

Ю. П. Танделов

**Плодородие кислых почв земледельческой
территории Красноярского края**

Красноярск 2012

ББК 41.4

Т 18

Рецензенты:

В.В. Чупрова, доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения и агрохимии Красноярского государственного аграрного университета

В.Л. Колесникова, кандидат биологических наук, начальник отдела развития растениеводства Министерства сельского хозяйства и продовольственной политики Красноярского края

Т 18 **Танделов, Ю.П. Плодородие кислых почв земледельческой территории Красноярского края / Ю.П.Танделов. – Красноярск, 2012. – 161 с.**

В издании отражены результаты многолетних исследований агрохимической службы Красноярского края о состоянии плодородия почв и динамике изменения их агрофизической характеристики. Рассматриваются данные многолетних стационарных полевых и вегетационных опытов, особенности известкования кислых почв с использованием различных видов химических мелиорантов. Показана эффективность минеральных удобрений в зональном аспекте. Представлены некоторые агротехнические приемы повышения плодородия кислых почв.

Предназначено для широкого круга специалистов в области агрохимии, почвоведения, земледелия.

ББК 41.4

© Танделов Ю.П., 2012

© Красноярская

городская типография, 2012

ВВЕДЕНИЕ

В существующих экономических условиях основной задачей является получение максимальных экономически более выгодных урожаев сельскохозяйственных культур за счет применения средств химизации (органических и минеральных удобрений, мелиорантов, пестицидов) при обязательном сохранении плодородия почв, улучшении окружающей среды.

В структуре почвенного покрова пахотных земель Красноярского края черноземы занимают 70%. Агрохимическая характеристика и эффективность минеральных удобрений на этих почвах изучены сравнительно неплохо.

Однако наряду с черноземами значительный удельный вес (30% пашни) занимают кислые почвы (темно-серые, серые лесные и дерново-подзолистые), которые имеют сплошное распространение только в Подтаежном природном округе. В других природных округах они распространены в комплексе с другими типами почв по всей территории края. Зона их распространения характеризуется повышенным количеством осадков, причем более половины приходится на период с температурой выше 10°C. Длина безморозного периода составляет 95–120 дней. Сумма эффективных температур ниже, чем в лесостепной зоне, на 200–400°C. Вероятность засух здесь значительно меньше, чем в лесостепной зоне. Кроме того, эти почвы характеризуются повышенным содержанием гумуса (5,2%), обладают высокой буферностью, высоким содержанием обменных оснований, поэтому получение высоких урожаев на почвах нечерноземной зоны края вполне реально.

Об этом говорит и исторический факт. Например, развитие земледелия в Красноярском крае началось в северных районах. Переселенцы-крестьяне умели выращивать высокие урожаи озимой ржи, овса, ячменя, кормовых культур. При этом они не только покрывали свою потребность в продовольствии, но еще и снабжали им всю Восточную Сибирь. Подтверждают это и опытные данные бывших Госсортоучастков, расположенных на сильно- и среднекислых почвах.

Несмотря на ряд неблагоприятных агрофизических и агрохимических свойств, характеризующих эти почвы (тяжелый гранулометрический состав, низкое содержание подвижного фос-

фора, неблагоприятное азотное и калийное питание), улучшение их свойств путем внесения органических и минеральных удобрений, применения мелиорантов, микроэлементов, использования сидератов, соломы позволяет не только обеспечить получение высоких и устойчивых урожаев, но в целом повысить плодородие почв.

Именно об этом пойдет речь в книге, в которой впервые сконцентрированы результаты 36-летних научных исследований автора по изучению плодородия земледельческой территории Красноярского края.

В обобщении материалов и проведении вегетационных опытов активное участие принимали О.В. Ерышова, Л.М. Кузнецова, Г.М. Кальчурина, З.И. Жукова.

Глава 1. РАЙОНИРОВАНИЕ И СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА КИСЛЫХ ПОЧВ

Районированием природных условий Красноярского края занимались многие исследователи, положив в основу этого один или несколько природных факторов [Система земледелия Красноярского края, 1982; Герасимов, 1959; Схема природного..., 1962; Градобоев, Коляго, 1958; Крупкин, 1971; Коляго, 1971 и др.]. При этом выделенные таксоны районирования называли по-разному: провинции, регионы, впадины, котловины, округа, районы и т.д. Однако все исследователи учитывали сложную геоморфологию территории, ее физико-географические особенности, орографически четко разделенные между собой территории.

Так, Н.Д. Градобоев и С.А. Коляго, детально изучив природные условия Алтае-Саянской горной земледельческой полосы в пределах края, разделили ее на три региона: Чулымо-Енисейская котловина, включающая несколько впадин, собственно Минусинская котловина правобережья р. Енисей, Минусинская котловина левобережья в пределах Республики Хакасия [Градобоев, Коляго, 1958]. На основе научного обследования края севернее Транссибирской магистрали по комплексу природных условий выделено три природных округа – Ачинский, Красноярский, Канский, в каждом из которых имеется несколько природных зон [Схема природного..., 1962].

Для дальнейшего изложения материала мы полагаем, что наиболее целесообразно выделить шесть физико-геоморфологических округов: Канский, Красноярский, Ачинско-Боготольский, Чулымо-Енисейский, Подтаежный и Минусинский. Эти природные округа существенно различаются по общей площади и площади сельскохозяйственных угодий, в том числе пашни, а также по структуре почвенного покрова.

Канский природный округ занимает восточную часть края. На западе он отделяется от остальной территории Енисейским кряжем, юго-западе и юге – Восточным Саяном и его отрогами, на востоке и севере непосредственно переходит в повышенное изрезанное плато Среднесибирского плоскогорья. В южной части округа размещается Канская впадина, представляющая собой лесостепную зону с тремя подзонами (северная, типичная и южная лесостепь). Лесостепная зона со

всех сторон окружена зоной травяных лесов (подтайга), которая на юге сменяется горной тайгой, на севере – равнинной тайгой.

На территории природного округа размещено 13 административных районов: Манский, Уярский, Партизанский, Саянский, Ирбейский, Рыбинский, Канский, Иланский, Нижнеингашский, Абанский, Тасеевский, Богучанский, Кежемский.

Рыбинский и Канский районы целиком находятся в лесостепной зоне, Богучанский и Кежемский – в таежной зоне. Все другие районы размещаются в двух-трех природных зонах – лесостепной, подтаежной и таежной. Преобладающая часть почвенного покрова пахотных массивов представлена наиболее плодородными почвами – черноземами (50,8% пашни) и темно-серыми слабооподзоленными почвами (24%).

Еще больший удельный вес черноземы и темно-серые почвы занимают в лесостепной части округа – 87,6%. Низко плодородные серые и светло-серые оподзоленные почвы в лесостепи распространены мало (4,1%). Иная картина в подтаежной и таежной зонах, где 54,3% пашни представлены дерново-подзолистыми, светло-серыми и серыми оподзоленными почвами. Здесь только 6,9% пашни занято черноземами.

Красноярский природный округ размещается на приподнятой восточной окраине Западно-Сибирской низменности [Брицына, 1958]. С востока он ограничен от Канского р. Енисей и Енисейским кряжем, с юга – Восточным Саяном, с запада – Кемчугским нагорьем, на севере переходит в горизонтальную зону подтайги Западно-Сибирской низменности.

В округе выделены подзоны северной, типичной и южной лесостепи [Коляго, 1971]. Здесь размещаются основные земельные части Березовского, Емельяновского, Сухобузимского, Большемуртинского районов. Площадь пашни Красноярского природного округа в 4,7 раза меньше Канского и составляет только 7,1% пахотных земель края. Структура почвенного покрова близка к лесостепной зоне Канского округа.

Ачинско-Боготольский природный округ размещается на юго-восточной окраине Западно-Сибирской низменности. Его западная граница является границей края и орографически не отделяется от Томской области, южная граница проходит по хребту Арга, юго-восточная – по Кемчугскому нагорью, в северо-восточной части орографическая граница отсутствует и лесостепь постепенно переходит в зону травяных лесов (подтайга). Здесь размещаются южные земельные части Ачинского и

Боготольского районов. В данном природном округе самая меньшая площадь пашни – 82,9 тыс. га, или 2,7% пашни края.

Структура почвенного покрова существенно отличается от других природных округов. Широкая пойма р. Чулым и слабая дренированность территории обусловили широкое распространение (15%) распаханых пойменных и луговых почв. В то же время здесь господствуют черноземы (74,4%), но очень мало серых лесных почв.

Подтаежный природный округ целиком находится в пределах восточной окраины Западно-Сибирской низменности. На западе он граничит с Томской областью, на юге – с Красноярским и Ачинско-Боготольским природными округами, на востоке граница проходит по р. Енисей и на севере данный природный округ переходит в безбрежную тайгу, где нет земледелия. Орографические границы в северной и южной частях отсутствуют, в состав Подтаежного природного округа входят Енисейский, Казачинский, Пировский, Бирилюсский, Тюхтетский, Большеулуйский, Козульский, а также северные части Ачинского, Боготольского и Большемуртинского районов. Площадь пашни составляет 402,9 тыс. га, или 13,1% пашни края. Половина пахотных массивов размещается на дерново-подзолистых почвах, 30,7% – на темно-серых, серых и светло-серых оподзоленных почвах. Черноземы занимают 7,4% пашни, в то же время здесь сравнительно много (11,4%) пойменных и луговых почв в поймах рек Чулым, Кеть и их притоков, а также в пониженных элементах рельефа.

Чулымо-Енисейский природный округ находится южнее хребта Арга и на востоке отделяется от остальной территории края Восточным Саяном, на юге – Батеневским кряжем, на юго-западе – Кузнецким Алатау. Северо-западная часть данного округа находится в юго-восточном углу Западно-Сибирской низменности. Здесь орографическая граница отсутствует. В центрально-восточной части округ разделяется отрогом Восточного Саяна – Солгонским кряжем на две котловины: северную – Назаровскую, южную – Чулымо-Енисейскую [Градобоев, Коляго, 1958]. На территории Чулымо-Енисейского природного округа размещаются Назаровский, Шарыповский, Ужурский, Новоселовский и Балахтинский районы. Сельскохозяйственное производство (89,4% пашни) в основном сосредоточено в лесостепной зоне. Подтаежная зона находится в предгорных частях

Восточного Саяна, Солгонского и Батеновского кряжей, Кузнецкого Алатау.

Господствующими пахотными почвами (85,8% пашни) в данном природном округе являются черноземы. При этом в подзоне южной лесостепи преобладают черноземы обыкновенные, в типичной – выщелочные. Сравнительно много черноземов (20,4% площади пашни зоны) в подтаежной зоне.

Минусинский природный округ размещается на юге края в правобережной части Минусинской котловины, которая со всех сторон окружена Восточным и Западным Саянами и их отрогами. Река Енисей отделяет территории непосредственно Красноярского края от Республики Хакасия.

На территории данного природного округа находятся Краснотуранский, Идринский, Курагинский, Каратузский, Минусинский, Шушенский, Ермаковский районы. Площадь пашни составляет 568,4 тыс. га. В подтаежной и таежной зонах пахотный массив занимает 27,1%, в лесостепной – 64,1, в степной – 8,8%. Подтаежная зона имеется во всех административных районах, кроме Минусинского, который находится в центре котловины, степная – только в западных частях Краснотуранского, Минусинского и Шушенского районов.

