3
2,9	164 (234)									
3,1	109 (156)	140 (210)								
3,3	82 (117)	93 (140)	117 (187)							
3,5	65 (93)	70 (105)	78 (125)	93 (164)						
3,7	55 (78)	56 (84)	58 (93)	62 (109)	70 (140)					
3,9	47 (67)	47 (70)	47 (75)	47 (82)	47 (93)	47 (117)				
4,1	41 (58)	40 (60)	39 (62)	37 (65)	35 (70)	31 (78)	23 (93)			
4,3	36 (52)	35 (53)	33 (53)	31 (55)	28 (56)	23 (58)	16 (62)	(70)		
4,5	33 (47)	31 (47)	29 (47)	27 (47)	23 (47)	19 (47)	12 (47)	(47)	(47)	
4,7	30 (42)	28 (42)	26 (42)	23 (41)	20 (40)	16 (39)	9 (37)	(35)	(31)	(23)
4,9	27 (39)	25 (38)	23 (37)	21 (36)	18 (35)	13 (33)	8 (31)	(28)	(23)	(16)
5,1	25 (36)	23 (35)	21 (34)	19 (33)	16 (31)	12 (29)	7 (27)	(23)	(19)	(12)
5,3	23 (33)	22 (32)	19 (31)	17 (30)	14 (28)	10 (26)	6 (23)	(20)	(16)	(9)
5,5	22 (31)	20 (30)	18 (29)	16 (27)	13 (25)	9 (23)	5 (21)	(18)	(13)	(8)

даже на следующий год: в 56% всех проанализированных почвенных проб отклонение величин pH составило ±0,2, в 33% ±0,5 и в 6% проб почвы даже ±1,0 pH. Наибольшие колебания величины pH наблюдались на почвах легкого меха-

нического состава. Приведенные данные рассеивания величин pH даже на неизвесткованных делянках свидетельствуют о трудности или даже невозможности достижения, точно заданной величины реакции почвы в полевых опытах и производственных условиях. Практически возможно лишь приблизительно довести этот показатель до заданного уровня с отклонениями (в определенных пределах) в сторону его увеличения или уменьшения.

На основании проведенных экспериментов Феттер с сотрудниками пришли к выводу, что метод Шахтшабеля, принимая во внимание 40%-ную надбавку к дозе, целесообразно применять для относительно точного определения доз извести.

В США наиболее распространенным является метод Шомейкера, основанный на взаимодействии почвы с буферным раствором.

Сравнение методов Шахтшабеля и Шомейкера с отечественными методами, проведенное Ф.М. Черногоровой выявило их пригодность и для условий дерново- подзолистых почв (табл. 152).

Таблица 152

Потребность почвы в извести (CaCOз т/га) до и после их компостирования с известью

	Методы определения и потребность в извести (CaCO, т/га):								
	pH солевом вытяжки — таблица ВИУА	общая кислотность — метод Годлина	гидролитическая кислотность—метод Каппена	«полная» гидролитическая кислотность	«кривые титрования» — метод Ремезова	«кривые титрования» метод Алямовского	метод Schachtschabel'R	метод Shoemaker'a	pH солевой вытяжки — таблица Ллямовского
Дерново-подзолистая супесчаная почва									
После компостирования	4,0	5,7	5,4	7,4	6,8	6,0	5,4	3,5	5,0
До компостирования	2,5	4,5	4,9	5,4	1,5'	1,0	2,6	0	3,5
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва									
До компостирования	6,0	6,6	10,1	12,0	8,9	7,9	7,1	7,7	8,0
После компостирования	5,0	2,4	6,0	6,0	3,0	2,4	2,4	2,0	6,5

Дозы, рассчитанные по немецкому и американскому методам, были равны или на 25% ниже доз извести, рассчитанных по наиболее распространенному у нас методу Каппена.

Было также проведено сравнение определения доз извести для торфяно–болотных почв с избыточной кислотностью методами Шахтшабеля и Шомейкера с отечественными, которые свидетельствуют о целесообразности их дальнейшей экспериментальной проверки данными полевых опытов (табл. 153).

Таблица 153

Потребность торфяных почв в извести
($CaCO_3$ т/га), определяемая разными методами

Группы почв по pH солевой вытяжки	Методы определения:								
	обеенная кислотность – метод Логвиновой	общая кислотность – метод Годлина	обменная кислотность – метод Дайкухара	содержание активного кальция – метод Бамберга	кривые титрования – метод Казакова	метод Schachtschabel'я	1/2 гидрол. кислотности – метод Каппена	1/2 «полной» гидролитич. кислотности	метод Shoemaker'a
<3,0	9,8	9,9	15,6	16,2	16,5	19,2	17,5	65,5	30,6
3,1–3,5	9,2	9,4	12,2	16,2	16,2	18,9	15,0	54,9	30,6
3,6–4,0	8,4	8,8	9,1	9,8	9,6	16,5	12,2	43,3	30,2
4,1–4,2	7,0	7,0	3,8	4,8	0	5,7	11,1	37,7	29,3
4,3–4,5	5,8	5,8	2,1	1,2	0	2,6	10,0	29,9	24,2
4,6–4,8	3,2	4,0	1,6	0,8	0	0,9	7,8	22,8	17,8
4,8–5,0	3,0	2,9	0,9	0,8	0	0,7	5,1	14,6	14,7
>5,0	1,4	2,6	0,9	0,8	0	0,7	3,8	9,2	13,3

В Польше обобщены результаты длительных полевых опытов, в которых выявлена эффективность известкования в зависимости от доз извести в прямом действии и при последействии в течение двух лет. В этих материалах использованы данные полевых опытов, проведенных до 1975 года (табл. 154).

В более поздних опытах, проведенных в 1978-1985 годах, прослежено влияние на урожай высоких доз извести, и отмечается повышенная эффективность известкования (табл. 155).

Таблица 154

Средние прибавки урожая от известкования в полевых опытах Польши до 1975 года, т/га

Культура	В год известкования				На 2–3-й годы последействия			
	дозы CaO, т/га							
	1.0-1,5 (0,5 Нг)		2,0-3,0 (1,0 Нг)		1.0-1,5 (0,5 Нг)		2.0-3,0 (1,0 Нг)	
	число опытов	прибавка урожая	число опытов	прибавка урожая	число опытов	прибавка урожая	число опытов	прибавка урожая
Ячмень	323	0,26	55	0,34	71	0,30	58	0,38
Пшеница	33	0,23	-	-	35	0,24	16	0,27
Свекла	104	2,80	-	-	-	-	-	-
Клевер	-	-	-	-	150	5,00	40	5,70
Рожь	161	0,16	-		116	0,19	38	0,23
Овес	88	0,25	-	0,28	80	0,17	-	-
Картофель	235	1,50	-	1,80	123	2,00	-	-

Таблица 155

Средние прибавки урожая от известкования в полевых опытах Польши после 1975 года, т/га

Культура	Прибавки урожая при внесении доз извести в долях Нг			
	0,5	1,0	2,0	3,0
Ячмень	0,27	0,49	0,61	0,59
Пшеница	0,30	0,39	0,57	0,64
Рожь	0,21	0,31	0,29	0,37
Овес	0,21	0,25	0,35	0,41

Повышение кислотности почвенной среды, по данным полевых опытов в Германии, приводит к снижению урожая наиболее распространенных сельскохозяйственных культур, но в наибольшей степени это отражается на ячмене и свекле (табл. 156).

Табак - одна из наиболее важных культур на Кубе. Большие площади, занимаемые этой культурой, расположены на песчаных почвах с повышенной кислотностью. Многие исследователи получили значительное увеличение урожая этой культуры при известковании на кварцитных почвах с одновременным улучшением качества табака.

Таблица 156

Относительные урожаи сельскохозяйственных культур в зависимости от уровня кислотности почвы, %

Культура	Оптимум pH	Нуждаемость в известковании			
		слабая	средняя	высокая	очень высокая
Озимый ячмень	100	97	95	84	39
Озимая рожь	100	99	99	98	89
Озимая пшеница	100	100	100	97	84
Яровой ячмень	100	99	97	89	39
Овес	100	96	95	87	79
Кормовая и сахарная свекла	100	95	90	81	37
Картофель	100	100	98	86	91
Кукуруза	100	95	92	85	70
Красный клевер, люцерна	100	100	99	94	79

В одном из полевых опытов наиболее высокий эффект получен при внесении $CaCO_3$ в дозе 2,5 т/га (табл. 157).

Таблица 157

Влияние доз извести на урожай табака

Дозы $CaCO_3$, т/га	Урожай, кг/га	Листья высшего качества
Без извести	1518	42,7
0,5	1554	45,7
1,5	1686	45,9
2,5	1868	58,2
3,0	1748	61,0
4,0	1743	45,7
5,0	1685	42,3

В зарубежной литературе большое внимание уделяется агроэкологической оценке известьсодержащих отходов промышленности, находящих широкое применение в практике химической мелиорации кислых почв.

Установлено, что каменноугольная зола может содержать большое количество стронция и бора. Что особенно опасно вследствие низкой нейтрализующей способности каменноугольной золы и необходимости применения высоких её доз, в среднем в 2-2,5 раза больше по сравнению со стандартной известняковой мукой. При этом поступление бора может достигать 10-15 кг/га. Вносимый с

золою стронций при его содержании до 2% может существенно изменить соотношение между кальцием и стронцием и приблизить его к критическому уровню (отношение кальций: стронций менее 10:1, валовое содержание стронция в почве более 600 мг/кг).

Карбонат кальция химического синтеза получается в качестве отхода при производстве комплексных удобрений. Состоит на 87-93 % из чистого $CaC0_3$. В то же время он содержит 0,5-1,8 % нерадиоактивного стронция и 0,3% фтора. При внесении полных доз известковых удобрений в почву может поступать до 100-180 кг/га стронция и 15-30 кг/га фтора.

В соответствии с рекомендациями польских ученых в известьсодержащих отходах промышленности при производстве соды содержание хлора не должно превышать 2,5%. Содержание серы в форме сульфатов не должно превышать 1,5%. Тяжелые металлы в известковых удобрениях должны содержаться в количествах, не превышающих следующие величины:

тяжелые металлы	содержание, %
цинк	до 0,3
свинец	до 0,1
хром	до 0,1
медь	до 0,08
никель	до 0,02
кадмий	до 0,003

Допустимое одноразовое количество тяжелых металлов, которое может поступать с известковыми удобрениями, составляет следующие величины:

тяжелые металлы	поступление, кг/га
цинк	до 10
свинец	до 10
хром	до 15
медь	до 5
никель	до 3
кадмий	до 0,2

Дозы известковых удобрений, содержащих тяжелые металлы, должны быть рассчитаны таким образом, чтобы поступление тяжелых металлов на 1 га площади не превышало указанного количества.

Таблица 158

Содержание тяжелых металлов в металлургических шлаках, (мг/кг)

	Доменная известь	Конверторная известь	Томасова известь	Томас шлак	ПДК для шламоканализационных вод
CaO, %	45	42	42		
P_2O_5, %			7	15	
Цинк	35,8	18,8	28,2	27,7	3000
Медь	4,3	16,3	28,5	30,1	1200
Хром	91,0	1820	1361	2248	1200
Свинец	15,2	10,0	22,4	16,1	1200
Никель	1,2	1,9	7,9	6,0	200
Кадмий	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	20
Ртуть	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	25

В металлургических шлаках (томасшлаки, доменная известь, конверторная известь) содержание кадмия невелико, менее 0,1 мг/кг, так что не происходит существенного загрязнения почвы этим элементом (табл. 158). Содержание же хрома – высокое, но он находится в трудноусвояемой растениями форме и, практически, не накапливается в растениях. Этому же способствует создающаяся в почве при внесении шлака слабощелочная реакция среды. В Германии было установлено, что при внесении в почву доменной извести и томасшлаков тяжёлые металлы не накапливались в растениях и поэтому не возникало ухудшения экологической обстановки.

Еще в начале двадцатого столетия в Западной Европе фосфориту была отведена лишь узкая область применения на кислых почвах и при разделке обогащенных гумусом пустошей, что нашло отражение в следующей рекомендации, вынесенной Конгрессом ассоциации опытных станций в Дрездене в 1907 году: «Ассоциация на основании всех имеющихся под рукой сведений об опытах с фосфоритом приходит к заключению о том, что последний не проявляет экономически выгодного эффекта за исключением случаев применения на кислых почвах», В.П. Кочетков (1924). Ссылаясь на данные опытов США, В.П. Кочетков сообщает о том, что фосфоритная мука на известкованной почве уступала суперфосфату по действию на урожай зерновых, но превосходила его по влиянию на травы.

Отношение к возможности эффективного применения фосфорита в условиях известкования стало меняться после начала применения новой технологии его размола и получения удобрения, отличающегося тонким гранулометрическим составом. В Германии в начале 60-х годов был проведен полевой опыт, длившийся 15 лет (с 1953 по 1968 г.). На участке выращивали озимую и яровую пшеницу, сахарную и кормовую свеклу, ячмень, рапс, кукурузу и кормовые бобы. Известкование проводили в течение первых трех лет, при этом pH почвы изменился с 4,9 до 6,4. В дальнейшем реакция почвы удерживалась на уровне pH 6,2–5,7. Фосфорные удобрения вносили ежегодно до 1965 г., в 1966–1968 гг. изучали их последействие. Одинарная доза фосфора при ежегодном внесении соответствовала 44 кг/га P_2O_5, всего было внесено 575 кг/га P_2O_5. Суммарный урожай сухой массы и вынос фосфора урожаем приведен в таблице 159.

Таблица 159

Влияние фосфорных удобрений на урожай (сухая масса, ц/га) и вынос пятиокиси фосфора (кг/га)

Варианты	Урожай сухой массы, ц/га			Вынос P_2O_5 кг/га		
	1953 - 1965 г.	1966 - 1968 г.	Σ	1953 - 1965 г.	1966 - 1968 г.	Σ
Без извести						
Без P_2O_5	715	103	818	214	48	262
Гиперфос одинарная доза	1044	130	1174	353	68	421
Томасшлак одинарная доза	1060	134	1194	385	69	454
Гиперфос двойная доза	1069	141	1210	418	78	496
Томасшлак двойная доза	1160	143	1303	472	80	552
По извести						
Без P_2O_5	945	152	1097	322	76	398
Гиперфос одинарная доза	1103	152	1255	426	85	511
Томасшлак одинарная доза	1203	152	1355	457	83	540
Гиперфос двойная доза	1154	153	1307	449	86	535
Томасшлак двойная доза	1212	166	1378	520	98	618

Полученные результаты показали, что на кислой почве прямое действие и последействие фосфорных удобрений одинаково. При известковании эффективность всех фосфорных удобрений снижалась, в частности гиперфоса в большей степени, чем томасшлака. Тем не менее, на известкованной почве при

сдвиге pH почти на 1,5 единицы, прибавка урожая от одинарной дозы гиперфоса составила 62% от прибавки, полученной при внесении двойной дозы томасшлака - 78%. Реакция растений на формы фосфорных удобрений была различной: озимая пшеница и рапс на неизвесткованном и известкованном фонах одинаково хорошо отзывались на гиперфос и томасшлак; кормовые бобы на неизвесткованном фоне лучше отзывались на томасшлак, а при известковании одинаково использовали фосфор обеих форм удобрений; ячмень, свекла и кукуруза были более отзывчивы на томасшлак.

Некоторые исследователи за рубежом считают, что фактор высокой «биологической активности почвы» имеет даже большее значение для проявления положительного действия фосфорита на урожай растений, чем избыточная кислотность. На почвах с повышенным содержанием органического вещества и активной деятельностью микробных сообществ происходит процесс аналогичный компостированию фосфоритной муки с навозом или торфонавозными смесями. Отечественные результаты исследований также показали, что эффективность фосфорита на сильнокислых почвах, в которых резко подавлена микробиологическая деятельность, ниже чем на почвах со среднекислой реакцией среды.

Известкование кислых почв обычно рекомендуется проводить в периоды, обеспечивающие высокое качество рассева известковых удобрений. Наиболее благоприятные условия для этого создаются в течение вегетационного периода: под культуры ярового сева, после уборки парозанимающих культур, многолетних трав, а так же осенью под зяблевую вспашку, на лугах и пастбищах. Однако опыт известкования почв в СССР и странах Европы свидетельствует об имеющим место на практике зимнем внесении известковых удобрений, в том числе и по снегу. Этот прием широко используется в близкой к нашим климатическим условиям Финляндии. В Германии полагают, что он имеет преимущество, выражающееся в более раннем (до двух недель) проведении на этих землях полевых работ.

В Венгрии мелиоративные дозы известковых удобрений обычно вносят летом, в основном после распашки, под последующую культуру. Известковые удобрения (небольшие дозы) вносят перед посевом и по растениям. При этом

считается очень важным моментом, чтобы известковые материалы не перемешивались со всем пахотным слоем в первом году, а были оставлены как можно ближе к семенам. Поэтому желательно мелиоративные дозы извести при помощи культиваторов, дисковых борон заделывать в почву не глубже 12–16 см, а малые дозы известковых удобрений – на 5, максимум 10 см. Очень важно иметь комбинированные сеялки, при помощи которых можно было бы вносить известковые удобрения на 1–2 см глубже семян. Для этой цели разработана технология приготовления рыхлых гранул сильно пылящих известковых удобрений.

В Венгрии в последнее время получило большое распространение известкование зимой и рано весной по растениям. Зимнее известкование большими и малыми дозами проводят обычно на многолетних травах (люцерна, клевер, естественные луга и пастбища). В феврале и марте очень часто применяют известковые удобрения на озимой пшенице, являющейся второй по распространенности посевной культурой после кукурузы. Согласно опытным данным, эффективность внесения даже мелиоративных доз извести по растениям практически не уступает внесению в почву. Так, например, известкование двухлетней люцерны на бурой лесной почве дефекатом дало повышение урожая на 21,5%, а торфогажой – на 18,7%. Озимая пшеница и озимый рапс повышали урожай на 10-16%, в зависимости от вида материала и типа почв. Эффективность зимнего известкования по растениям сильно зависит от состояния почв и растений во время внесения. В тех случаях, когда поверхность почвы или растений была влажная или переувлажненная, эффективность известкования из-за гибели растений сильно снижалась.

Результаты научных исследований в странах Восточной Европы показали, что по данным полевых опытов нет существенных различий между эффективностью весеннего и зимнего сроков внесения извести. Так, по данным 28 полевых опытов в Польше, в которых известковые удобрения вносили в три срока (в октябре; зимой по замерзшей почве или по снегу; весной в марте) действие извести на урожай растений и кислотность почвы было равноценным (табл. 160).

Таблица 160

Кислотность почвы и урожай сельскохозяйственных культур в зависимости от сроков внесения извести, т/га

Срок внесения извести	Ячмень	Клевер	Пшеница	Овес	Рожь	Картофель	pH	Гидролитическая кислотность, мэкв на 100 г почвы
	среднее из 20 опытов			среднее из 8 опытов				
Без извести	3,04	35,7	3,79	2,97	2,68	26,6	4,28	4,99
Осень	3,30	39,0	4,06	3,24	2,78	27,8	5,62	3,07
Зима	3,31	38,8	4,07	3,19	2,75	28,0	5,63	3,02
Весна	3,27	38,9	4,04	3,12	2,77	28,0	5,75	2,85

Результаты обобщения данных 14 полевых опытов в СССР также не выявили существенных различий между действием на урожай извести при зимнем и ранневесеннем сроках внесения. Несмотря на то, что по данным полевых опытов, эффективность известкования в различные периоды года примерно одинакова, следует иметь в виду, что в определенных условиях на крутых склонах и при высокой вероятности сильных ветров могут иметь место потери известковых удобрений. Вследствие этого решение о возможности проведения известкования почв принимается с учетом конкретных почвенно-климатических условий.

В рекомендациях по известкованию почв Германии подробно (на 5 страницах) пунктуально расписаны все возможные сроки (в том числе и в зимний период) внесения извести, а в заключении указано: «а вообще, умный хозяин в любом периоде года может с высоким качеством выполнить работу по внесению извести на поля». Так что, творческие способности человека являются главным условием при выборе способа проведения работ по химической мелиорации кислых почв.

В технологиях применения известковых удобрений за рубежом преобладают способы внесения при помощи центробежных и других механизмов с ветрозащитными приспособлениями. Для условий России, где была широко внедрена технология применения пылевидных известковых удобрений с пневматическими разбрасывающими механизмами, наибольший интерес представляет

опыт бывшей ГДР. В отличие от отечественных АРУП–8 и РУП–8 на агрегатах Германии устанавливались очень мощные компрессоры, которые обеспечивали получение практически параллельно поверхности почвы на расстоянии 25–30 м идущей массы известкового материала. При этом визуально при проходах с перекрытиями наблюдалась почти идеальная равномерность распределения известкового удобрения по поверхности почвы.

Основное известковое удобрение в США - молотый известняк. В последнее время американская фирма «Флорайдин Компани» пропагандирует применение жидкой суспендированной изве́сти.