В подтаежной зоне 54,5% пашни размещены на бедных дерново-подзолистых, серых и светло-серых оподзоленных почвах и только 22,9% – на черноземах в основном выщелоченных и оподзоленных. Наибольший удельный вес занимают серые лесные и дерново-подзолистые почвы. По данным [Бугаков, Чупрова, 1995], в структуре почвенного покрова они составляют 26,9% (1098 тыс. га), в том числе серые и светло-серые – 6,9% (292,8 тыс. га), темно-серые 20% (818,7 тыс. га), дерново-подзолистые 5,1% (216,9 тыс. га) и черноземы оподзоленные – 5,1% (216,5 тыс. га).

Эти почвы значительно различаются по физическим свойствам. Наилучшими характеризуются темно-серые и серые лесные. По данным С.А. Коляго, Ю.П. Вередченко, они имеют высокое содержание гумуса, большую мощность гумусового горизонта, агрономически ценную зернистую и комковато-зернистую структуру (содержание фракции крупнее 0,25 мм в пахотном слое составляет 57%). Агрофизические свойства серых лесных почв достаточно благоприятны для выращивания сельскохозяйственных культур. Главной причиной невысокого

их эффективного плодородия является неблагоприятный тепловой режим [Коляго, 1954; Вередченко, 1961].

Дерново-подзолистые почвы, наоборот, обладают плохими физическими свойствами [Бугаков, Чупрова, 1995]. По данным Ю.П. Вередченко, содержание фракции крупнее 0,25 мм составляет только 8%. Распаханные почвы имеют плохую структуру, в верхней части профиля сильно уплотняются, отличаются слабовыраженной микроагрегатностью [Вередченко, 1961].

По мнению других исследователей, кислые почвы Красноярского края близки к аналогичным почвам Западно-Сибирской низменности, но последние менее плодородны в связи с их некоторой заболоченностью [Горшенин, 1954].

Для морфологической характеристики кислых почв рассмотрим описание трех разрезов.

Разрез 1. Заложен ГСАС "Абаканская" в 1972 г. в АО им. Щетинкина Ермаковского района на склоне небольшого вала. Почва – темно-серая слабоподзоленная мощная тяжелосуглинистая.

Ап – 0–23 см: черный, сырой, уплотненный, комковато-зернистый, тяжелосуглинистый. Переход по цвету.

А₁А₂ – 23–29 см: темно-серый, книзу слабо-буроватый оттенок, при подсыхании заметна кремнеземистая присыпка, сырой, уплотненный, комковато-зернистый, тяжелосуглинистый. Переход неровный, с глубокими затеками.

В₁ – 39–58 см: коричнево-бурый, сырой, плотный, ореховатый с глянцем, тяжелосуглинистый. Переход неровный с глубокими затеками.

В₂ – 58–94 см: коричневатобурый, влажный, плотный, крупноореховатый, глянцевый, тяжелосуглинистый.

ВС – 94–185 см: бурый, влажный, менее плотный, чем горизонт В₂, среднесуглинистый, ореховатость менее выражена. Вскипание с глубины 220–250 см.

Разрез 2. Заложен ГЦАС "Красноярский" в 1995 г. в колхозе "Победа" Пировского района на водоразделе между р. Белая (левый приток р. Кемь) и ее правым притоком р. Третья. Плоский увал, почти равнина, склон северной экспозиции со слабовыраженным микрорельефом. Разрез на ровной площадке, клевер второго года пользования. Почва – серая среднеподзоленная мощная глееватая тяжелосуглинистая на желтоватобурой делювиальной глине.

Ап 0–22 см: серый, сухой, уплотнен, комковато-порошистый, в верхней части мелкая плитчатость, тяжелый суглинок, обильные корни, переход постепенный.

А₁А₂ – 22–38 см: серый, свежий, комковато-зернистый, слабо уплотнен, редкопористый, много белесых пятен кремнезема, корней, переход постепенный.

А₂В – 38–48 см: от серого до буроватого книзу, слегка увлажнен, ореховато-зернистый с обильной присыпкой кремнезема по граням агрегатов, корней много, переход постепенный.

В₁ – 48–72 см: коричневый, в верхней части по граням SiO₂, увлажнен, плотный, мелкоореховатый с глянцем по граням агрегатов, корней много, переход постепенный.

В₂ – 72–95 см: пестрый на темно-буром общем фоне, много сизых и ржавых пятен, а также слабые гумусовые пятна, сырой, слегка уплотнен, непрочный ореховатый со слабым глянцем, слабая пористость, переход по линии вскипания.

Скд – 95 см: еще более пестрый, чем В₂, от оглеения, вязкий тяжелый суглинок, карбонаты в основном диффузно, редко в виде псевдомицелия, встречаются остатки корней деревьев.

Разрез 3. Заложен ГЦАС "Красноярский" в 1995 г. в АО "Чернореченское" Козульского района на водоразделе р. Черная и ее притоком. Широкий увал, простирающийся с запада на восток, пологий южный склон, середина. Значительные мелкие микроповышения и понижения. Разрез на ровной площадке, парневспаханный. Почва – серая сильнооподзоленная мощная тяжелосуглинистая на облессованном тяжелом суглинке.

Ап – 0–25 см: темно-серый, влажный после дождя, при подсыхании серый, плотноватый, комковато-зернистый, тяжелосуглинистый, много мелких корней, переход по линии вспашки.

А₁А₂ – 25–37 см: грязно-серый, влажный, при подсыхании выражена обильная кремнеземистая присыпка, плотноватый, комковато-мелкоореховатый с незначительным коричневым глянцем по граням, слабопорист, много мелких корней, переход заметный.

В₁ – 53–85 см: коричневый, слабо увлажнен, плотный, четко ореховатый с глянцем, в верхней части SiO₂ по граням агрегатов, редко мелкие поры и корешки, переход постепенный.

В₂ – 85–108 см: светло-коричневый, увлажнен, вязкий, плотноватый, непрочный крупноореховатый, мелкопористый, по граням угнетенные корни трав, встречаются остатки сгнивших корней деревьев, переход постепенный.

ВС – 108–150 см: бурый, влажный, плотноватый, легко разламывающиеся крупные орехи со слабыми коричневатыми потеками, редко крупные поры, остатки трав, переход по линии вскипания.

Ск – 150 см: желто-бурый облессованный тяжелый суглинок, влажный, уплотнен, слоистый, карбонаты диффузно и в форме псевдомицелия, встречаются охристые и сизые пятна оглеения, отдельные остатки корней деревьев, корни трав отсутствуют.

Характеристика кислых почв подробно исследована специалистами агрохимической службы края и рядом почвоведов [Верещенко, 1961] (табл. 1–4). Рассматриваемые почвы в целом характеризуются высокой гумусированностью A_p , малой мощностью гумусового горизонта, высокой (82–93%) степенью насыщенности основаниями.

Наибольшее содержание поглощенных оснований находится в перегнойно-аккумулятивном горизонте, а наименьшее – в элювиальном. В горизонте A_2 кислотность повышается, а затем ниже по профилю почв снова понижается. Содержание подвижного алюминия невысокое.

Отмечено накопление его в горизонте В. Серые лесные почвы несколько кислее, чем темно-серые лесные, при этом более кислым горизонтом является A_2 , где pH_{KCl} составляет 3,8–4,8. Темно-серые почвы в Минусинской впадине характеризуются более высоким содержанием гумуса в пахотном горизонте и более низким – подвижного фосфора и обменного калия. Содержание подвижного фосфора по профилю резко увеличивается и достигает максимума на глубине 170–180 см.

Дерново-подзолистые почвы в основном среднекислые, содержат 3,6–7,1% гумуса в горизонте A_1 и 3% в горизонте A_2 . Наблюдается резкое падение количества гумуса вниз по профилю почвы.

Гидролитическая кислотность почв под лесом и пашней примерно одинакова (3,3–4,7 мг-экв/100г), насыщенность оснований в обоих случаях равна 82–85%.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика темно-серых лесных почв (Ермаковский район, пашня, разрез 1)

Горизонт	Глубина образца, см	Гумус, %	Азот легко-гидролизуемый, мг/100 г	Подвижные		Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г	Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	pH _{KCl}	Степень насыщенности основаниями, мг-экв/100 г	Частицы размером менее 0,01 мм, %
				P ₂ O ₅	K ₂ O					
				мг/100 г						
Ап	0-20	11,0	4,5	2,1	5,6	57,9	10,8	4,7	75,4	48,8
A ₁ A ₂	28-31	6,7	3,4	4,2	6,8	45,3	10,9	4,6	72,5	51,7
B ₁	42-50	1,8	1,9	18,0	5,2	21,9	4,7	4,6	86,0	53,0
B ₂	60-70	0,9	2,4	36,8	7,2	19,0	2,3	4,8	93,9	48,9
BC	170-180	0,6	1,2	58,0	6,2	12,2	1,2	5,0	96,1	38,8

Таблица 2

Агрохимическая характеристика темно-серых лесных почв

Горизонт	Глубина образца, см	Гу- мус, %	Поглощенные основания, мг-экв/100 г		Гидролити- ческая кислотность, мг-экв/100 г	Обменные		рН _{KCL}	Частицы размером менее 0,01 мм, %
			Са	Mg		Н	Al		
Козульский район, 1995 г., пашня, разрез 3									
Ап	0-20	4,5	18,7	3,9	5,26	0,015	0,017	4,8	-
A ₁ A ₂	26-36	3,5	18,5	4,3	5,40	0,015	0,017	4,6	-
A ₂ B	40-50	1,3	17,3	4,6	4,23	0,025	0,063	4,5	-
B ₁	65-75	1,0	23,6	6,3	4,61	0,025	0,191	4,3	-
B ₂	90-100	0,7	25,2	5,4	3,13	0,032	0,029	4,6	-
BC	110-120	0,7	26,4	4,0	0,56	0	0	6,8	-
Пировский район, 1996 г., целина, разрез 8									
A ₁	1-15	5,7	19,1	4,4	7,28	0,032	0,029	4,8	-
A ₁ A ₂	30-40	2,4	16,4	4,4	6,69	0,032	0,144	4,3	-
A ₂ B	60-70	1,5	20,1	4,4	6,25	0,025	0,465	4,0	-
B ₁	80-90	0,7	24,0	6,1	3,82	0,032	0,073	4,4	-
B ₂	110-120	0,7	26,4	2,7	0,67	0	0	6,8	-
Пировский район, 1995 г., пашня, разрез 2									
Ап	0-10	3,8	22,4	1,6	6,81	0,015	0,081	4,5	59,6
Ап	10-20	4,2	20,5	1,7	6,97	0,015	0,066	4,6	46,7
A ₁ A ₂	25-35	3,1	20,6	3,0	7,28	0,025	0,120	4,4	49,0
A ₂ B	41-47	2,0	21,1	3,9	6,69	0,025	0,455	4,1	59,4
B ₁	50-65	1,0	27,8	2,9	4,59	0,025	0,127	4,4	63,6
B ₂	75-85	0,7	24,9	2,0	-	0	0	6,8	55,2
BC	100-110	0,9	25,4	5,2	-	-	0	6,7	66,4