По мнению специалистов фирмы, это дает следующие преимущества по сравнению с использованием сухой известняковой муки: *1* - позволяет равномерно распределить известь по полю и создать однородную реакцию почвы; *2* - избежать сноса частиц извести ветром, наблюдающегося при внесении пылевидных известковых удобрений; *3* - установить узкий интервал pH для культур, чувствительных к этому показателю; *4* - в более короткий срок достичь оптимального уровня pH благодаря включению в суспензию известняка высокой степени измельчения.

Результаты полевых опытов, проведенных в США, Англии и Канаде, показали, что наиболее эффективно и быстро действует внесение молотого известняка, размер частиц которого меньше 0,25 мм (табл. 162). Дальнейшее измельчение известняков и доломитов не сопровождается дополнительным повышением их эффективности. Частицы крупнее 2 мм принято считать недеятельными.

Исходя из действия каждой фракции известняков, проводили расчет ожидаемой эффективности известняковой муки различного гранулометрического состава. В таблице 161 (верхняя часть) приведен пример такого расчета для известняка, разделенного на фракции на двух ситах с размером ячеек 2 и 0,25 мм. Фирма, пропагандирующая применение жидкой суспензированной извести, предлагает несколько иной вариант аналогичного расчета для известняка, содержащего 92% $CaCO_3$ (табл. 162, нижняя часть).

Таблица 161

Влияние тонины помола известняка на урожай различных культур (данные полевых опытов)

Место проведения опыта (штат), тип почвы	Тонина помола (% частиц, прошедших через сито 0,25 мм)	Доза извести (т/га)	Культура	Сравнительный урожай в % при внесении	
				кальцита	доломита
Иллинойс, пылеватый суглинок	28 40 95		Кукуруза, соя, пшеница, клевер (среднее за 6 лет)	73 88 100	43 67 81
Иллинойс	28 40 95	11	Донник (среднее за 2 года)	91 91 100	81 84 92
Огайо	28 55 28 55	5 10	Кукуруза Овес, пшеница, травы, (сено)	64 100 71 100	
Огайо, pH почвы 5,3	30 50 65	-	Кукуруза, овес, пшеница, травы (среднее за 4 года)	61 100 84	
Огайо, пылеватый суглинок, pH 5,6	21 38 62		Тимофеевка и люцерна	57 95 100	
Индиана, мелкий опесчаненный суглинок	28 42 95	10	Кукуруза, овес, сено трав (среднее за 8 лет)	74 100 94	
Индиана, пылеватый суглинок	28 42 95	7,5	Кукуруза, пшеница, травы (сено) (среднее за 6 лет)	6 99 100	
Индиана, пылеватый суглинок, pH 5,2	10 24 45 63	-	Люцерна (3 года)	69 100 96 88	
Миссури, пылеватый суглинок, pH5,5	33 100	5	Кукуруза (8 лет)	100 76	
Огайо, иловатый суглинок	16 33 60		Люцерна, тимофеевка (среднее за 2 года)	30 86 100	
Канада, провинция Онтарио, глина	45 98 45 98	6,3 12,5	Люцерна (1 год) -	62 100 91 100	

Величина коэффициента эффективности известняка, кроме тонины помола, зависит от типа почвы, различных агрономических приемов (способа заделки, глубины внесения и др.), доз азотных удобрений, особенностей возделываемых культур.

Эффективность муки (фактор тонины помола x содержание $CaCO_3$ в %)

$$\frac{86,75 \; x \; 92}{100} = 79,8$$

В связи с различием доз и гранулометрического состава известковых суспензий и твердых молотых известняков трудно сравнивать их эффективность. Предварительные опыты показали, что внесение полной дозы сухого молотого известняка и 70% ее в виде суспензии дает одинаковый эффект. Отмечены даже случаи равного действия половинной дозы суспензированной извести и полной дозы молотого известняка.

Однако Марфи, Шомейкер и Фабри анализируя имеющиеся данные, считают, что само суспензирование не может повысить эффективность известняка, которая в любом случае определяется его тониной помола и нейтрализующей способностью.

Суспензированная известь состоит из жидкой основы, диспергирующего агента и извести. Жидкой основой обычно служит вода, но можно применять и растворы аммиачной селитры, мочевины и калия. Растворы фосфатов использовать нельзя из-за несовместимости их с известью. Если в известковом удобрении содержится окись кальция, то при ее взаимодействии с водой происходит сильное нагревание, что недопустимо при использовании растворов аммиачной селитры и мочевины.

При суспензировании решающую роль играет тонина помола известняка. Чем мельче гранулометрический состав его, тем выше качество суспензии и ее эффективность. Весь материал должен проходить, по крайней мере, через сито с отверстиями диаметром 0,25 мм. На практике для получения суспензий используют еще более мелкий материал, который вследствие исключительно сильного пыления отсеивается при производстве известковых удобрений. Эта особенность суспендированной извести и определяет ее быстрое действие и часто большую,

по сравнению с сухим известняком обычного помола, эффективность. Почти все формы известковых удобрений пригодны для суспендирования.

Таблица 162

Расчет эффективности известняковой муки в зависимости от и гранулометрического состава

Показатели	Образцы молотого известняка	
	1	2
Содержание $CaCO_3$ %	90	90
Содержание частиц, %		
крупнее 2 мм	2	10
от 2 мм до 0,25 мм	21	38
мельче 0,25 мм	77	52
Расчет фактора тонины помола: % частиц >2 мм х коэффициент эффективности	2 х 0 = 0	10 х 0 = 0
% частиц 2- 0.25 мм х коэффициент эффективности	21 х 0,5 = 11,5	38 х 0.5=19
% частиц <0,25 мм х коэффициент эффективности	77 х 1,0 = 77	52 х 1,0 = 52
Фактор тонины помола	88,5	71
Эффективность муки (фактор тонины помола х содержание $CaCO_3$ %)	$\frac{88,5x90}{100} = 79,6$	$\frac{71x90}{100} = 63,9$

Фракции, мм	Содержание фракций, %	Коэффициент эффективности	Результат
>0,8	15	0	0
0,3 - 0,8	15	0,75	11,25
0,25 - 0,3	20	0,90	18
0,15 - 0,25	20	1,00	20
<0,15	30	1,25	37,5
			86,75

Поскольку мелкие частицы извести плохо смачиваются водой и всплывают на ее поверхность, для облегчения образования суспензии добавляют диспергент, который способствует повышению концентрации суспензии. Так, например, при приготовлении суспензии, из известняка, частицы которого мельче 0,074 мм, в присутствии диспергента в суспензии содержалось 70% извести, а без него - только 60-62%.

В лабораторных и полевых условиях испытывали четыре диспергента: тетранатрий пиросульфат, триполифосфат натрия, лигнин-сульфонат и полиакрил натрия. Самым дешевым и эффективным оказался лигнин-сульфонат (по цене равный глине) - побочный продукт при производстве бумаги. На тонну готовой продукции (суспензии) достаточно добавлять 1-2% лигнин-сульфоната.

Для стабилизации суспензии наряду с лигнин-сульфонатом необходимо добавлять глину в количестве 1-2% от веса продукции. При внесении суспензии сразу после приготовления достаточно 1 % глины, а при необходимости ее хранения нужно добавлять 2% глины.

Сложность сопоставления многих факторов затрудняет расчет экономической эффективности применения суспензированной и сухой извести. Первая несколько эффективнее, но дороже. Она требует больших издержек на транспортирование, но действует быстрее, поэтому отдача от нее может быть получена уже на первой культуре. На внесение ее затрачивается меньше времени.

Все авторы отмечают, что расширение производства известковых суспензий характеризует улучшение обслуживания сельского хозяйства.

В нашей стране в 80 – 90-е годы прошлого столетия были разработаны ряд модификаций технологии производства и применения суспензированной известняковой муки. Наибольшую практическую значимость имел способ производства суспензий из мела, так как применение обычной технологии известкования меловой мукой связано с большими трудностями из-за его отрицательных физико–механических свойств. Однако ни одна из технологий не нашла практического применения из–за разрушения в целом всей системы известкования.

Для многих почв США в последние годы характерно повышение кислотности, что влечет за собой увеличение потребности в извести. Только на юго-востоке страны нуждаются в известковании 6-9 млн га пахотных земель. Это вызвано применением высоких доз аммонийных азотных удобрений и ростом орошаемых площадей. Высокие дозы азотных удобрений могут понизить величину pH солевой суспензии почв до 4-5. Для нейтрализации кислоты, обра-

зующейся при внесении в почву 1 кг несульфатного азота, необходимо 3 кг чистого и сухого $CaCO_3$. Известкование повышает эффективность азотных удобрений, способствует более экономному их использованию. Практика показала, что один доллар, затраченный на известкование, дает шесть долларов чистой прибыли.

О важности этого приема можно судить по тому, что специалисты США придерживаются следующего принципа: «Первый доллар из затраченных на улучшение почвенного плодородия должен быть вложен в известкование». Уровень применения известковых удобрений в США с небольшими колебаниями составляет 30 млн тонн в год.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев Ю.С. Влияние удобрений на крахмалистость клубней картофеля //Агрохимия, 1975, №7. - С. 147-154.
2. Авдонин Н.С. Свойства почвы и урожай. - М.: Колос, 1965. - 271 с.
3. Авдонин Н.С., Болышева Т.Н. О дозах извести в севооборотах с картофелем и сераделлой // Вестник сельскохозяйственной науки, 1978. №6. - С. 51 – 60.
4. Авдонин Н.С., Лебедева Л.А. Влияние длительного применения удобрений и известкования на свойства кислых почв // Агрохимия, 1970, № 7.
5. Адрианов С.Н. Закономерности формирования фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрения. – Автореф. дис....д.с.-х.наук, М., 2000. – 48 с.
6. Аканова Н.И. Агроэкологическая и энергетическая эффективность сочетания известкования с минеральными удобрениями. Автореф. дисс.... д. биол. наук., М., 2001. – 36 с.
7. Алексеев Ю.В. Качество растениеводческой продукции. – Л.: Колос, 1978. – 255 с.
8. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
9. Альсмик П.И., Амбросов А.Л., Вечер П.С. и др. Физиология картофеля. - М.: Колос, 1979. - 272 с.
10. Альшевский Н.Г., Деребон Ю.Г., Малышев Ю.И. Кальций, магний и бор в фосфорном питании растений. – В сб.: Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений. - Киев.: Наукова думка, 1984. – С. 74-76.
11. Алямовский Н.И. Ориентировочное определение доз извести по величине pH kcl – вытяжки. Тр. ВИУА, М., 1949, вып. 29, с. 207-215
12. Анисимов Б.В. Сортовые ресурсы и передовой опыт семеноводства картофеля. – М.: Росинформагротех, 2000. – 148 с.
13. Анспок П.И., Штиканс Ю.А., Визла Р.Р. Справочник агрохимика Нечерноземной полосы. - Л.: Колос, Ленингр. отд-ние, 1981. – 328 с.
14. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агросистемах. – М.: МГУ, ЦИНАО, 2000. – 524 с.
15. Аристархов А.Н. Питание растений кальцием в Нечерноземье // Плодородие. - №4, 2002. – С. 22-24.