Таблица 3

**Агрохимическая характеристика серых и темно-серых лесных почв зоны травяных лесов
[Вередченко, 1961]**

Глубина образца, см	Гу- мус, %	Азот об- щий, %	Подвиж- ные		Поглощен- ные		Гидро- лити- ческая кислот- ность, мг- экв/100г	Обменные		pH KCl	Степень насыщенно- сти основа- ниями, %
					основания, мг-экв/100г						
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg		H	Al		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Темно-серая лесная, пашня, разрез 41</i>											
0-20	9,3	0,51	7,5	8,0	30,7	7,2	6,3	0,09	0,10	5,2	86
20-30	6,5	0,32	10,0	8,0	26,0	6,3	8,0	0,07	0,02	4,8	80
40-45	2,6	0,21	10,0	8,0	25,3	4,6	6,4	0,09	0,11	4,4	82
60-65	1,3	0,21	12,5	9,6	25,3	4,2	4,5	0,15	0,34	4,2	87
80-85	1,1	-	10,0	8,0	25,8	5,0	4,0	0,09	0,12	4,3	88
110-120	0,9	-	5,0	4,8	33,5	5,5	3,7	0,07	0,02	4,6	91
150-160	0,8	-	5,0	4,8	28,7	5,5	3,4	0,06	0,02	4,7	91
<i>Темно-серая лесная, редколесье, разрез 42</i>											
2-8	10,9	-	15,0	21,0	34,9	5,9	7,6	0,13	0,11	4,8	85
10-15	5,7	-	10,0	18,0	19,6	4,2	8,3	0,13	0,36	3,8	74
20-30	4,2	-	5,0	15,0	18,7	5,4	9,0	0,11	0,19	4,0	73
44-45	2,0	-	12,5	15,0	23,1	4,2	5,4	0,10	0,12	4,1	84
70-80	1,2	-	2,5	10,3	28,9	7,2	4,0	0,13	0,13	4,1	90
110-120	0,6	-	2,5	9,2	29,0	6,8	2,9	0,08	0,07	4,6	92

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Темно-серая лесная, хвойный лес, разрез 29</i>											
2-13	11,8	0,30	5,3	17,4	30,0	6,8	5,5	-	-	4,4	87
14-24	3,7	0,10	1,8	1,8	13,7	3,9	4,8	-	-	3,8	79
30-40	1,4	0,10	-	-	25,2	7,2	4,1	-	-	3,7	89
50-60	1,4	0,10	-	-	31,1	8,1	2,8	-	-	4,1	95
60-70	1,4	-	-	-	30,7	8,0	1,2	-	-	4,4	97
80-90	1,1	-	-	-	32,6	8,0	0,6	-	-	4,8	88
125-135	0,5	-	-	-	35,2	8,9	0,5	-	-	5,3	99
150-165	0,4	-	-	-	36,6	12,6	0,5	-	-	5,4	99
<i>Серая лесная, пашня, разрез 27</i>											
0-20	4,4	0,18	10,0	33,4	22,3	3,9	4,5	0,03	0,04	5,0	85
35-45	1,7	0,06	17,5	40,0	22,0	3,5	5,5	0,06	0,20	4,8	82
70-80 160-180	-	-	-	-	-	-	-	0,03 0,04	0,01 Нет	5,3 6,4	-

Таблица 4

Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв [Вередченко, 1961]

Гори- зонт	Глуби- на образ- ца, см	Гумус, %	Азот общий, %	Подвижные		Поглощен- ные основания		Гидро- литиче- ская кислот- ность	Обменные		pH _{KCL}	Степень насы- щенно- сти ос- новани- ями, %
				P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg		H	AL		
				мг/100 г		мг-экв/100 г						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Сосновый лес, разрез 45												
A ₁	0-8	7,1	0,49	10,0	66,0	26,0	4,9	5,5	0,08	0,04	5,0	85
A ₂	12-20	3,3	0,24	15,0	9,4	11,8	2,8	2,9	0,04	0,04	4,5	83
A ₂ B	30-40	1,5	0,20	15,0	9,4	22,4	5,0	2,6	0,04	0,03	4,7	91
B ₁	50-60	1,3	0,18	15,0	-	25,5	5,0	2,4	0,04	0,02	4,6	92
B ₂	70-80	1,3	0,18	10,0	5,7	26,8	4,6	2,7	0,08	0,05	4,7	92
B ₂	100-110	1,0	-	25,0	4,2	-	-	0,6	Нет	-	6,0	-
C ₁	120-130	0,7	-	-	4,2	-	-	0,4	Нет	-	6,5	-
C1	130-140	0,7	-	-	-	-	-	0,4	-	-	6,8	-
C1	150-160	0,6	-	10,0	33,4	-	-	0,4	-	-	-	-
C1	170-180	0,6	-	17,5	40,0	-	-	0,4	-	-	6,7	-
C1	190-200	0,6	-	-	-	-	-	0,4	-	-	7,2	-

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Пашня, разрез 46</i>												
Ап	0-20	4,0	-	40,0	6,7	17,2	4,9	4,7	0,05	0,04	5,0	82
А ²	25-35	2,8	-	40,0	3,6	15,6	3,3	3,5	0,03	0,09	4,7	84
В	50-60	1,2	-	17,5	3,6	23,8	5,8	3,2	0,04	0,08	4,6	89
В	70-80	0,9	-	10,0	5,7	26,4	6,7	3,0	0,04	0,01	4,9	92
С	100-110	0,9	-	5,0	5,7	25,8	5,8	2,5	0,04	0,03	5,0	93
С	120-130	0,9	-	-	-	25,4	5,8	2,4	0,04	0,03	5,0	93
С	150-160	0,9	-	-	-	23,2	4,9	2,1	0,03	0,03	5,0	94
С	170-180	0,8	-	-	-	19,4	4,1	2,0	0,03	0,03	5,1	-
С	190-200	0,6	-	-	-	-	-	1,7	0,05	0,01	5,8	-
<i>Пашня, разрез 22 (сильнооглееная почва микропонижения)</i>												
Ап	0-20	3,6	0,14	50,0	21,0	17,0	3,1	3,3	0,04	Нет	4,9	86
А ₂ В ₂	25-30	1,5	0,04	50,0	15,8	14,3	2,7	3,1	0,03	Нет	4,6	85
В	40-50	1,1	0,04	50,0	19,5	20,3	3,5	-	0,04	0,02	5,3	-
ВС	90-100	0,9	-	-	-	-	-	-	0,04	0,02	5,6	-

Глава 2. ВОДНО-ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ КИСЛЫХ ПОЧВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Водно-температурный режим кислых почв в условиях Средней Сибири недостаточно изучен. Согласно данным [Вердченко, 1961], в зимний период они промерзают в среднем на 1,5–2,0 м, что зависит от мощности снежного покрова.

Нахождение почв в замерзшем состоянии продолжается до восьми месяцев. Под мерзлым горизонтом температура постепенно нарастает и на глубине 6 м достигает $+4^{\circ}\text{C}$. В течение летнего сезона температура на указанной глубине остается почти неизменной. Если период активных температур ($>10^{\circ}\text{C}$) отмечается в пахотном горизонте в течение 100 дней (июнь – первая половина сентября), то на глубине 60–75 см он равен 60–70 дням. Температура $+10^{\circ}\text{C}$ к августу достигает глубины 120 см, в конце августа наступает охлаждение верхнего горизонта почвы, а на глубине прогревание еще продолжается до октября. Промерзание пахотного горизонта наблюдается обычно в первой половине октября. Длительное сезонное промерзание почв оказывает существенное влияние и на водный режим кислых почв. Данный вопрос широко известен в агрономической литературе еще со времен П.А. Костычева [Костычев, 1933].

По данным И.С. Васильева и А.А. Роде, при помощи "мечения" почвенной влаги ионом хлора доказана возможность накопления влаги и передвижения ее в жидком виде в мерзлой зоне зимой [Васильев, Роде, 1982]. В Красноярской лесостепи, по данным П.С. Бугакова, Л.С. Шугалей, под влиянием температуры, которая возникает в почве при промерзании, происходит передвижение влаги к более холодному слою, в результате чего за зимний период увеличиваются ее запасы. Это зависит от многих причин, в том числе и от гранулометрического состава почв, продолжительности промерзания и т.д. Авторы, используя метод "мечения" почвенной влаги ионом хлора, установили, что передвижение влаги к мерзлому горизонту осуществляется в основном в жидком виде [Бугаков, Шугалей, 1968]. Исследования П.И. Серебрянской показали, что в черноземах Барабинской низменности накопление влаги в метровом слое в зимний период достигало 29 мм, а в лугово-болотной –

182 мм, то есть, чем ближе залегают грунтовые воды, тем сильнее выражена эта закономерность [Серебрянская, 1954]. Аналогичные результаты получены в Кулундинской лесостепи [Мосиенко, 1957], где на черноземах суглинистого гранулометрического состава с октября до марта в метровом мерзлом слое почвы ежегодно накапливалось до 28–73 мм.

По данным Б.В. Дерягина, М.К. Мельниковой, передвижение влаги зависит от гранулометрического состава, так как тяжелые почвы бывают больше увлажнены [Дерягин, Мельников, 1957]. Научные работы А.И. Тютюнова доказывают, что в процессе промерзания влага в почве может двигаться как к поверхности, так и вниз к слоям, имеющим отрицательную температуру. Автор с помощью водных вытяжек подтвердил, что передвижение влаги продолжается и в период замерзшего состояния почвы в виде пара и в жидкой форме. Следует отметить, что данный процесс оказывает существенное влияние на агрохимические показатели почв. Он указывает, что с передвижением влаги в почвенном профиле связана миграция обменных оснований (Ca, Mg). Этим объясняется слабое выщелачивание указанных катионов в торфяно-глеевых почвах [Тютюнов, 1951]. О том, что с передвижением влаги возможен подъем карбонатов из нижних горизонтов в верхние, есть данные исследователей [Фрид, Гребенников, 1999].

В связи с тем, что кислые почвы в Красноярском крае в замерзшем состоянии находятся около восьми месяцев, что существенно влияет на миграцию катионов кальция и магния, данный вопрос имеет большое значение. Об этом будет сказано ниже. Здесь же следует отметить, что не все кислые почвы могут иметь непромывной тип водного режима. Так, многолетние исследования И.А. Павленко показали, что промачивание дерново-подзолистых почв в Сумской области достигает 1,8–2 м. С увеличением глубины содержание влаги в почве уменьшается и практически остается неизменным в течение года. Таким образом, автор пришел к выводу, что указанные почвы имеют непромывной тип водного режима [Павленко, 1955].

Наблюдения Ю.П. Вередченко за водным режимом на кислых почвах в южно-таежном природном округе Красноярского края показали, что к 20 мая содержание влаги до глубины 120 см было равно 40% объема почвы, на глубине 3–4 м равнялось НВ

(наименьшей существенной влажности), в 5–7-метровом слое – 70% НВ. В целом увлажнение в метровом слое оставалось постоянным, за исключением верхнего полутораметрового слоя. За зимний период от 8 октября 1957 г. до 17 мая 1958 г. увлажнение всего почвенного профиля практически оставалось без изменения. В то же время в пахотном горизонте 17 мая следующего года отмечена прибавка влаги 35 мм, а в нижележащих горизонтах до глубины 2 м, наоборот, соответствующая ее убыль [Верещенко, 1961].

Следует отметить, что серые лесные почвы увлажнены сильнее, чем дерново-подзолистые, и поэтому они больше оглеены. Особенность дерново-подзолистых почв заключается в том, что они обладают меньшей водопроницаемостью, в результате чего происходит потеря влаги при поверхностном стоке талых и дождевых вод, поэтому в почву ее поступает несколько меньше, чем в серых лесных.

Характерно также то, что передвижение влаги происходит 7–8 месяцев к верхнему слою сезонного промерзания. Создавшийся избыток влаги в верхних горизонтах в весенний период сдерживается от стока вниз к мерзлым горизонтам, оттаивающим полностью только в первой половине июня, когда уже наступает интенсивное физическое испарение влаги и расход на транспирацию. Следовательно, рассматриваемые почвы имеют периодически непромывной тип водного режима. Более того, с восходящими потоками влаги, которые могут длиться 7–8 месяцев, возможен подъем обменных кальция и магния, в результате чего происходит естественное восстановление плодородия рассматриваемых почв. Согласно существующей классификации А.С. Фрида, А.М. Гребенникова, рассматриваемые дерново-подзолистые почвы можно отнести к относительно устойчивым, а темно-серые лесные к абсолютно устойчивым к деградации при кислотных воздействиях [Фрид, Гребенников, 1999].

Глава 3. АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КИСЛЫХ ПОЧВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Оптимальный уровень реакции почвенной среды для растений обуславливается многими факторами: наличием в почве ионов водорода, алюминия, физико-химическими свойствами почвы, содержанием в ней гумуса, поглощенных оснований, гранулометрическим составом почв и буферностью.

В каждом конкретном случае доминируют разные факторы, которые оказывают многостороннее воздействие на почву и растения. Поэтому методические подходы, принятые для определения необходимости известкования почв при одних условиях, часто бывают неприемлемы при других условиях. Это проявляется в отсутствии эффекта от известкования. С 1964 г. в крае было проведено несколько туров агрохимического обследования. Полевые работы выполнены по Методическим указаниям Минсельхозпрода РФ в масштабе 1:25000, аналитические – по принятым ГОСТ методам [Методические указания..., 1994].

Таблица 5

**Группировка кислых почв по степени кислотности, %
обследованной площади**

Сельско- хозяй- ствен- ные угодья	Обсле- дован- ная пло- щадь, тыс. га	pH _{KCl}					
		Силь- но- кислые (до 4,5)	Средне - кислые (4,6- 5,0)	Слабо- кислые (5,1-5,5)	Итого кис- лых почв	Близкие к нейтраль- ным (5,6-6,0)	Нейтрал ьные (>6,0)
Всего	3650,6	2,4	9,1	15,4	26,9	21,7	51,4
В том числе							
пашни	3137,5	2,5	10,3	17,3	30,1	24,1	45,8
сенокосов и пастбищ	512,9	2,4	1,7	3,8	7,9	6,7	85,4

Площадь элементарного участка, с которого отбирались образцы, составляла в среднем 10 га. Проведенные исследования показали, что в Красноярском крае обширную площадь

составляют кислые почвы. Среди них 943,2 тыс. га (30,1%) приходится на пашню, 40,5 тыс. га (7,9%) – на сенокосы и пастбища. Следует отметить, что на сенокосах и пастбищах агрохимическое обследование проводили выборочно, поэтому фактическая площадь кислых почв будет значительно больше. Из обследованной площади пашни сильнокислые почвы занимают 77,1 тыс. га (2,5%), среднекислые – 324,1 тыс. га (10,3%), а слабокислые – 542,0 тыс. га (17,3%) (табл. 5).

Рассматриваемые почвы наибольшее распространение имеют в Подтаежном природном округе, куда входят такие административные районы, как Бирилюсский, Большеулуйский, Енисейский, Пировский, Тюхтетский, Казачинский. В этом округе кислые почвы составляют 96,5% обследованной площади, в том числе сильнокислые занимают 21,1%, среднекислые – 56, слабокислые – 19,4% (табл. 6).

Таблица 6

**Степень кислотности пахотных почв по природным округам
Красноярского края, % обследованной площади**

Природный округ	Обследованная площадь, тыс. га	pH _{KCl}		Сумма площади с pH		
		Сильнокислые (до 4,5)	Среднекислые (4,6-5,0)	Слабокислые (5,1-5,5)	до 5,0	до 5,5
Подтаежный	303,8	21,1	56,0	19,4	77,1	96,5
Канский	1022,5	0,2	2,6	12,4	2,8	15,2
Красноярский	330,2	1,4	12,4	22,2	13,8	36,0
Ачинско-Боготольский	161,0	0,6	19,3	49,1	19,9	69,0
Чулымско-Енисейский	782,0	0,1	2,6	20,6	2,7	23,3
Минусинский (правобережье)	538,0	0,7	6,5	9,9	7,2	17,1
По краю	3137,5	2,5	10,3	17,3	12,8	30,1

Исследуемые почвы других природных округов характеризуются в основном слабокислой реакцией. Здесь преобладают серые и темно-серые лесные почвы, которые имеют более благоприятную агрохимическую характеристику. В Ачинско-Боготольском природном округе на их долю приходится 69% обследованной площади, в том числе 19,3% на среднекислые и 49,1% на слабокислые.

В Канском природном округе из обследованных 1022,5 тыс. га кислые почвы составляют 15,2%, слабокислые – 12,4%. В Минусинской котловине (правобережье) кислых почв насчитывается 17,1%, в том числе слабокислых 9,9%, в Чулымо-Енисейском округе соответственно 23,3% из обследованных 782 тыс. га, большинство (20,6%) из которых также слабокислые (см. табл. 6).

Агрохимическое картирование выявило провинциальные особенности кислых почв края, отличающие их от своих европейских аналогов, а именно: высокое содержание гумуса, обменных оснований, низкое содержание подвижного алюминия.

Таблица 7

Группировка кислых почв по степени кислотности по районам, % обследованной площади

Район	Обследованная площадь, тыс. га	рН _{KCl}				
		Сильнокислые (до 4,5)	Среднекислые (4,6-5,0)	Слабокислые (5,1-5,5)	Близкие к нейтральным (5,6-6,0)	Нейтральные (> 6,0)
Большеулуйский	53,9	4,6	56,4	34,3	3,9	0,8
Бирилюсский	46,4	18,5	57,7	21,0	2,7	0,1
Козульский	35,0	2,2	72,0	24,9	0,8	0,1
Казачинский	48,2	15,0	53,0	21,2	7,8	3,0
Тюхтетский	48,1	32,4	47,9	17,5	1,9	0,3
Пировский	43,1	25,4	74,1	0,5	-	-
Енисейский	29,1	61,4	24,2	9,6	1,9	2,9
Всего	303,8	20,9	56,0	19,3	2,9	0,9

Для изучения агрохимических свойств исследуемых почв произведена выборка результатов анализов почвенных образцов, отобранных при агрохимическом обследовании в зоне Подтаежного природного округа, который является единственным округом, где кислые почвы имеют сплошное распространение и характеризуются разной степенью кислотности (табл. 7).

Как видно из данных, приведенных в таблице 7, в Пировском районе сильно- и среднекислые почвы составляют 99,5%, в Казачинском – 68, в Тюхтетском – 80,3%.

Поскольку кислые почвы других природных округов характеризуются в основном слабокислой реакцией, поэтому объектом исследований является именно данный природный округ.

Говоря об общем комплексе отрицательных свойств, вызванных повышенной кислотностью, необходимо отметить, что в них сказывается значительная роль подвижного алюминия. Для чувствительных к кислотности культур отрицательное влияние отмечали при его содержании до 0,95 мг-экв/100г, для менее чувствительных – до 0,4 мг-экв/100г почвы. По данным Д.Л. Аскинази, при содержании подвижного алюминия до 0,2 мг-экв/100 г почвы клевер нормально развивается, при 0,3–0,4 мг-экв/100 г начинается его угнетение. При содержании 0,6–0,8 мг-экв/100 г этот процесс проявляется в сильной степени, в результате чего содержание клевера в травосмеси резко снижается [Аскинази, 1975].

Валовое содержание алюминия в почве достигает 10–12% и более, после кремнекислоты он занимает первое место. Большая часть алюминия находится в нерастворимом в воде состоянии. В таком виде он не приносит растениям вреда. Однако на кислых почвах часть алюминия находится в подвижной форме, которая оказывает отрицательное влияние на урожай и качество сельскохозяйственных культур. При этом одни растения без вреда переносят повышенные концентрации подвижного алюминия, а другие погибают [Авдонин, 1971] (табл. 8).

Таблица 8

**Критические пределы содержания подвижного алюминия
в почве для растений [Авдонин, 1971]**

Культура	Количество подвижного алюминия, снижающего урожай, мг-экв/100 г	
	на 20-50%	на 50-100%
Овес	1,22-1,56	1,67-2,00
Кукуруза	0,78-0,89	0,89-1,11
Ячмень	0,78-0,89	0,89-1,11
Кормовые бобы	0,78-0,89	0,89-1,11
Клевер красный	0,56-0,67	0,78-0,89
Люцерна	0,44-0,56	0,56-0,67

По данным А.Н. Небольсина, не существует определенной зависимости между гранулометрическим составом и содержанием подвижных форм алюминия. В основном оно определяется условиями перехода его в подвижное состояние и, прежде всего, кислотностью почв – чем кислее почва, тем больше в ней подвижных форм алюминия. Кроме того, содержание подвижного алюминия зависит от содержания органического вещества и подвижного фосфора [Небольсин, 1997]. Опытами ученого установлено, что при низком содержании алюминия в почве даже такая чувствительная к кислотности культура, как гречиха, хорошо произрастает при pH 4,5–4,7, а на почвах с повышенным содержанием алюминия нормальное развитие гречихи возможно при pH 5,2–5,5; подвижный алюминий почти полностью переходит в нерастворимое состояние. Токсичное действие его сильно проявляется обычно на малогумусных почвах, обладающих слабой буферностью (табл. 9) [Небольсин, 1977].

Защитное действие органического вещества при кислой реакции А.Н. Небольсин объясняет тем, что органические кислоты образуют с металлами (в том числе с алюминием) комплексные соединения, малотоксичные для растений. По данным таблицы 9, при уровне гумуса 1–2% снижение урожая клевера до 50% происходит при содержании подвижного алюминия 2–5 мг/100 г, а при наличии 5–6% гумуса – только при содержании 10–15 мг/100 г.

Таблица 9

**Ориентировочные уровни содержания подвижного алюминия
(мг/100 г почвы), снижающие урожай клевера красного и гречихи
на дерново-подзолистых почвах [Небольсин, 1977]**

Содержание гумуса, %	Снижение урожая, %			
	на 25	на 50	на 25	на 50
<1	0,5-1,5	1,0-3,0	0,4-1,0	
1-2	1,0-2,5	2,0-5,0	0,6-1,3	1,3-1,7
2-3	2,0-3,0	5,0-9,0	1,0-1,5	1,5-3,5
3-4	2,5-4,0	7,0-12,0	1,5-2,0	2,5-4,0
4-5	3,0-4,5	10,0-15,0	1,7-2,5	3,0-4,5
5-6	4,0-5,0	10,0-15,0	2,5	4,0

Следует отметить особую роль фосфорных удобрений в отношении подвижного алюминия, которые могут связывать катионы алюминия в малорастворимое соединение – фосфаты алюминия. Так, общеизвестно, что внесение повышенных доз фосфорных удобрений на кислых почвах резко снижает подвижность алюминия в почве и уменьшает его токсичность для растений [Аскинази, 1999; Гарднер, 1954 и др.]. В отношении роли алюминия в жизнедеятельности растений нет единого мнения. Одни считают, что он является стимулятором роста растений [Диви, 1972], по мнению других, подвижный алюминий нужен для растений в очень малых количествах [Ганжа, 1941]. Есть предположение, что алюминий необходим одним растениям, а другим он совершенно не нужен [Костычев, 1933].