16. Аристархов А.Н., Кочеткова Г.Г. Продуктивность севооборота и качество сельскохозяйственных культур при интенсивном известковании и применении удобрений на дерново-подзолистых почвах (Московской области). – В сб.: Повышение качества опытной работы с удобрениями на полях колхозов и совхозов. – Труды ЦИНАО, 1981. – С. 70-93.

17. Асаров Х.К. Значение магния и бора при известковании почвы под картофель. – В сб.: Научн. работ ф-та агрохимии и почвоведения, 1949, вып. 41. – С. 98.

18. Асаров Х.К., Фомина Л.Г. Отношение люпина, картофеля и льна к известкованию кислых почв. – В сб.: Вопросы известкования кислых почв. – Пермь, Перм. кн. изд-во, 1976, вып. 3. – С. 76-81.

19. Аскинази Д.Л., Ярусов С.С. К учету кислотности почвы. - Труды ВИУА, 1927, вып. 48. – С. 35-36.

20. Ахромейко А.И. Динамика поглощения питательных веществ и накопление крахмала картофелем. – Изв. Ан СССР, 1939, № 6. – С. 1055-1100.

21. Бабинская Е.Б. Эффективность магния сталеплавильных шлаков при известковании дерново-подзолистых почв. Автореф. дис. ... кан. с.-х. наук. – М., 1985. – 25с.

22. Бабкин В.В., Кирпичников Н.А. Устойчивость агроценозов к загрязнению тяжелыми металлами в зависимости от окультуренности дерново-подзолистой почвы и применения мелиорантов. Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах. Изд-во МГУ. – 1998. – С. 404-409.

23. Банкина Т.Ф. Влияние основных элементов питания на зараженность картофеля вирусными болезнями. – Труды Тульской с.-х. оп. станции, 1976, т.5, ч.1. – С. 135-145.

24. Барбалис П.Д., Веверс Э.В. Влияние агрохимических свойств почвы, минеральных удобрений и других факторов на урожай картофеля // Химия в сельск. хоз-ве, 1970, № 8. – С. 63-68.

25. Бардышев М.А. Минеральное питание картофеля. - Минск: Наука и техника, 1984. – 192 с.

26. Бардышев М.А. Особенности минерального питания и урожай картофеля при выращивании в различных почвенных условиях. - Автореф. дисс.... д. с.-х. наук, М., 1991. – 44 с.

27. Белоконь В.Д., Удалова Л.П. Использование известьсодержащих отходов в качестве мелиорантов.//Химия в сел. хоз-ве. - 1977. - №8. – С.10-13.

28. Белоус Н.М. Влияние удобрений на урожайность и кулинарные качества картофеля // Агрохимия, 1995, №10. - С. 55-61.

29. Белоус Н.М. Повышение плодородия песчаных почв. – М.: Колос – 1997. – 191 с.

30. Беляев А.Г. Влияние длительного применения удобрений на микрофлору дерново-подзолистой почвы. – Микробиология, 1958, т. 27, вып. 4. - С. 472-477.

31. Блэк К.А. Растение и почва / Пер. с англ., М.: Колос, 1973. – 503 с.

32. Большаков В.А., Краснова Н.М., Борисочкина Т.И., Сорокин С.Е. и др. Агротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. Российская Акад. с.-х. наук. Почвенный инст. Им. В.В. Докучаева, М., 1993, 90 с.

33. Болышева Т.Н. Причины кальциефобности сельхозкультур. – В кн.: Продуктивность почв Нечерноземной зоны и пути ее увеличения. М.: Изд-во МГУ, 1984. – С. 109-115.

34. Бубенцов С.Т. Актиномикоз картофеля в Центральном Казахстане. – Тр. Каз. респуб. СТАЗР, 1956, т. 3. - С. 192-212.

35. Бурганов Ф.Г. Оптимизация известкования дерново-подзолистых, серых лесных почв, выщелоченных и оподзоленных черноземов в условиях Татарстана. Автореф. канд. дисс., М., 1993, 27 с.

36. Бусыгин В.Н. Влияние новых форм калийных удобрений в гранулированном и крупнокристаллическом виде на урожай и качество картофеля. - Автореф. дис. ...к. с-х. наук. – М.- 1986.- 22 с.

37. Вавуло Ф.П. Микрофлора основных типов почв Белорусской ССР и их плодородие. - Минск: Урожай, 1972. - 232 с.

38. Важенин И.Г. Почва как активная система самоочищения от токсического воздействия тяжелых металлов – ингредиентов техногенных выбросов.//Химия в сельском хозяйстве, 1982., №3, с. 3-5.

39. Валовненко Д.К., Чорный Д.Л. Влияние удобрений и известкования почвы на урожай и качество картофеля в Полесье Украины. – Киев.: Урожай, 1982, вып. 13. – С. 69-73.

40. Васильева С.Н. Эффективность металлургических шлаков в качестве известковых удобрений в зависимости от химического, гранулометрического и минералогического составов. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М.: ВИУА, 1975. – 25 с.

41. Васильева С.Н., Менаджиева Р.А. Эффективность применения и перспективы рациональных перевозок шлакоизвестковых удобрений // Труды УралНИИЧМ. Свердловск. 1976. т. 25. – С. 11-16.

42. Величко В.А. Биологические аспекты снижения кислотности почв и возможности применения нетрадиционных кальцийсодержащих химических мелиорантов. – В сб.: Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – С. 79-83.

43. Вечер А.С., Бардышев М.А. Изменение соотношения Ca/Mg в различных органах картофеля в процессе вегетации. – В сб.: Весці АН БССР, сер. біял. навук, 1972, №4. - С. 114-115.

44. Вечер А.С., Гончарик М.Н. Физиология и биохимия картофеля. – Минск.: Наука и техника, 1973. – 263 с.

45. Вислобокова Л.Н. Эффективность сочетания минеральных удобрений с известкованием на выщелоченном чернозёме. Автореф. канд. дисс., М., 1993, 22 с.

46. Власова М.В. Действие извести на картофель. – Химизация соц. земледелия, 1937, № 3. – С. 16-33.

47. Власюк П.А. Диагностика недостаточности питания растений макро- и микроэлементами. – В кн.: Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Киев,1969. - С. 458-491.

48. Возделывание картофеля в колхозах и совхозах РСФСР (Рекомендации). – М.: Россельхозиздат, 1977. – С. 5

49. Воловик А.С., Борисенок А.Б., Христенко Г.С., Шуйская Н.Г. Орошение, как прием борьбы с паршой обыкновенной. – Научн. труды НИИКХ, 1977, вып. 29. – С. 68-71.

50. Володько О.К. Урожай и качество клубней картофеля в зависимости от известкования. – В сб.: Известкование и применение минеральных удобрений в интенсивных системах земледелия. Горки, 1985. – С. 65-73.

51. Воронков М.Г., Зелнин Г.И., Луковиц Э.Я. Кремний и жизнь. Изд-во «Рига», 1978.- 588 с.

52. ГарднерГ., Гарнер Г. Известкование почв в Англии. М., Иностранная литература, 1954, 226 с.

53. Гармаш Г.А. Накопление тяжелых металлов в почвах и растениях вокруг металлургических предприятий. Дисс....канд. биол. наук. Новосибирск. 1985. –

150 с. Гедройц К.К. Подвижность почвенных соединений и влияние на нее кальция. – Труды Носовской опытной станции, Киев, 1926, вып.43. – 18 с.

54. Гедройц К.К. Известкование почвы и отношение между количествами обменного кальция и обменного магния в почве. Избранные сочинения. – М., 1955. т. 3 – С. 455-466.

55. Гедройц К.К. Почвенный поглотительный комплекс как коллоидная часть почвы и его взаимоотношение с растением // Химизация социалистического земледелия, 1932, № 9-10. – С. 15-18.

56. Голубев Б.А. Кислые почвы и их улучшение. – М., 1954. 166 с.

57. Гречушников А.И. К роли калия в растении картофеля. – Бюл. науч.-техн. информации, 1957, №2. – С. 9-12.

58. Гриднев Н.И. Зависимость роста, развития, продуктивности и качества картофеля от густоты посадки и возрастающих доз удобрений при орошении //Автореф. дис.... к. с-х. наук. – М. - 1982. – 21 с.

59. Гришина А.В. Агроэкологическая оценка уровней содержания тяжёлых металлов в агроэкосистемах Владимирской области. Автореф. канд. дисс., М., 2001, 24 с.

60. Гришин Г.Е. Агробиологические основы систем удобрения и известкования выщелоченных чернозёмов лесостепи среднего Поволожья. Автореф. докт. дисс. М., 2001, 48 с.

61. Гущина В.А. Рост, развитие, урожай и качество картофеля в зависимости от сочетаний видов навоза с минеральными удобрениями на карбонатных черноземах Среднего Поволжья //Автореф. дис.... к.с.-х. наук. - М. - 1986. – 22С.

62. Даньков Н.Г. Рост, развитие, урожайность и качество картофеля при разных методах расчета доз удобрений на планируемый урожай. – Автореф. дис....к.с.-х.наук, М. - 1988. – 22 с.

63. Демин В.А., Рузлева Н.И. Урожайность культур и баланс питательных веществ в звеньях севооборота на дерново-подзолистой почве при различных системах удобрений. – Изв. ТСХА, 1985, №6. - С. 64-72.

64. Довгопол В.И. Металлургические шлаки в сельском хозяйстве // М.: Металлургия, 1980 - 40 с.

65. Доклады симпозиума «Лизиметрические исследования в агрохимии, почвоведении, мелиорации и агроэкологии. М.-Немчиновка, 1999, 202 с.

66. Дорожкин Н.А. Картофель. – Минск: Уроджай, 1972. – 140 с.

67. Ермолаев С. А. Агроэкологическая оценка периодического применения металлургического шлака в качестве известкового удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, Автореф. канд. дисс., С-Пб, 2005, 28 с.

68. Ермолаев С.А., Шильников И.А., Аканова Н.И. Эффективность применения силикатных форм химических мелиорантов. Плодородие, 2004, № 2 (17), 13-16 с.

69. Замараев А.Г., Савич В.И., Сычёв В.Г., Духанин Ю.А., Чаповская Г.В., Замараев П.П., Шаров А.Ф. Энергомассообмен в звене полевого севооборота. Ч. 2. М.- ВНИИА.- 2005.- 336 с.

70. Замотаев А. И., Коршунов А. В., Воловик А. С. и др. Индустриальная технология производства картофеля. - М.: Россельхозиздат, 1985. - С. 64-68.

71. Зейналова Г.Ф. Внутриклеточное распределение элементов минерального питания (Ca, Mg и K) при различной обеспеченности ими питательной среды. – Автореф. дис.... к. с.х. наук, Баку, 1970. – 25 с.

72. Зеленов Н.А. Влияние различных форм химических мелиорантов на плодородие дерново-подзолистых почв и продуктивность сельскохозяйственных культур. Автореф.канд. дисс., Пенза.- 2006.- 27 с.

73. Ивойлов А.В. Влияние известкования и минеральных удобрений на продуктивность зернопропашного севооборота и плодородие выщелоченного чернозёма. Автореф. канд. дисс., М., 1988, 20 с.

74. Известкование кислых почв// Под ред. Авдонина Н.С. - М.: Колос, 1976. - 304 с.

75. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1991. 133 с.

76. Ильин В.Б. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в почве // Химия в сельском хозяйстве. 1982. № 3. – С. 5-7.

77. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л. 1991. С. 151.

78. Ильин В.Ф. Влияние длительного применения удобрений на песчаной дерново-подзолистой почве на урожай и качество картофеля // Автореф. дисс. ... д. с. х. наук. – М., 1966. – 35 с.

79. Ильин В.Ф. и др. Удобрение картофеля. – М.: Колос, 1974. –144 с.

80. Кабата-Пандиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

81. Карманов С.Н., Кирюхин В.П., Коршунов А.В. Урожай и качество картофеля. – М.: Россельхозиздат, 1988. – 167 с.

82. Касатиков В.А., Саркисян С.Ш. Варьирование элементного состава почвы в условиях применения на удобрение различных видов осадков городских сточных вод. В кн. «Влияние химизации земледелия на содержание тяжёлых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства», М., 1988, с. 32-35.

83. Касатиков В.А., Овчаренко М.М. и.др. Влияние минеральных удобрений и осадков городских сточных вод на уровень концентрации в почве ряда микроэлементов.// Агрохимия, 1997, №2, с. 81-85.

84. Каюмов М.К. Программирование продуктивности полевых культур. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 368 с.

85. Кедров-Зихман О.К. Известкование почв и применение микроэлементов. - М.: Сельхозгиз, 1957. – 430 с.

86. Кедров-Зихман О.К. Результаты работ лаборатории известкования почв (1932-1959 гг.). – Тр. ВИУА: Вопросы известкования дерново-подзолистых почв. - М.: 1961, вып. 38. - С. 7-27.

87. Кедров-Зихман О.К., Ярусов С.С. и др. Известь; отзывчивость сельскохозяйственных растений на известкование в связи с почвенной кислотностью и степенью насыщенности почв основаниями. – М.: Изд. ВИУА, 1934. – 144 с.

88. Клебанович Н.В., Василюк Г.В. Известкование почв Беларуси. Минск. БГУ.- 2003. - 322 с.

89. Кирпичников Н.А. Оптимизация фосфатного режима дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при сочетании фосфорных и известковых удобрений // Автореф. дис....д. с.-х. наук. - М., ВИУА, 1989. – 46 с.

90. Кирпичников Н.А. Урожай и качество картофеля в зависимости от известкования с применением бора и повышенной дозы калия на дерново-подзолистой песчаной почве //Автореф. дис....к. с.-х. наук. - М., 1970. – 24 с.

91. Кирпичников Н.А., Мергель С.В., Черных И.Н., Черных Н.А. К вопросу оптимизации фосфатного режима дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв // Агрохимия, 1993, № 8. – С. 12-21.

92. Клюквина Ю.В., Лаптев Ю.П. Питательная ценность картофеля. – Картофель и овощи, 1974, № 11. – С. 14.

93. Кляченко В.Е. Роль Са и Mg в структурной организации хлоропластов и физиолого-биохимических процессах ячменя и картофеля // Автореф. дис.... к. с.-х. наук. - Киев, 1973 – 24 с.

94. Кнашене Я., Минейкене В., Симонавичене О. Эффективность действия извести на урожай и качество льна и картофеля. – В сб.: Вопросы известкования кислых почв. - Пермь, Перм. кн. изд-во, 1976, вып. 3. - С. 66-71.

95. Козловский Е.В., Небольсин А.Н., Алексеев Ю.В., Чуриков П.А. Известкование почв. - Л.: Колос, 1983. - 286 с.

96. Кораблева Л.И. Применение известковых и магниевых удобрений на дерново-подзолистых почвах. - М.: АН СССР, 1954. – 99 с.

97. Корнилов М.Ф. Известкование кислых почв Нечерноземной полосы СССР. Л, Колос., 1971, 255 с.

98. Корнилов М.Ф., Благовидов Н.Л. Известкование почв Северо-Западной зоны нечерноземной полосы СССР, 1965 – 219 с.

99. Корнилов М.Ф., Небольсин А.Н., Семенов В.А., Козловский Е.В., Зяблов В.А. Известкование кислых почв нечерноземной полосы СССР. - Л.: 1971. – 255 с.

100. Коротков Б.И., Дизенгоф Е.Г. Использование и потери питательных веществ почвы на регулируемых сенокосах и пастбищах. М., 1985, 53 с.

101. Коршунов А.В. Специализированные севообороты // Картофель и овощи, 1984, №11. - С. 5-8.

102. Коршунов А.В. Управление урожаем и качеством картофеля. – М.: ВНИИКХ. – 2001. – 369 с.

103. Коршунов А.В., Филиппова Г.И. Качество и лежкость картофеля при длительном применении возрастающих доз удобрений// Агрохимия. – 1982, №10

104. Коршунов А.В., Филиппова Г.И. Сохранность картофеля //Картофель России. – М.: ВНИИКХ. – 2003.

105. Кочеткова Г.Г. Влияние разных доз извести на качество растительной продукции. – Автореф. Дис... к. б. ннаук. - М., 1984 – 23 с.

106. Красильников Н.А. Актиномицеты – антагонисты и антибиотические вещества. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960 – 302 с.

107. Кузьмич М.А., Краснокутская О.Н., Огородников Л.М. Агрохимическая и токсикологическая оценка шлаков феррохромового производства // В сб. науч. тр. ЦИНАО. – М., 1988. – С. 115-127.

108. Кукреш Н.П. Влияние удобрений на урожай и крахмалистость клубней картофеля на легкосуглинистой почве. – В сб.: Почвенные исследования и применение удобрений. - Минск.: Ураджай, 1985, вып. 15. – С. 68-75.

109. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. – М.: Изд-во ВО Агропромиздат, 1990. – 218 с.

110. Кулаковская Т.Н., Детковская Л.П. Баланс кальция и магния в пахотных землях Белоруссии // Химия в сельском хозяйстве. 1972. № 12. – С. 16-20.

111. Култышев В.П. Применение металлургических шлаков в качестве известковых удобрений на почвах Удмуртской АССР. Автореф. дисс.... канд. с.-х. наук. – Пермь, 1972. – 18 с.

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

113. Кулаковская Т.Н., Агеец В.Ю. Влияние известкования и минеральных удобрений на вымывание элементов питания из почвы. – Химия в сельск. хозве, 1978, №9. - С. 53-55.

114. Кулаковская Т.Н., Детковская Л.П., Рыбик О.Ф. Влияние различных систем удобрения и метеоусловий вегетационного периода на вынос основных элементов питания с урожаем картофеля. – В сб.: Почвенные исследования и применение удобрений, 1972, вып. 2. – С. 105-110.

115. Лебедева Л.А. Влияние минеральных удобрений при длительном применении и известковании на свойства дерново-подзолистых почв, стойкость растений, их урожай и качество. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М, 1976. 52 с.

116. Лебедева Л.А., Лебедев С.Н., и др. Влияние известкования и органических удобрений на содержание Cd в растениях // Агрохимия. 1997. № 10. С. 45-51.

117. Лебедева Л.А., Лебедев С.Н. и др. Влияние известкования и органических удобрений на содержание Pb в растениях // Агрохимия. 1998. № 3. С. 62-66.

118. Лебедева Л.А. Известкование почв в связи с длительным применением удобрений. – В сб.: Известкование и применение минеральных удобрений в интенсивных системах земледелия. - Горки, 1985. – С. 24-28.

119. Ломако Е.И. Влияние минеральных удобрений на урожай картофеля в зависимости от агрохимических свойств дерново-подзолистых почв // Агрохимия, 1979, № 8. – С. 51-57.

120. Ломако Е.И., Алиев Ш.А. Известкование почв республики Татарстан. Казань, 2004, 272 с.

121. Лукин С.В. Эколого-агрохимические основы адаптивных систем земледелия для эрозионно-опасных и загрязнённых тяжёлыми металлами агроландшафтов в ЦЧР России. Автореф. докт. дисс. М., 1999, 45 с.

122. Лыков А.М., Боинчан Б.П., Вьюгин С.М. Органическое вещество и плодородие почв в интенсивном земледелии (обзорная информация). – М., 1984. – 57 с.

123. Магницкий К.П. Магниевые удобрения. – М.: Колос, 1967. – 200 с.

124. Мазаева М.М. Магний в жизни растений и возможные районы эффективного применения магниевых удобрений. – В кн.: Минеральные удобрения и гербициды. - М., 1961. - С. 35-39.

125. Мазур Г.А., Симачинский В.Н. Миграция кальция и магния в почвах Полесья УССР // Вопросы известкования почв. – Пермь, 1976. Вып.3. – С. 119-129.

126. Маймусов Д.Ф. Почвы Смоленской области. – М.: Прометей, 1992. – 288с.

127. Маханько Э.П. Загрязнение почв Советского Союза токсикантами промышленного производства в 1989 г. Ежегодник, Обнинск, 1990, 193 с.

128. Мерзлая Г.Е. Оптимизация сочетаний органических и минеральных удобрений при длительном их применении. – В сб.: Использование органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии. Владимир, 2002. – С. 197-198.

129. Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф. Пути повышения плодородия кислой дерново-подзолистой почвы после длительного применения минеральных удобрений // Доклады ВАСХНИЛ. 1988. № 11. – С. 2-7.

130. Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда. - М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.

131. Минеев В.Г., Рempe Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.

132. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.

133. Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф., Дурынин С.Г., Зенова Г.М., Скворцов И.Н. Изменение биоразнообразия в агроэкосистеме при длительном антропогенном воздействии // Доклады РАСХН, 1997. - №4. – С.18-20.