По данным А.Н. Небольсина, сельскохозяйственные культуры различаются по чувствительности к подвижному алюминию в почвах. Однако даже на одной культуре в зависимости от почвенных условий токсичность проявляется по-разному [Небольсин, Небольсина, 1997]. Например, на почвах с низким содержанием гумуса токсичность алюминия проявляется сильнее, чем на почвах с более высоким его содержанием. Переход алюминия в нерастворимые соединения (гидроксид алюминия $Al(OH)_3$, органоминеральные соединения алюминия малой подвижности) происходит в почвах с различным количеством гумуса при следующих реакциях среды (табл. 10).

Реакции дерново-подзолистых почв, при которых происходит переход алюминия в нерастворимые соединения

Содержание гумуса, %	pH _{KCl} полного осаднения алюминия
2-3	4,86
3-4	4,83
4-5	4,78
Более 5	4,70

Таким образом, на почвах с нормальным увлажнением, не содержащих избытка марганца и железа, для большинства сельскохозяйственных культур при получении урожаев достаточно иметь реакцию почвенного раствора pH_{KCl} 4,8–5,0 [Небольсин, Небольсина, 1997].

Больше всего отрицательное влияние подвижного алюминия в повышенных концентрациях изучено на сильноокислых почвах. Особенно это проявляется в начальные фазы роста растений. Отрицательное действие избыточного содержания данного элемента в первую очередь сказывается на корнях. При этом первичные корни прекращают рост в длину и разбухают, кончики становятся хрупкими и морщинистыми. Общая масса, длина и опушенность корневых волосков резко уменьшается, активная поверхность резко снижается [Климашевский, Чернышева, 1980].

Исследования, проведенные ГЦАС "Красноярский", показали, что содержание подвижного алюминия в кислых почвах Средней Сибири низкое. Например, в отдельных образцах дерново-подзолистых почв Козульского района оно достигает до 0,1 мг-экв/100 г почвы. В аналогичных почвах Енисейского района достигает 0,12, а в Ачинско-Боготольском природном округе в большинстве почвенных образцов подвижный алюминий вообще не обнаружен. То же самое показывают данные Ю.П. Вередченко, полученные в Казачинском районе (Подтаежный природный округ) на дерново-подзолистых почвах Казачинской опытной станции: по четырем разрезам по всему профилю содержание указанного токсиканта колеблется от 0,04 до 0,09 мг-экв/100 г почвы [Вередченко, 1961].

Для сравнения содержания подвижного алюминия приведем количество подвижного алюминия в дерново-подзолистых почвах северо-запада России при различном содержании гумуса и pH_{KCl} (табл. 11).

Таблица 11

Содержание подвижного алюминия в дерново-подзолистых почвах с разными уровнями реакции среды и количество гумуса (мг-экв/100 г) [Небольсин, 1997]

Содержание гумуса, %	рН _{KCl}					
	4,3-4,5	4,5-4,7	4,7-4,9	4,9-5,1	5,1-5,3	5,3-5,5
2-3	$\frac{0,12-0,91}{0,44}$	$\frac{0,06-0,73}{0,34}$	$\frac{0,07-0,54}{0,24}$	$\frac{0,07-0,21}{0,13}$	$\frac{0,07-0,09}{0,08}$	Следы
3-4	$\frac{0,10-1,00}{0,61}$	$\frac{0,10-0,55}{0,34}$	$\frac{0,08-0,44}{0,27}$	$\frac{0,24-0,25}{0,24}$	$\frac{0,06-0,10}{0,08}$	Следы
4-5	$\frac{0,22-1,09}{0,63}$	$\frac{0,19-0,57}{0,39}$	$\frac{0,11-0,23}{0,17}$	$\frac{0,13-0,30}{0,21}$	-	Следы
5-6	$\frac{0,28-1,22}{0,79}$	$\frac{0,33-0,47}{0,41}$	$\frac{0,23-0,36}{0,24}$	-	-	Следы

Примечание: в числителе – пределы колебаний; в знаменателе – средние значения.

Сопоставляя приведенные данные с результатами наших исследований, следует отметить, что на кислых почвах Средней Сибири содержание подвижного алюминия почти на порядок ниже. Так, на дерново-подзолистых почвах Козульского района при рН 4,4 и количестве гумуса 4,7% содержание его достигает 0,079 мг-экв/100 г (табл. 12). А по данным таблицы 11 при содержании гумуса 4–5% и рН 4,3–4,5 уровень подвижного алюминия достигает 0,63 мг-экв/100 г. Это означает, что с уменьшением кислотности содержание подвижного алюминия снижается.

Нами были проведены специальные исследования на ранее намеченных участках. Исследуемые почвы (см. табл. 12) по степени кислотности (согласно принятой классификации) относятся в основном к средне- и сильно нуждающимся в известковании. Обменная кислотность, определенная в 1н KCl-вытяжке как на дерново-подзолистых, так и на серых лесных почвах, обусловлена наличием подвижного алюминия, участие водорода в формировании обменной кислотности мизерное. Отрицательное влияние в почвах обменного водорода проявляется, главным образом, на очень кислых торфяных почвах с рН_{KCl} при низком содержании обменного кальция. На дерново-подзолистых почвах токсичность катионов водорода проявляется редко [Небольсин, Небольсина, 1997].

Таблица 12

Агрохимическая характеристика кислых почв Красноярского края

Район, хозяйство	Пределы колебания	Кол- во об- образ- цов	рН _{KCl}	Гумус, %	Обменные ос- нования, мг-экв/100 г		Гидроли- тическая кислот- ность, мг- экв/100 г	Обменная кислот- ность, мг- экв/100 г	Обменный алюминий (KCl), мг- экв/100 г
					Ca	Mg			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые</i>									
Ачинский	Колебания	50	4,5-5,1	4,1-7,8	-	-	4,0-9,6	0-0,031	0-0,02
	Среднее	-	4,9	5,8	-	-	7,1	0,009	0,007
Козульский, АО «Лазурное»	Колебания	81	4,1-4,8	3,3-8,0	11,0- 20,5	2,5- 9,1	6,1-12,0	0,015-0,301	0,015- 0,262
	Среднее	-	4,4	4,7	15,2	3,6	9,0	0,091	0,079
Козульский, АО «Лазурное» (окультуренные)	Колебания	16	5,6-6,6	9,4- 11,1	15,3- 19,6	5,8- 7,4	1,6-5,0	0-0,044	0-0,022
	Среднее	-	6,1	10,1	17,7	6,5	3,0	0,024	0,012
<i>Дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые</i>									
Тюхтетский, АО «Зареченское», участок 1	Колебания	17	4,4-5,1	2,2-2,9	3,7-8,6	1,0- 1,3	2,9-4,40	0,021- 0,0194	0,002- 0,185
	Среднее	-	4,6	2,6	5,0	1,2	3,7	0,064	0,040
Тюхтетский, АО «Зареченское», участок 2	Колебания	24	4,3-5,0	3,1-3,8	7,2-16,8	1,5- 2,2	3,4-6,5	0,008-0,438	0,007- 0,438
	Среднее	-	4,5	3,4	10,0	1,9	4,9	0,106	0,098

Окончание табл. 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Серые лесные тяжелосуглинистые</i>									
Манский	Колебания	55	4,4-4,7	2,2-10,3	-	-	3,6-12,0	0,018-0,056	-
	Среднее	-	4,5	4,9	-	-	7,6	0,035	-
Пировский	Колебания	56	4,2-5,0	2,7-7,5	16,7-23,4	3,5-5,0	4,2-8,3	0,027-0,245	0,023-0,300
	Среднее	-	4,5	4,3	17,3	4,1	6,4	0,087	0,053
Тюхтетский	Колебания	27	4,1-5,0	3,3-6,7	12,0-19,8	2,2-4,2	3,0-8,5	0,030-0,074	0,26-0,065
	Среднее	-	4,9	4,8	16,4	3,3	5,2	0,055	0,023
<i>Темно-серые лесные оподзоленные тяжелосуглинистые</i>									
Больше-улуйский, колхоз им. Ленина	Колебания	15	4,8-5,3	5,8-9,0	23,8-32,0	3,1-4,0	6,0-8,1	0,074-0,088	0,013-0,032
	Среднее	-	5,0	6,9	28,3	3,7	7,3	-	0,022
Ермаковский	Колебания	55	4,5-5,0	4,0-11,0	13,7-20,7	4,1-6,5	5,7-15,2	0,038-0,082	0,005-0,58
	Среднее	-	4,7	8,7	17,6	5,4	11,1	0,055	0,030
Казачинский	Колебания	14	4,5-5,1	4,6-7,6	19,6-21,2	4,4-4,6	5,7-10,1	0,013-0,028	-
	Среднее	-	4,8	5,8	20,6	20,6	8,1	0,019	-

В исследуемых почвах содержание обменной кислотности низкое и не превышает 0,091 мг-экв/100 г, количество подвижного алюминия составляет 0,079 мг-экв/100 г, что является одной из заметных особенностей кислых почв Средней Сибири.

Исследуемые почвы также характеризуются повышенным содержанием гумуса, тяжелым гранулометрическим составом, высокой гидролитической кислотностью.

В литературе существует мнение, что об обменной кислотности можно иметь представление на основе определения pH_{KCl} : чем больше подкисляется исходный раствор KCl при взаимодействии с почвой, тем больше обменная кислотность. Однако следует заметить, что на кислых почвах Средней Сибири нет эквивалентности между pH , обменной кислотностью и содержанием подвижного алюминия. Так, в дерново-подзолистых почвах Козульского района pH составляет 4,4. Такие почвы сильно нуждаются в известковании. В то же время при содержании подвижного алюминия (0,79 мг-экв/100 г почвы) такой необходимости нет.

По данным П.А. Барсукова и других, для определения потребности в известковании достаточно учитывать один показатель pH для почв легкого гранулометрического состава. Однако это может быть приемлемо только для почв такого же состава с крайне низким (1,5%) содержанием гумуса, суммой обменных оснований 3,6 мг-экв/100 г почвы [Барсуков, Макарикова, 1999].

По приведенным данным содержание обменной кислотности достигает 0,61–0,75 мг-экв/100 г, подвижного алюминия – 0,52–0,68 мг-экв/100 г. Согласно вышесказанному, pH не может быть единственным показателем степени нуждаемости почв в известковании, необходимо учитывать и другие факторы. По этому поводу А.Н. Небольсин в своей работе пишет: "Оптимальный уровень реакции почвы – это интегрирующий показатель, обобщающий влияние биологических и сортовых особенностей культур и других факторов, из которых наиболее значимы содержание подвижных форм фитотоксичных катионов: водорода, алюминия, марганца, железа, содержание гумуса, фосфора и калия, гранулометрический состав почв. Показатель pH необходимо рассматривать как комплекс факторов" [Небольсин, Небольсина, 1997].

Проведенные исследования показали, что наибольшее колебание подвижного алюминия наблюдается на легких почвах Тюхтетского района (участки 1,2), которые также отличаются низким содержанием обменных оснований кальция и магния, почти в 2 раза меньшим, чем в обычных почвах (см. табл. 12). Однако таких почв в Красноярском крае встречается очень мало, хотя в отдельных хозяйствах они имеются (табл.13).

Таблица 13

**Группировка кислых почв по гранулометрическому составу, %
обследованной площади**

Район	Хозяйство	Обсле- дован- ная пло- щадь, тыс. га	Содержание физической глины, %				
			20-30, сугли- нок легкий	30-40, сугли- гли- нок сред- ний	40-50, сугли- нок тя- желый	50-65, глина легкая	65-80, глина сред- няя
Ачинский	ТО «Ивченко»	7,50	-	1,6	16,7	59,9	21,8
Боготоль- ский	АО «Каштанов- ское»	12,06	-	5,3	50,4	44,3	-
Козуль- ский	АО «Лазур- ное»	7,90	-	3,3	24,8	81,9	-
Больше- улуйский	ТО «Сибирь»	7,83	-	-	81,7	18,3	-
Пиров- ский	Колхоз им. Калинина	10,16	-	-	-	68,8	31,2
Тюхте- тский	АО «Заре- ченское»	10,91	-	37,0	58,5	4,5	-
Казачин- ский	ТО «Новая жизнь»	3,98	-	47,2	52,8	-	-

Например, в АО "Зареченское" Тюхтетского района они занимают 37%, а в ТО "Новая жизнь" Казачинского – 47,2%.

Исследования показали, что на сильнокислых почвах Средней Сибири резкое повышение плодородия возможно за счет

систематического внесения навоза. Применение его известно с давних времен. Особенно велика роль навоза на кислых дерново-подзолистых почвах. Как видно из таблицы 12, содержание гумуса в образцах, отобранных на участках при систематическом внесении навоза, достигает 10,1%, а без его внесения – 4,7%, pH_{KCl} соответственно 6,1 и 4,4. Таким образом, применение органических удобрений на кислых почвах Средней Сибири является одним из важнейших мероприятий.

Содержание гумуса. Отрицательное влияние подвижного алюминия в почве во многом зависит от содержания гумуса в почве. Сложность взаимосвязи между содержанием алюминия и гумуса в почве заключается в том, что, с одной стороны, высоко- и низкомолекулярные органические кислоты разлагают алюмосиликаты, повышая содержание подвижного алюминия в почвах с сильнокислой реакцией среды, с другой – подвижный алюминий переходит в малотоксичное для растений соединение [Небольсин, Небольсина, 1997].

Результаты агрохимического обследования свидетельствуют о том, что пахотные почвы Красноярского края в разных природных округах имеют неодинаковое содержание гумуса. Самое высокое накопление его характерно для пашни Чулымо-Енисейского природного округа, где широко распространены черноземные почвы. Здесь средневзвешенное количество гумуса в пахотном слое составляет 8,9%, тогда как в Ачинско-Боготольском – 7,6%. Причем в первом из них почвы с содержанием гумуса более 8,5% доминируют, на них приходится 73,2% всей пашни, а во втором – только 44,5%. Средневзвешенное содержание гумуса по краю составляет 6,5%.

Наиболее обеднены гумусом кислые почвы Подтаежного природного округа. Они имеют разное содержание гумуса, однако преобладают с содержанием 4–6%, средневзвешенное количество составляет 5,2% (табл. 14). Это значительно выше, чем в почвах европейской части России и является второй важной особенностью кислых почв Красноярского края.

Таблица 14

Группировка кислых почв по содержанию гумуса

Район	Обследованная площадь, тыс. га	Содержание гумуса, %						
		<2,0	2,1-4,0	4,1-6,0	6,1-8,0	8,1-10,0	>10,0	Средне- взвешенное
Больше- улуйский	53,9		5,3	41,9	30,0	15,4	7,4	6,5
Бирилюсский	46,4	-	10,7	63,0	21,7	4,1	0,5	5,5
Козульский	35,0	0,6	15,0	55,9	23,4	4,8	0,3	5,4
Енисейский	29,1	1,0	44,4	44,1	7,0	2,2	1,3	4,4
Казачинский	48,2	-	16,7	59,6	21,8	1,9	-	5,1
Тюхтетский	48,1	0,8	25,9	43,4	21,3	7,7	0,9	5,5
Пировский	43,1	-	43,6	54,9	0,8	0,7	-	4,1
Всего	303,8	0,3	21,5	51,9	18,9	5,7	1,7	5,2

Сумма поглощенных оснований. В происхождении почвенной кислотности особую роль играет углекислота и органические кислоты – продукты биологических процессов. Водород на поверхности коллоидных частиц со временем может быть замещен алюминием [Возбуцкая, 1964].

Высокую эффективность известкования следует ожидать, прежде всего, на почвах, обедненных основаниями, где почвообразующие породы содержат мало кальция и магния, или там, где подзолообразовательный процесс хорошо развит, выщелачивание катионов происходит достаточно полно.

Общеизвестно, что почвы с повышенной кислотностью имеют плохие физико-химические и физические свойства. Их коллоидная часть бедна кальцием, магнием, но содержит высокой концентрации водород, подвижный алюминий, марганец, железо. Под влиянием атмосферных осадков в результате бессистемного применения удобрений пахотный и корнеобитаемый слой почв обедняется кальцием и магнием. Почвенный поглощающий комплекс постепенно разрушается, ухудшается структура почвы.

Установлено, что в условиях влажного климата главный источник потерь кальция из пахотных почв – миграция его при промывании почв атмосферными осадками [Шильников, 1983]. Из поглощенных оснований и водорастворимых солей кальция при промывном режиме увлажнения подвержен сильной миграции. Этому способствует кислая реакция среды и вынос его с урожаем. Устойчив к миграции с промывными водами обменный кальций, который находится в равновесии с кальцием почвенного раствора.

В последнее время почти везде отмечается процесс обеднения почв кальцием, но он имеет различное количественное выражение и поэтому неодинаково отражается на плодородии. Известно, что потери кальция из пахотных почв 1,4 раза выше, чем на лугах и пастбищах.

В настоящее время проведено значительное число исследований, в которых изучены основные факторы, влияющие на потери кальция с фильтрующими атмосферными осадками. Среди них большое значение имеет степень насыщенности поглощающего комплекса почв кальцием и магнием и наличие

свободных карбонатов. Например, в лизиметрическом опыте из пахотного слоя известкованной почвы с высокой степенью насыщенности основаниями потери кальция были в 4 раза выше, чем из почвы с низкой степенью насыщенности основаниями.

Результаты лизиметрического опыта, проведенного в Германии с различными по механическому составу почвами, показали, что потери кальция из глинистой почвы значительно превосходили потери этого элемента из песчаной почвы.

Под влиянием длительного применения минеральных удобрений, включающих аммонийные формы азота, хлориды калия, суперфосфат, наряду с накоплением доступных для растений форм фосфора и калия происходят существенные изменения в составе почвенного поглощающего комплекса.

По данным Н.С. Авдониной, внесение азотных удобрений на кислых почвах увеличивало обменную и гидролитическую кислотность. Наибольшее подкисление почвы наблюдалось при совместном использовании азотных и калийных удобрений [Авдонин 1969].

Фосфорные удобрения (суперфосфат), внесенные отдельно, существенного влияния на кислотность почвы не оказывали, но суперфосфат, внесенный на фоне азотно-калийных удобрений, несколько снижал гидролитическую кислотность. Азотно-калийные удобрения значительно повышали содержание подвижных форм алюминия и марганца, азотные удобрения снижали сумму поглощенных оснований, которая значительно уменьшалась при внесении азотно-калийных удобрений.

Таким образом, автор делает вывод о том, что азотно-калийные удобрения ухудшают агрохимические показатели почв. Применение суперфосфата, наоборот, способствует увеличению суммы поглощенных оснований, а при совместном внесении его с азотно-калийными удобрениями наблюдается значительное снижение подвижного алюминия. Автор объясняет это образованием фосфатов алюминия, которые выпадают в осадок.

Применение навоза резко повышало сумму поглощенных оснований и содержание питательных веществ, в результате чего отпадала необходимость известкования. Длительные (15 лет) стационарные опыты Н.И. Арнаутовой показали, что при систематическом внесении азотных удобрений рН и сумма поглощенных оснований уменьшаются. В.И. Никитишен в 5-летнем стационарном опыте наблюдал снижение рН и возрастание гидролитической кислотности [Арнаутова, 1974; Никитишен, 1984].

По данным В.Г. Мальцева, за 25-летний период его стационарных опытов при внесении как одних азотных удобрений в дозе 60 кг/га, так и в сочетании с фосфорными и калийными, подкисление и ухудшение агрохимических свойств при систематическом использовании минеральных удобрений не произошло. Автор это связывает с высокой буферностью данных почв. Внесение органических удобрений как в отдельности, так и совместно с минеральными, увеличивало лишь плодородие почв [Мальцев, Мошкарёв, 2000].

Снижение почвенной кислотности и повышение плодородия кислых почв могут быть достигнуты и без известкования путем внесения навоза и других органических удобрений. Об этом свидетельствуют и наши данные (см. табл. 12). Однако необходимо отметить, что влияние заправки соломы, применение сидератов в условиях как Средней Сибири, так и Восточной, не изучено. Влияние длительного систематического применения минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистых почв в Средней Сибири подробно рассматривается в следующем разделе. Здесь же следует отметить, что кислые почвы в Средней Сибири отличаются высокой и очень высокой суммой поглощенных оснований (табл. 15).

Согласно существующим грациям, 91,3% площадей (см. табл. 15) характеризуются высоким и очень высоким содержанием суммы поглощенных оснований. Высокое ее содержание в изучаемых почвах наблюдали Е.В. Семина, А.А. Ерохина, М.В. Кириллов. К примеру, Ю.П. Вередченко отмечал, что при хорошо выраженном подзолистом горизонте и низких значениях рН исследуемые почвы имеют довольно высокое содержание обменных кальция и магния. Причину этого можно объяс-

нить тремя основными факторами: карбонатностью почвообразующих пород, особенностью водного режима почв и коротким вегетационным периодом. Как известно, данные почвы сформировались на карбонатных почвообразующих породах [Семина, 1962; Ерохина, Кириллов, 1962; Вередченко, 1961].

Таблица 15

Группировка кислых почв по сумме поглощенных оснований, % обследованной площади

Район	Обследованная площадь, тыс. га	Содержание поглощенных оснований, мг-экв/100 г почвы				
		Низкое (5-10)	Среднее (10-15)	Повышенное (15-20)	Высокое (20-30)	Очень высокое (>30)
Большеулуйский	53,9	-	1,3	2,9	35,9	59,9
Бирюлюсский	46,4	-	0,5	7,6	64,3	27,6
Козульский	35,0	-	2,8	5,4	50,3	41,5
Казачинский	48,2	-	-	4,0	43,8	52,2
Тюхтетский	48,1	-	12,8	8,7	37,0	41,5
Пировский	43,1	-	1,4	5,0	81,4	12,2
Всего	274,1	-	3,2	5,5	51,3	40,0

При промерзании почв вместе с жидкой фазой почвенной влаги происходит передвижение Са и Mg в верхние горизонты, что значительно опережает вымывание. Кроме того, теплый период, когда возможно вымывание катионов, в Средней Сибири довольно короткий, всего 4–5 месяцев. К.А. Уфимцева высокое содержание поглощенных оснований объясняет континентальностью климата, более коротким безморозным периодом, а также большой биологической аккумуляцией. Она считает, что в западных районах в связи с продолжительным вегетационным периодом процесс подзолообразования интенсивнее вы-

ражен даже на почвах, сформированных на карбонатных почвообразующих породах, в восточных регионах дерново-подзолистые почвы характеризуются большей насыщенностью и высоким содержанием суммы обменных оснований [Уфимцева, 1955].