134. Минеев В.Г. Экологические функции агрохимии // Сб. Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах. – М.: Изд. Моск. ун-та, 1998. – С. 6-13.

135. Миронов В.Г. Современное состояние и перспективы применения удобрений и химических мелиорантов в земледелии России. В сб.: Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах. Изд. Моск. Ун-та, 1998. – С. 14-19.

136. Можар К.Т., Барсуков С.С. Влияние известкования на урожай и качество полевых культур и агрохимические свойства почвы // Агрохимия, 1985, № 10. – С. 77-82.

137. Молявко А.А. Экологически безопасное удобрение картофеля и пригодность клубней для картофелепродуктов. – Брянск, 1997. – 144 с.

138. Небольсин А.Н. Теоретическое обоснование известкования почв Северо-Запада Нечерноземной зоны РСФСР. Автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. – Л., 1983. – 42 с.

139. Небольсин А.Н., Лебакова Э.И., Иванова Е.В. Влияние доменного шлака на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // Научные труды Северо-Западного НИИСХ. 1974. вып. 29. – С. 85-92.

140. Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Яковлева Л.В. Потери кальция из пахотного слоя дерново-подзолистых почв при определении разными методами. В кн.»Эффективность удобрений в Северо-западном регионе», Л., 1983, с. 32-40.

141. Небольсин А.Н., Небольсина З.П Теоретические основы известкования почв. С-Петербург, 2005, 252 с.

142. Небольсин А.Н. – В кн.: Известкование почв. – Л.: Колос, 1983. – С. 6-119.

143. Небольсин А.Н. Об оптимальном интервале реакции почвенного раствора для роста растений в зависимости от свойств почвы. – В сб.: Вопросы известкования кислых почв. - Пермь.: Перм.кн.изд-во, 1976, вып. 3. – С. 127-131.

144. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Изменение некоторых свойств почвенного поглощающего комплекса дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы под влиянием известкования // Агрохимия, 1997, № 10. – С. 5-12.

145. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Оптимальные для растений параметры кислотности дерново-подзолистой почвы // Агрохимия, 1997, № 6. – С. 19-26.

146. Никифорова М.В. Влияние сельхозкультур и известкования на миграцию из почвы тяжёлых металлов.//Плодородие, 2003, №1, с. 33-36.

147. Обухов А.И., Попова А.А. Баланс тяжёлых металлов в агроценозах дерново-подзолистых почв и проблемы мониторинга.//Вестник МГУ, Сер. 17, Почвоведение, 1992, №3, с. 31-39.

148. Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение. Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – М., 2000. – 52 с.

149. Овчаренко М.М., Шильников И.А., Аканова Н.И. и др. Тяжёлые металлы в системе почва–растение удобрение. М., Пролетарский светоч, 1997, 290 с.

150. Овчаренко М.М., Графская Г.А. Поступление тяжелых металлов в овощные культуры и способы снижения их токсичности. В. сб.: Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах. Изд-во Моск. ун-та. 1998. – С. 391- 397.

151. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 368 с.

152. Павлович Д.Я. Актиномицеты Латвии: Распространение и биологические свойства. - Рига, Зинатне, 1978. - 194 с.

153. Палавеев Т., Тотев Т. Кислотность почв и методы ее устранения. – М.: Колос, 1983. – 165 с.

154. Панасин В.И., Широков В.В. Динамика выноса микроэлементов из почв дренажными водами.//Химия в сельском хозяйстве, 1987, №7, с. 67-69.

155. Панасин В.И. Микроэлементы и урожай. Калининград, 1995, 281 с.

156. Пендюрин Е.А. Агроэкологические основы выращивания сельскохозяйственных культур на загрязнённых тяжёлыми металлами чернозёмах. Автореф. канд. дисс. М., 2000, 19 с.

157. Перегудов В.Н., Иванова Т.И. Некоторые особенности планирования и математической обработки данных специального многофакторного опыта по изучению закономерностей действия удобрений // Агрохимия. 1972. № 7. – С. 119-131.

158. Перегудов В.Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. – М.: Колос, 1978. – 181 с.

159. Петербургский А.В. Корневое питание растений. - М.: Россельхозиздат, 1964. – 254 с.

160. Петрова И.С., Шильников И.А., Щелкунова А.А. Агроэкономическая эффективность сочетания возрастающих доз извести и минеральных удобрений // Бюлл. ВИУА. 1987. № 82. – С. 68-72.

161. Петухов М.П., Панова Е.А., Дудина Н.Х. Агрохимия и система удобрения. - М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

162. Пивоваров Г.Е., Ганюшина Е.В., Ширская Г.М. Влияние повторного известкования на формирование агробиоценозов на дерново-подзолистой почве // Материалы Всесоюзного симпозиума «Микроорганизмы как компонент биогеоценоза». – Алма-Ата, 1982. – С.139-140.

163. Писарев Б.А. Влияние минеральных удобрений на рост и продуктивность картофеля в условиях Москворецкой поймы //Автореф. дис.... к. с.-х. наук. – М., 1957. – 13 с.

164. Писарев Б.А. Научные основы агротехники картофеля в Нечерноземной полосе // Автореф. дис....д. с.-х. наук. - М., 1968. – 32 с.

165. Плешков Б.П. К вопросу о влиянии азота, фосфора и калия на обмен веществ и урожай картофеля //Автореф. дисс.к. с.-х. наук. - М., 1957. –11 с.

166. Пономарева В.В. Теория подзолообразовательного процесса. - М.-Л.: Наука, 1964

167. Попкова К.В., Шнейдер Ю.И., Воловик А.С., Шмыгля В.А. Болезни картофеля. - М.: Колос, 1980. - 304 с.

168. Прокошев В.В. О необходимости применения калийных удобрений // Плодородие, 2002, №1. – С. 18-20.

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

170. Прокошев В.Н. Повышение плодородия песчаных и супесчаных почв дерново-подзолистого типа. - М.: Изд-во АН СССР, 1952. - 430 с.

171. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. т.1.-М.:Колос, 1965. – 691 с.

172. Пшеченков К.А., Сидякина И.И. Качество картофеля и продуктов его переработки // Агро XX1, 2000, № 9. – С. 18-19.

173. Рассел Э. Почвенные условия и рост растений. – М., 1955. – 543 с.

174. Реброва А.К. Разработка и совершенствование агротехнических мер борьбы с паршой обыкновенной в условиях Владимирской области. Селекция и семеноводство картофеля. – Науч. тр., 1973, вып. XIY. - С. 173-177.

175. Ремезов Н.П., Щерба С.В. Теория и практика известкования почв. - М.: Сельхозгиз, 1938. - 347 с.

176. Романенкова М.М. Эффективность совместного применения извести и навоза на дерново-подзолистых почвах. – В сб.: Вопросы известкования почв. – Труды ВИУА, 1961, вып. 38. - С. 127-139.

177. Рудометов С.И. Удобрение картофеля на легких почвах Пермской области. – Тр. Соликамской опытной станции, 1958, т. 2. - С. 181-207.

178. Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы. – М.: Агропромиздат, 1986. – 222 с.

179. Семенова Ф.И. Влияние магния при известковании почвы на урожай корнеплодов. – Труды ВИУА, 1961, вып. 38. – С. 73-92.

180. Семенова Ф.И., Иванова В.Ф., Удалова Л.П. Известкование почвы и приемы, повышающие его эффективность на участках под лен, картофель и люпин. - В сб.: Вопросы известкования кислых почв. - Горки: 1973. - С. 176 - 183.

181. Сидякина И.И. Потребительские качества картофеля. – В кн.: Качество картофеля и картофелепродуктов. – М.: ВНИИКХ, 2001. – С. 5-27.

182. Скворцов В.Ф. Действие известковых удобрений в полевом севообороте. – В кн.: Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. - М.: 1968, вып. 3. - С. 25-42.

183. Смирнов П.М., Петербургский А.В. Агрохимия / Изд. 3-е, М.: Колос, 1975. – 512 с.

184. Соболевский В.Н., Лапченко В.П. Влияние известкования на урожай и качество картофеля, льна и люпина. – В сб.: Вопросы известкования кислых почв. - Пермь, Перм. кн. изд-во, 1976, вып. 3. - С. 145-149.

185. Соколов А.В. Географические закономерности эффективности удобрений. - М.: Знание. –1968.

186. Соловьев П.П. Влияние доломитовой муки на урожай и качество сельскохозяйственных культур и на эффективность минеральных удобрений. – Вып. ВИУА, 1977, №37. - С. 9-21.

187. 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. дисс.... к. с.-х. наук. М., 1972. - 26с.

188. Сопильняк Н.Т., Федотова Л.С., Борисенок А.Б. Влияние минеральных и органических удобрений на поражение клубней картофеля паршой обыкновенной и ризоктонией. – Науч. труды НИИКХ, 1984. - С. 119-125.

189. Специализированные севообороты с картофелем / Рекомендации. – М.: Колос, 1984. – 17 с.

190. Справочник агронома по удобрениям. - М.: Сельхозгиз, 1948. - С. 784.

191. Стебут И.А. – Известкование почвы. Избранные сочинения. Том 2, М. 1951, с. 7–118.

192. Стрельников В.Н. Действие извести на плодородие дерново-подзолистых почв/ Обзорная информация. ВНИИТЭИСХ. - М., 1984. – С. 5-15.

193. Стрельников В.Н., Бабаян Г.С., Соловьев П.П. Действие извести и высоких доз минеральных удобрений на агрохимические свойства и микробиологи-

ческую активность дерново-подзолистой супесчаной кислой почвы // Агрохимия, 1981. - № 9. – С.87-93.

194. Сухоиванов В.А. Влияние удобрений на рост, развитие растений картофеля и формирование урожая. – Труды ВИУА, 1971, вып.8. – С. 180-183.

195. Сычёв В.Г. Динамика изменения, пути воспроизводства и совершенствования методов оценки плодородия почв Европейской части России. Автореф. докт. дисс., Курск.- 2000.- 48 с.

196. Сычёв В.Г., Ладонин В.Ф., Державин Л.М. и др. Интегрированное применение удобрений в адаптивно-ландшафтном земледелии в Нечерноземной зоне европейской части России. М.- 2005.-159 с.

197. Сычёв В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. М., ЦИНАО, 2003.- 228 с.

198. Тамман А.И., Прокошев В.В. Калийные удобрения под картофель на известкованных почвах // Картофель и овощи, 1962, № 5. – С. 26-27.

199. Тараева М.Г., Шильников И.А. Эффективность повторного известкования дерново-подзолистой супесчаной почвы // Химия в сельском хозяйстве. 1979. № 5. – С. 24-28.

200. Тезисы докладов «лизиметрические исследования почв», М., МГУ, 1998, 251 с.