По данным Д.Л. Аскинази, при характеристике почв по их кислотности имеет значение глубина залегания в них карбонатов – при глубине 100–125 см почвы следует рассматривать как менее кислые, чем почвы с более глубоким залеганием. Почвообразующие породы Красноярского края карбонатные, они залегают на разных глубинах. На пашне вскипание от соляной кислоты наблюдается иногда на глубине до 2 м в связи с более сильным промыванием. Под целиной и лесом почвы вскипают на глубине 1,2–1,5 м [Аскинази, 1999].

Для сравнения приведем содержание обменного кальция и магния в дерново-подзолистых пахотных почвах северо-западной зоны (табл. 16). Как видно из данных таблицы 16, содержание обменных кальция и магния на среднесуглинистых почвах составляет в среднем 4,2–6,0 мг-экв/100 г, а на тяжело-суглинистых – 7,8–9,4 мг-экв/100 г. На сильнокислых почвах обменных форм уровень кальция и магния значительно ниже, чем при pH 4,8–5,0.

Сопоставляя приведенные данные с результатами наших исследований (см. табл. 12), следует отметить, что сумма обменных оснований (Ca и Mg) в изучаемых почвах достигает более 20 мг-экв/100 г почвы, наименьшее содержание обменных оснований наблюдалось в кислых почвах более легкого гранулометрического состава (Тюхтетский район). Однако такие почвы здесь встречаются очень редко.

Таблица 16

Содержание обменных кальция и магния в сильно- и среднекислых дерново-подзолистых пахотных почвах северо-запада России, мг-экв/100 г почвы [Небольсин, Небольсина, 1997]

Гранулометрический состав	Пределы колебания	pH _{KCl}			
		4,2-4,4	4,4-4,6	4,6-4,8	4,8-5,0
Супесчаные	Колебания	1,0-4,6	1,2-5,6	1,4-7,0	2,1-6,8
	Среднее	2,1	2,6	2,9	4,1
Легкосуглинистые	Колебания	1,2-6,4	1,1-5,2	1,5-7,6	1,9-7,1
	Среднее	3,1	3,2	3,6	5,1
Среднесуглинистые	Колебания	1,9-6,5	2,1-8,3	3,8-7,4	4,4-7,4
	Среднее	4,2	4,6	5,8	6,0
Тяжелосуглинистые	Колебания	-	2,1-11,3	3,5-10,0	2,0-15,3
	Среднее	-	7,8	7,8	9,4

На основе обобщения результатов установлено, что наиболее требовательны к кислотности клевер луговой, капуста. А.Н. Небольсиным были определены оптимальные уровни содержания обменных оснований кальция и магния в дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах не менее 3 мг-экв/100 г почвы, в легкосуглинистых и глинистых – не менее 6 мг-экв/100 г почвы [Небольсин, 1983]. Таким образом, сопоставляя исследуемые кислые почвы с приведенными данными, необходимо отметить, что они характеризуются высоким и очень высоким содержанием обменных кальция и магния. Это третья важная особенность данных почв.

В настоящее время степень нуждаемости почв в известковании определяется следующим образом: при pH менее 4,5 – сильная, 4,5–5,0 – средняя, 5,1–5,5 – слабая, выше 5,5 – почвы в известковании не нуждаются. Однако pH, как нами было отмечено выше, является интегрирующим показателем, охватывающим комплекс факторов.

Оптимизация известкования почв рассматривается из двух самостоятельных задач: установление степени нуждаемости в известковании и определение оптимальных для конкретной почвы дозы извести [Небольсин, Небольсина, 1997].

При решении необходимости известкования для определения дозы в основу берется уровень гидролитической кислотности

сти. Так, при расчете дозы извести соответствующей гидролитической кислотности, выраженной в мг-экв/100 г почвы, пахотный слой (0–20 см) 1 га принимается равным 2600 т при объемной массе 1,3, тогда как каждый мг-экв/100 г соответствует 1,3 т CaCO₃ на 1 га.

Гидролитическая кислотность. Исследуемые почвы Красноярского края также отличаются высоким содержанием гидролитической кислотности (табл. 17).

Таблица 17

**Группировка кислых почв по гидролитической кислотности,
% обследованной площади**

Район	Обследо- ванная площадь, тыс. га	Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г					
		>6,0	5,1-6,0	4,1-5,0	3,1-4,0	2,1-3,0	<2,0
Больше- улуйский	53,9	24,7	34,3	23,6	12,9	3,9	0,6
Бирилюсский	46,4	68,4	14,5	10,1	5,8	0,5	0,7
Козульский	35,0	66,5	19,6	10,2	3,7	-	-
Казачинский	48,2	25,5	30,5	13,5	12,1	8,9	9,5
Тюхтетский	48,1	53,8	30,2	13,8	2,0	0,2	0,2
Пировский	43,1	41,2	42,1	16,0	0,7	-	-
Всего	274,7	45,3	28,9	14,9	6,6	2,4	1,9

По этому показателю четко выделяются почвы Козульского, Бирилюсского и Тюхтетского районов. Площади почвенного покрова с содержанием гидролитической кислотности более 6 мг-экв/100 г в этих районах соответственно составляют 66,5; 68,4 и 53,8%. Минимальная гидролитическая кислотность (менее 2 мг-экв/100 г) определена в почвах Казачинского района. Содержание гидролитической кислотности и суммы обменных оснований в определенной степени зависит от гумусированности почв. В серых лесных почвах при разных pH с увеличением степени гумусированности возрастают сумма поглощенных оснований и гидролитическая кислотность. С уменьшением гидролитической кислотности при одинаковом содержании гумуса существенно возрастает сумма поглощенных оснований.

В дерново-подзолистых почвах наблюдается такая же закономерность, но по мере повышения гумуса гидролитическая

кислотность возрастает более резко, чем в серых лесных почвах (табл. 18).

Таблица 18

Содержание гумуса в серых лесных и дерново-подзолистых почвах в зависимости от суммы обменных оснований (S), гидролитической кислотности (Hг) и степени насыщенности основаниями (V)

Содер- жание гумуса, %	Коли- чество образцов	S	Hг	V, %	Коли- чество образ- цов	S	Hг	V,%
		мг-экв/100 г почвы				мг-экв/100 г почвы		
		pH 4,0-4,5				pH 4,5-5,0		
Серые лесные								
2-4	19	25,1	7,04	79,8	11	30,1	4,21	87,7
4-6	91	28,9	7,00	80,3	244	33,4	4,53	88,0
6-8	47	30,4	7,646	80,6	210	38,2	5,13	88,1
8-10	12	33,8	8,12	80,8	96	43,9	5,63	88,3
Дерново-подзолистые								
2-4	19	23,1	8,83	70,2	13	24,8	74,2	76,7
4-6	91	25,7	10,42	71,0	123	26,0	8,94	75,4
6-8	47	28,9	12,02	74,2	32	29,3	9,66	75,0

В настоящее время для определения доз извести, кроме гидролитической кислотности, учитывают оптимальную степень насыщенности почв основаниями, которая определяет соотношение между поглощенными основаниями, с одной стороны, и насыщенностью водородом и алюминием – с другой. Расчет этого показателя был предложен Д. Хассинком и определяется по формуле:

$$V = \frac{S}{S + Hг},$$

где V – степень насыщенности основаниями; %; S – сумма поглощенных оснований (Ca, Mg, Na, NH₄), мг-экв/100 г почвы; Hг – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы [Хассинк, 1937]

М.Ф. Корниловым была предложена схема потребности в известковании различных по гранулометрическому составу

почв в зависимости от насыщенности их основаниями. Например, для тяжело- и среднесуглинистых почв при pH 4,0–4,5 и насыщенности основаниями 55–70% потребность в известковании средняя, при pH 4,5–5,0 и насыщенности основаниями 70–80% – слабая. При pH 5,0 и насыщенности основаниями более 80% – необходимость в известковании отсутствует [Корнилов, 1987]. По данным Н.С. Авдониной, при насыщенности почв основаниями более 70% они в известковании не нуждаются [Авдонин, 1969].

Проведенные нами исследования показали, что 12,4% кислых почв характеризуются насыщенностью основаниями меньше 75%, 23,8 – в пределах 75–81%, остальные – выше 80% (табл. 19).

Таблица 19

Группировка кислых почв по степени насыщенности основаниями, % обследованной площади

Район	Обследованная площадь, тыс. га	Степень насыщенности основаниями, %				
		<70	75-80	81-85	86-90	>90
Большеулуйский	53,9	1,8	8,5	34,8	47,5	7,4
Бирилюсский	46,4	22,1	33,4	28,8	14,3	1,4
Козульский	35,0	27,0	27,8	21,9	17,9	5,4
Казачинский	48,2	2,3	13,7	32,9	31,1	20,0
Тюхтетский	48,1	21,2	24,3	30,6	23,0	0,9
Пировский	43,1	5,0	40,2	48,6	6,0	0,2
Всего	274,7	12,4	23,8	33,4	24,4	6,0

Таким образом, если сопоставить эти данные с результатами М.Ф. Корнилова, то получается, что около 70% кислых почв в известковании вообще не нуждаются, 23,8% нуждаются слабо.

Как было сказано выше, исследуемые почвы отличаются высоким уровнем гидролитической кислотности. В серых лесных почвах при одинаковом pH с повышением степени гумуси-

рованности возрастает сумма поглощенных оснований и гидролитическая кислотность. В дерново-подзолистых наблюдается такая же закономерность, но по мере увеличения гумуса гидролитическая кислотность возрастает более резко, чем в серых лесных почвах.

Примеры расчета насыщенности почв основаниями:

1. Черноземная почва имеет сумму поглощенных оснований 40 мг-экв/100 г, гидролитическая кислотность – 4 мг-экв/100 г. Подставляя полученные данные в вышеприведенную формулу, получим $V = 40 / (4 + 40) \cdot 100 = 85\%$, то есть в данном случае кальций, магний, калий и другие элементы составляют 85% почвенного поглощающего комплекса, а 15% занимают водород и алюминий. Такие почвы вообще не нуждаются в известковании.

2. Серая лесная почва имеет сумму обменных оснований 6 мг-экв/100 г, гидролитическую кислотность – 7 мг-экв/100 г. В этом случае степень насыщенности $V = 6 / (6 + 7) \cdot 100 = 46\%$. В данном примере сумма кальция, магния и других катионов составляет только 46%, поэтому потребность в известковании высокая.

Следует отметить, что гидролитической кислотностью обладают многие почвы. Например, некарбонатные черноземные почвы имеют высокую гидролитическую кислотность (6–10 мг-экв/100 г), но они не отзывчивы на известкование. Об этом свидетельствуют многочисленные литературные данные [Бровкин, 1996; Мальцев, Мошкарёв, 2000]. В то же время некоторые кислые почвы (серые лесные и дерново-подзолистые) при меньшей гидролитической кислотности (3–6 мг-экв/100 г) хорошо отзываются на известкование.