201. Тулин С.А., Алексеева А.К. Влияние известкования и минеральных удобрений на урожай картофеля на песчаных почвах// Химия в сельском хозяйстве. - 1978, 16, №3. - С. 7 - 12.

202. Тупеневич С.М. Защита картофеля от главнейших болезней. - Л.: Колос, 1973. – 144 с.

203. Уайтхед Т., Мак-интол Т., Финдлей У. Картофель здоровый и больной. - М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955. – 608 с.

204. Удалова Л.П. Влияние известкования почв на урожай и качество продукции льна, картофеля и люпина // Автореф. дисс.... к. с.-х. наук. - М., 1980. - 19 с.

205. Удобрения, их свойства и способы использования / Под ред. Коренькова Д.А. – М.: Колос, 1982. – 415 с.

206. Федотова Л.С. Эффективность удобрения и известкования картофеля на дерново-подзолистой почве // Агро XXI, 1999, № 12. - С.20-22.

207. Федотова Л.С. Эффективность удобрений в интенсивном севообороте с картофелем. - Автореф. дисс.... докт. с.х. наук, М, 2003. - 51 с.

208. Федотова Л.С., Тимошина Н.А. Нитраты в картофеле как показатель минерального питания и зрелости продукции. – «Достижения науки и техники АПК». – 2004. -№8. – С. 11-13.

209. Федотова Л. С., Тимошина Н.А., Новиков М. А. Взаимосвязь систем удобрения картофеля с плодородием почвы и урожайностью. - Картофель и овощи – 2005 - № 5. – С. 20-22.

210. Федотова Л.С., Анисимов Б.В. Роль адаптивно-биологизированного земледелия в формировании урожая и повышении пищевой диетической ценности картофеля. В сб.: Картофелеводство в регионах России: Актуальные проблемы науки и практики/ ВНИИКХ РЦСК, – М., 2006. – С. 67-82.

211. Хашхожев А.А. Влияние органических и минеральных удобрений в различных сочетаниях на развитие некоторых болезней и вредителей картофеля при возделывании в севообороте и бессменно //Автореф. дис.... к. с.-х. наук – М., 1970. – 27 с.

212. Хлыстовский А.Д. Плодородие почвы при длительном применении удобрений и извести. – М.: Наука, 1992. – 192 с.

213. Хостанцев А.Г., Гончарова В.А. Особенности питания картофеля в связи с содержанием в почвах подвижного кальция. – Труды ВСХИЗО, 1974, вып. 79. – С. 56-60.

214. Христофоров Л.В. Влияние минеральных удобрений, известкового и навозного фонов на урожай и качество картофеля на дерново-подзолистых суглинистых почвах Марийской АССР//Автореф. дис.... к. с.-х. наук, 1975. – 32 с.

215. Церлинг В.В. Уровень содержания нитратов в сельскохозяйственных растениях и методы его контроля. – В сб.: Повышение эффективности азотных удобрений с помощью ингибиторов нитрификации. – М., ЦИНАО, 1979.

216. Цыганок С.И. Влияние длительного применения фосфорных и известковых удобрений на накопление тяжёлых металлов в почве и растительной продукции. Автореф. канд. дисс.. М., 1994, 26 с.

217. Черногорова Ф.М. Сравнительная оценка методов определения нуждаемости кислых почв в известковании. Автор. канд. дисс., М., 1970 г., 28 с.

218. Черных Н.А., Овчаренко М.М. Приёмы снижения фитотоксичности тяжёлых металлов в почве//1995, Агрохимия, №9, с. 101-107.

219. Черных Н.А., Ладонин В.Ф. Вопросы нормирования содержания тяжёлых металлов в почве//Химия в сельском хозяйстве, 1995, №5, с.10-13

220. Чумаков Ш.А. Вертикальная зональность почв и почвенная микрофлора. – Тр. ин-та почвоведения АН Каз. ССР, 1965, т. 5. - С. 5-108.

221. Шемпель В.И., Старовойтов К.Т. Основные вопросы удобрения и известкования суглинистых почв БССР. - Сб. трудов АН БССР, 1956, вып. 4.- С. 60 - 100.

222. Шильников И.А. Баланс кальция в пахотных почвах РСФСР // Химия в сельском хозяйстве. 1979. № 5. – С. 21-24.

223. Шильников И.А. – Определение доз извести для различных почв и эффективность на произвесткованных почвах ФРГ. «Сельское хозяйство за рубежом», 1974, №2, с. 10–14.

224. Шильников И.А. Пути повышения эффективности известкования и баланс кальция в пахотных почвах Нечерноземной зоны: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – Минск, 1984. – 56 с.

225. Шильников И.А., Колосова А.Ф., Щелкунова А.А. Зависимость изменения величины pH от доз извести и динамика реакции произвесткованных почв//Агрохимия, 1981, № 8, с. 75-82.

226. Шильников И.А., Васильева С.Н. Эффективность металлургических шлаков как известковых удобрений в зависимости от их структуры//Агрохимия, 1979, №9, с. 86-94.

227. Шильников И.А. Природоохранительное значение известкования почв // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 10. – С. 29-32.

228. Шильников И.А., Аканова Н.И. Проблема снижения токсичности тяжелых металлов при известковании // Химия в сельском хозяйстве. 1995. № 4. – С. 29-32.

229. Шильников И.А, Кирпичников Н.А., Удалова Л.П., Гришин Г.Е., Филиппова Т.Е., Ивойлов А.В. Проблемы известкования почв // Химия в сельском хозяйстве. 1996. № 5. – С. 18-21.

230. Шильников И.А., Лебедева Л.А. Известкование почв. – М.: Агропромиздат, 1987. – 171 с.

231. Шильников И.А., Аканова Н.И., Баринов В.Н. Методика прогнозирования изменения кислотности почв и расчет баланса кальция и магния в земледелии Нечерноземной зоны .- М., 1998, 22 с.

232. Шильников И.А., Богомазов Н.П., Ивойлов А.В. Известкование выщелоченных и оподзоленных чернозёмов. В кн. «Плодородие чернозёмов России», М., 1988, с. 266-281.

233. Шильников И.А., Овчаренко М.М., Никифоова М.В., Аканова Н.И. Миграция кадмия, цинка, свинца и стронция из корнеобитаемого слоя дерново-подзолистых почв//Агрохимический вестник, 1998, №5-6, с. 43-45.

234. Шильников И.А. Известкование кислых почв при интенсивном применении удобрений. – В кн.: Основные условия эффективного применения удобрений. - М.: 1983. - С. 90-101.

235. Шильников И.А. Пути повышения эффективности известкования и баланс кальция в пахотных почвах Нечерноземной зоны // Дисс. на соиск. уч. степ. доктора с.-х. наук. - М. - 1982. - 507 с.

236. Шильников И.А., Мельникова М.Н., Варюшкина Н.М., Лебедев С.Н. Потери питательных элементов с инфильтрационными волдами и способы их снижения. М., 1989.- 162 с.

237. Шильников И.А., Аканова Н.И., Никифорова М.В. Итоги исследований по известкованию почв и задачи на 2001-2005 годы. – Бюл. ВИУА, 2001, № 115. – С. 87-91.

238. Шильников И.А., Ермолаев С.А., Аканова Н.И. Итоги исследований металлургических шлаков в качестве известковых удобрений. – Плодородие, 2002, № 6(9). – С. 26-28.

239. Шильников И.А., Удалова Л.П., Иванова В.Ф., Тараева М.Г. Урожай и качество картофеля при интенсивном известковании почвы // Химия в сельск. хоз-ве, 1979, 17, № 3. – С. 7-13.

240. Шильников И.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Определение потерь кальция из пахотных почв по данным полевых опытов//Плодородие, 2004, «2, с. 21-23.

241. Шкель М.П., Прудников В.А. Повышение эффективности известкования дерново-подзолистых почв. – В сб.: Известкование и применение минеральных удобрений в интенсивных системах земледелия. – Горки, 1985. – С. 27-31.

242. Шкляев Ю.Н. Магний в жизни растений. – М.: Наука, 1981. – 96 с.

243. Шугля З.М. Вынос элементов питания урожаем картофеля в условиях севооборота при длительном применении удобрений // Химия в сельск. хоз-ве. 1981, №11. - С. 17-19.

244. Щупкова Н.А. Парша картофеля // Защита растений, 1982, №7. - С. 62-63.

245. Ягодин Б.А., Решетникова Н.В., Бабинская Е.В. Содержание в почве и растениях тяжёлых металлов при использовании сталеплавильных шлаков в качестве известковых удобрений.//Известия ТСХА, 1999, №1, с. 12 - 21.

246. Ягодин Б.А. Тяжёлые металлы и здоровье человека//Химия в сельском хозяйстве, 1995, №4, с. 17-22.

247. Ярусов С.С. Удобрения и урожай.//Вестник с.-х. науки, 1931, №6, с. 25-28.

248. Ярусов С.С. К обоснованию приёмов дробного внесения извести в севообороте малыми дозами. Тр. ВИУА, 1955, вып. 31, с.95-164.

249. Akanova N.I., Udalova L.P., Kozlova T.A., Nesterov A.A. Agroeconomical grounds for the applicaition of lime and fertilizers in soddy podsolic soils. Environmental radioekologi and applied ecology, Vol.5, 1, 1999. - P. 24-38.

250. Amberger A. et. al. Landwirt-schafliche Forschung. 1971, 24, 3-4, 260 - 272.

251. Aslender A. Standard fertilization and liming as factors in maintaining soil productivity. – Soil Sc., 1952, v. 74, № 3. - P. 125-181.

252. Barnes E.D. The effect of irrigation, manganese sulphate and sulphur applications on common scab of the potato–Rec. Agric. Res., 1972, v 20 –P. 35-44.

253. Blasl S. und Bachler W. pH-bedingte Pflanzentoxiritat und Kalkwirkung. – Bodenkultur, 1982, 33, № 1, P. 16-40.

254. Bolton J. Liming effects on the response of potatoes and oats to phosphorus, potassium and magnesium fertilizer.–Agric. Sci. J., Camb.-1977, 89, P. 87-93.

255. Cormack R. On the growth of root hairs.–Science, 1955, vol. 3096, p. 615-616.

256. Dunton E.M. Effect of fertilizer analysis and irrigation on yield and quality of potatoes in eastern Virginia. – Am. potato J., 1968, v. 45, № 1, P. 12-17.

257. Gasser I. An assessment of the unportance of some factors causing losses of lime from agricultural soils. – Experimental husbandry, 1974, 25, P. 86-95.

258. Guohua Xu, Magen H., Tarchitzky J. et al. Advances in chloride nutrition of plants// Advances in Agronomy. 2000. Vol. 68. P. 97-150.

259. Harrison H.C., BergmanE.L., Cole R.H. Growth responses, cooking quality determinations, and leaf nutrient concentrations of potatoes as related to exchangeable calcium, magnesium, and potassium in the soil. – Am. Potato J., 1982, 59, 3, P. 113-124.

260. Hati N., Fischer F.R., Upchurch W.I. Liming of acid soil: Effect on plant available aluminium. – J. of the Indian Soc. Of Soil. Sci., 1979, vol. 27, № 3, P. 277-280.

261. Holmstrom K. Bekampning av potatiskow, LOA, 1983, vol. 64, №4, P. 175.

262. Horsfall I. G., Hollis I. P., Jacobson G. M. Calcium and potato scab. – Phytopathology, 1954, 44, P. 19-24.

263. Hunnius W. Welche Paktoren beeinflussen Starkebildung und Starkegehalt. – Kartoffelbau, 1972, Bd 23, №2.

264. Imas P. Nutrition management of potato. Report at The Global Conference on Potato. December 1999, New Delhi, India.

265. Iohansson O. Haudelsdunder gegen Kartoffelschorf Vakt-Harings-Nytt, Stokholm, 1967, vol. 23, P. 18-20.

266. Jensen H. Actinomycetes in Danish soils. – Soil. Sci., 1930, v 30, №1, P. 59-77.

267. Kerschberger M., Richter D. Ermittlung optimaler pH-werte und pH-Stufender Ackerboden fur Pflanzenproduktion- Archiv fur Acer – und Pflanzenbau und Bodenkunde, 1982, 26, 3, P. 153-158.

268. Kiss A. Sandor. Magnesiumtragyazas magnesium a biologiaban // Mezogazdasagi Kiado. Budapest, 1983. – 159 p.

269. Klein L. B., Chandra S., Mondy N.I. Effect of Magnesium fertilization on the Quality of Potatoes: Total nitrogen, nonprotein nitrogen, protein, aminoacids, minerals and firmness. – J. of agricultural and food chemistry, 1982, july/august, P. 754-757.

270. Köhnlein J. et al. Zeitschrift fur Acker- und Pflanzenbau, 1971, 134, 1, P. 50-83.

271. Köhnlein J. et al. Zeitschrift fur Acker- und Pflanzenbau, 1966. 124, 3, P.212-234.

272. Krauss A. Einfluβ der Ernährung der Pflanzen mit Mineralstoffen auf den Befall mit parasitären Krankheiten und Schädlingen //Z. Pflanzenernähr. u. Bodenk. 1969. Bd. 124. №2. - P. 129-147.

273. Kushizaki M. The development physiology and fertilizer requirement of Irish potatoes. ASPAC Techn. – 1975 –Bull. 24, p. 94//Potato fertilizers for yield and quality. –International Potash Institute. Basel/Switzerland, 1993.

274. Lapwood D.H. The effect of soil moisture at the time potato tuber are forming on the incidence of common scab (Str. scabies). – Am. Appl. Biol., 1966, vol. 58. – P. 447.

275. Lee C. R., Macdonald M. L. Influence of soil Amedments on Potato growth, mineral nutrition, and tuber yield and quality on very strongly acid soils. – Soil Sci. Soc. of American J. 1977. Vol. 41. №3. - P. 573 – 577.

276. Lierop W., Fran F. S., Banville G., Morissette S. Effect of Liming on potato yields as related to soil pH, Al, Mn and Ca. – Agron. J. 1982. 74. №6. - P.1050 – 1055.

277. Magdoff F.R., Bartlett R.I. Effect of liming acid soils on potassium availability. – Soil Sci., 1980, 129, №1, P. 12-14.
278. Mengel K. Ion uptake and translocation. The plant root and its environment. Virginia State, 1971. – editted by Carson E.W.
279. Murphy L.S., Follett H. Liming-taking another look at the bases. – Fertilizer solutions, 1979, January-february, P. 53-67.
280. Nason A., Mcelroy W.D. Modes of action of the essential mineral elements. Plant. Physiol., 1963, 3, N 4, P. 105-112.
281. Niskanen R. Effect of extractant pH on the release of soil phosphorus aluminium and iron by ammonium fluoride. – J. Agr. Sci. Finl. –1989, V. 61, № 2. – P. 67-72.
282. Oblisami G. Effect of liming on changes in microflora of acid soil. Madras Agr. J., 1973, vol. 60, №8, P. 1080-1082.
283. Paterson J.W., Henninger M.R. N, P, K and lime effect on the production and mineral nutrition of potatoes. – Plant Nutrition, Proceedings of the Ninth International Plant Nutrition Colloquium, 1982, vol. 2, p. 461-466/
284. Perrenoud S. Potassium and plant health. IPI Research Topics № 3, Bern, 1990. – 365 p.
285. Perrenoud S. Potato. Fertilizers for the Yield and Quality. IPI-Bulletin № 8. Imprimerie Brinkmann, Mulhouse/France, 1993. – 94 p.
286. Pfaff C. Zeitschrift fur Acker- und Pflanzenbau, 1963, 117, 2, P. 117-129.
287. Rhue R.D., Hensel D.R. The effect of lime on the availability of residual phosphorus and extractability by dilute acid. – Soil Sc. Soc. America J., 1983, 47, 2. – P. 266-270.
288. San R.N., Mikkelsen D.S., Hafez A.A. Phosphorus behavior in flooded – drained soil. Phosphorus desorption and availability // Soil Sci. Soc. Amer. J. – 1989, V. 53, № 6. – P. 1729-1732.
289. Schachtschabel P. Die optimale Bodenreaktion im Kartoffelbau. – Kartoffelbau, 1956, Jg. 7, № 1, s. 4-5.
290. Schachtschabel P. Ursachen und Rigenschaften der Bodenaciditat-Landw. Torsch., 1971, 26, S.H., T1, s. 55-64.
291. Schachtschabel P. Zeitschrift fur Pfianzenernahrung, Diingung und Bodenkunde, 1951, 54, 2, 134-145.
292. Schachtschabel P. Zeitschrift fur Pfianzenernahrung, Diingung und Bodenkunde, 1953, 60, 1, 21-27

293. Schmid G. Actinomyces scabies einfluss den Bodenreaktion auf Schorfbefall der Kartoffel. – Pflansenkrankh und Pflansenschutz, 1969, bol. 761-14, s. 268-280.
294. Sears O. H. Relation of nitrates in soils to response of crops to potash fertilization. Factors contributing to unproductiveness of alkali soils of Illinois. Soil Scl., 1930, 30, P. 325-345.
295. Vetter H. Sonderdruck aus dem Landwirtschaftsblatt Weser-Ems, 1969. - 1, 2, 3.
296. Vetter H. et al. Landwirtschaft For-schung, 1973, 26, 1, 10-15
297. Vetter H. Sonderdruck aus dem Landwirtschaftsblatt Weser-Ems, 1968, 52.
298. Sweigert A. Eltero idopontckbauadagolt kulonbosomesztragyak natasa a burgonia – gumo Streptomyces scabiesfertozottsegenek alahulasara. Novenyvedelem XX, Evfolyam, 1984, 8, P. 372-373.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

1. Введение 3
2. Краткие результаты работ лаборатории известкования почв ВИУА (1932-2002 г.) 7
3. Потери кальция и магния из почвы и факторы, влияющие на них ... 52
   3.1. Влияние свойств почвы, растительного покрова и количества выпадающих атмосферных осадков на вымывание кальция и магния из почвы 61
   3.2. Влияние известкования на потери кальция и магния из почвы .. 64
   3.3. Действие минеральных удобрений на потери кальция и магния из почвы 69
   3.4. Результаты лизиметрических опытов ВНИИА по миграции кальция в почве 71
4. Способы снижения потерь кальция и магния из почвы 75
5. Миграция тяжелых металлов в почве и их влияние на потери кальция и магния 83
6. Баланс тяжелых металлов в почве 94
7. Баланс кальция в земледелии 100
8. Методические указания по расчету баланса кальция в почве 103
9. Методические указания по расчету баланса магния в почве 107
10. Зависимость изменения величины pH от доз извести и динамика произвесткованных почв по обобщенным данным полевых опытов 110
11. Прогнозирование изменения реакции среды в почве методом лабораторных компостов 116
12. Влияние сочетания известкования с минеральными удобрениями на динамику физико-химических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы 121

13. Влияние сочетания известкования с минеральными удобрениями на динамику кислотности почв 139
14. Динамика кислотности оподзоленных и выщелоченных черноземов при известковании 147
15. Эффективность известкования подпахотных горизонтов почвы с кислой реакцией 160
16. Методика прогнозирования кислотности почв в земледелии Нечерноземья 167
17. Эффективность металлургических шлаков как известковых удобрений в зависимости от их структуры 172
18. Влияние сочетания известкования с удобрениями, повторного известкования и форм известковых материалов на продуктивность севооборотов и качество урожая 185
19. Природоохранное известкование почв в севообороте с картофелем 208

19.1. Отношение картофеля к реакции почвенной среды 211
19.2. Значение питательных элементов для картофеля и требования, предъявляемые к их содержанию в почве 217
19.3. Влияние условий минерального питания на химический состав растительных органов, вынос питательных элементов и урожайность картофеля 229
19.4. Эффективность комплексного применения средств химизации в интенсивном севообороте с картофелем 236
19.5. Динамика плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы под влиянием удобрений и известкования 238
19.6. Влияние известкования, удобрений и их сочетаний на урожайность картофеля и продуктивность севооборота 248
19.7. Влияние известкования в сочетании с удобрениями на качество клубней картофеля 256

19.8. Распределение элементов питания по органам растений картофеля и вынос питательных элементов с урожаями 275
19.9. Потери элементов питания из корнеобитаемого слоя почвы под картофелем 279
19.10. Продуктивность картофеля на фоне силикатных форм известковых материалов 281
20. Из опыта известкования почв за рубежом 291
Список используемой литературы 314

ИЗВЕСТКОВАНИЕ КАК ФАКТОР УРОЖАЙНОСТИ И ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

Шильников И.А., Сычёв В.Г.,
Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С.

Компьютерная верстка: Бражникова Н.В., Евтушенко Н.С.

РАБОТА ПО ИЗДАНИЮ ВЫПОЛНЕНА В РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКОМ ОТДЕЛЕ ВНИИА

Лицензия на издательскую деятельность ЛР 040919 от 07.10.98
Лицензия на полиграфическую деятельность ПЛД № 53-468 от 13.08.99
Подписано в печать: 28.08.2008 Формат 60x84/16 Заказ № 18
Усл. печ. л. 21,25 Тираж 200
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31 А
Тел.(495) 976-25-01