Согласно вышеизложенному, необходимо отметить, что для установления степени нуждаемости в известковании, определения конкретных доз извести главным показателем является величина обменной кислотности. Как правило, почвы с низкой степенью насыщенности обладают более высокой обменной кислотностью.

По данным Н.С. Авдониной, сама по себе гидролитическая кислотность отрицательного влияния не оказывает. Поэтому при расчетах доз извести наряду с гидролитической кислотностью необходимо определять обменную кислотность, подвиж-

ный алюминий, избыточное содержание которого может оказать токсическое действие на растения [Авдонин, 1972].

Таким образом, принятое в настоящее время определение дозы извести по величине гидролитической кислотности с учетом гранулометрического состава и использованием степени насыщенности основаниями требуют уточнения, особенно для высокогумусированных почв, так как не учитывает влияния гумуса и кальция на снижение отрицательного действия повышенного содержания алюминия на урожай сельскохозяйственных культур.

В практических рекомендациях почвоведов, изданных в г. Красноярске [Рекомендации по известкованию..., 1974], говорится о том, что в условиях края для слоя почвы 20 см, например, при pH 4,8 и содержании гумуса до 6% рекомендуется 5,5 т извести, при таком же значении pH и содержании гумуса 8–9% потребность в извести составляет 8 т/га. По другим рекомендациям [Рекомендации по известкованию..., 1982], при содержании гумуса 1–2% извести требуется 8,5 т/га, с увеличением гумуса до 4–5% потребность в извести составляет 13 т/га.

На основании вышеизложенного следует отметить, что общепринятые методы диагностики нуждаемости почв в извести, которыми широко пользуется агрохимслужба, необходимо оценить по-новому. Накопившийся научно-производственный опыт говорит о том, что при диагностике известкования кислых почв дополнительно нужно учитывать такие показатели, как обменная кислотность подвижного алюминия, марганца, железа, а также буферная способность почв, режим увлажнения, плотность и другие.

Подвижный фосфор. Роль фосфора в жизни растений многогранна. Его оптимум обеспечивает максимальную продуктивность репродуктивных органов, способствует закладке дополнительных стеблей, наибольшего числа зерен в колосе, увеличивает массу 1000 зерен, ускоряет созревание растений, резко снижает отрицательное влияние засухи на развитие растений. Кроме того, он способствует ассимиляции азота из атмосферы бобовыми за счет увеличения количества клубеньков на корнях.

Фосфорные удобрения на кислых почвах не только улучшают фосфатное питание растений, но и снижают отрицатель-

ное действие алюминия. Применение суперфосфата способствует увеличению суммы обменных оснований, а на фоне азотно-калийных удобрений снижает содержание подвижных форм алюминия.

Кислые почвы Красноярского края характеризуются низким и средним содержанием подвижного фосфора (табл. 20). Известно, что чем больше подвижного фосфора в почве, тем меньше подвижного алюминия, что подтверждается данными таблицы 21.

Таблица 20

**Группировка кислых почв по содержанию фосфора,
% обследованной площади**

Район	Обследо- ванная площадь, тыс. га	Содержание фосфора					
		Очень низ- кое	Низ- кое	Сред- нее	Повы- шен- ное	Высо- кое	Очень высокое
Козульский	35,0	21,8	58,4	14,3	2,4	2,2	0,9
Тюхтетский	48,1	7,4	41,0	40,9	7,7	2,8	0,2
Больше- улуйский	53,9	1,9	28,9	50,0	13,5	2,4	3,3
Пировский	43,1	1,6	31,9	54,3	10,0	2,0	0,2
Казачинский	48,2	0,9	6,9	32,9	30,4	17,3	11,6
Бирилюсский	46,4	2,0	21,8	49,8	17,4	7,6	1,4
Енисейский	29,1	3,3	19,5	25,3	21,1	14,1	16,7
Всего	303,8	5,8	29,7	38,0	14,0	7,3	5,2

Подвижный фосфор в кислых почвах Средней Сибири в соответствии с инструкцией по крупномасштабным агрохимическим исследованиям определяют методом Кирсанова.

Агрохимическое обследование пахотных угодий края показало, что содержание подвижного фосфора на кислых почвах сильно различается даже в пределах одного и того же природного округа. Так, в Подтаежном природном округе на площади 303,7 тыс. га средневзвешенное количество подвижного фосфора составляет 10,9 мг/100 г. В то же время в Казачинском административном районе на площади 48,2 тыс. га этот

показатель составляет 19,1 мг/100 г. Район этот в целом отличается от Подтаежного округа геологическим строением. Здесь в основном встречаются четвертичные неогеновые и палеогеновые отложения, которые имеют молодой возраст (глины, пески, галечники, супеси).

Как видно из данных таблицы 20, исследуемые кислые почвы характеризуются низким содержанием фосфора. Если учесть, что при среднем его содержании почвы тоже нуждаются в фосфорных удобрениях, то на 73,5% пашни этой зоны необходимо внесение фосфорных удобрений.

Эти обстоятельства еще раз подтверждают, что в вопросах повышения плодородия изучаемых кислых почв важным фактором является увеличение фосфорного фона.

Таблица 21

**Влияние подвижного фосфора на подвижность алюминия
в дерново-подзолистых почвах [Небольсин,
Небольсина, 1997]**

Подвижный фосфор в почвах, мг/100 г	Содержание алюминия, мг-экв/100г		
	pH 4,0	pH 4,5	pH 5,0
<3	0,52	0,22	Следы
3-8	0,40	0,15	Следы
8-15	0,33	0,15	0,03
15-25	0,13	0,08	0,04
>25	0,18	0,12	0,06

Известно также, что чем больше подвижного фосфора в почве, тем меньше алюминия (табл. 21).

По данным А.И. Небольсина, с повышением содержания подвижного фосфора в почве подвижность и токсичность алюминия снижается [Небольсин, 1997]. Однако следует иметь в виду, что при избытке (более 25 мг/100 г) подвижного фосфора в почве возможно образование одно- и двузамещенных растворимых фосфатов, что может увеличить подвижность алюминия.

Исследованиями А.И. Небольсина также установлена положительная роль как фосфора, используемого в виде орто-

фосфорной кислоты, так и кальция в виде CaCO_3 , на снижение подвижности алюминия и повышение продуктивности сельскохозяйственных культур при различных уровнях реакции почвы (табл. 22).

Таблица 22

Влияние ортофосфорной кислоты на токсичность алюминия и урожай клевера лугового при различных уровнях реакции почвенной среды

Доза, г/сосуд		pH_{KCl}	Al, мг-экв/100 г	Урожай сухой массы, г/сосуд	
CaCO_3	P_2O_5			зерна ячменя	клевера
7	0	4,42	0,638	2,3	3,5
7,0	0	4,73	0,181	3,3	10,2
15,6	0	5,47	0,012	4,3	14,4
25,6	0	6,18	0,012	5,3	14,9
0	0,5	4,28	0,566	3,1	3,5
7,0	0,5	4,64	0,116	4,5	14,8
16,5	0,5	5,60	0,012	5,8	16,0
25,6	0,5	5,94	0,002	6,6	17,5
0	2,0	4,33	0,333	6,8	4,6
7,0	2,0	4,67	0,100	8,2	13,2
16,5	2,0	5,33	0,006	10,5	17,5
25,6	2,0	5,90	0,004	10,6	17,5
0	12,0	4,11	0,311	8,1	6,5
7,0	12,0	4,43	0,054	9,2	17,8
16,5	12,0	5,32	0,005	9,0	21,3
25,6	12,0	5,48	0,005	8,7	23,2
0	24,0	3,58	0,440	9,9	5,1
7,0	24,0	3,9	0,173	13,3	9,8
16,5	24,0	4,44	0,053	14,4	21,1
25,6	24,0	4,78	0,031	15,2	21,7

Калий является одним из основных элементов питания растений после азота и фосфора. Он способствует нормальному течению фотосинтеза, активизирует работу многих ферментов. Благодаря калию, растения лучше удерживают воду, что позволяет им легче переносить кратковременную засуху.

При недостаточном калийном питании ослабляется дыхание растений, задерживается образование белков из простых азотсодержащих соединений, растения чаще поражаются вредителями, болезнями. При нормальном калийном питании снижается загрязнение растений радиоактивными нуклидами.

Калий улучшает вкусовые качества картофеля, повышает содержание сахара в свекле, улучшает качество зерна. Он играет важную роль в закаливании растений, увеличивает их стойкость к холоду.

По результатам агрохимического картирования положение с запасами обменных форм калия в пахотных почвах края более благоприятное, чем с фосфором. В целом в Средней Сибири преобладают почвы с повышенным и высоким содержанием обменного калия, которые занимают 72,7% общей площади пашни. Среди пахотных угодий на долю почв с очень низким его содержанием приходится всего 8,6%, со средним – 18,7%. Это в основном кислые почвы (серые лесные и дерново-подзолистые).

Следует отметить, что содержание обменного калия на кислых почвах низкое и среднее (табл. 23). Из данных таблицы 23 видно, что в Енисейском районе площадь почв первых трех классов (очень низкое, низкое и среднее содержание) составляет 96,6%, из них на низкое приходится 69,9%; в Пировском районе низкое содержание составляет 38,1%, среднее – 57,3%, в Козульском соответственно 56,4 и 39,6%. Такая же картина и в других районах. Кислые почвы других природных округов также характеризуются в основном низким содержанием обменного калия. Например, в Ермаковском районе такие почвы занимают около половины площади.

Таким образом, необходимо отметить, что в отличие от черноземных почв дерново-подзолистые и серые лесные почвы Средней Сибири характеризуются более низким содержанием обменного калия. Это объясняется тем, что минералогический состав черноземов более богат калийсодержащими и калийфиксирующими минералами, чем у кислых почв. Между разными типами почв существенного различия в содержании валового калия нет. Однако прослеживается неодинаковая обеспеченность их формами калия. Так, сумма гидролизуемого (извлечение 2н. HCl при 24°C) и фиксированного калия (извлече-

ние 2н. НСІ при кипячении), являющегося ближайшим резервом пополнения обменного калия, на черноземах составляет 23–26% валового количества.

Таблица 23

**Группировка кислых почв по содержанию обменного калия,
% обследованной площади**

Район	Обследо- ванная площадь, тыс.га	Очень низкое	Низкое	Сред- нее	Повы- шенное	Высо- кое	Очень высокое
Козульский	35,0	1,4	55,0	39,6	3,0	0,5	0,5
Тюхтетский	48,1	3,5	57,9	29,9	5,4	2,3	1,0
Большеулуйский	53,9	0,6	11,6	36,5	28,7	18,1	4,5
Пировский	43,1	-	38,1	57,3	2,9	1,5	0,2
Казачинский	48,2	7,7	31,1	48,9	10,8	1,5	-
Бирилюсский	46,4	-	38,8	51,2	8,9	1,0	0,1
Енисейский	29,1	10,3	59,6	26,7	3,1	0,1	0,2
Всего	303,8	3,0	39,6	42,0	10,1	4,2	1,1

В то же время на серых лесных почвах эти показатели достигают не более 15%. Следует отметить, что на кислых почвах в отличие от черноземов преобладают полевые шпаты, из которых калий медленнее освобождается и слабо переходит в обменную форму [Пчелкин, 1966]. Для исследуемых почв характерно то, что емкость обменного поглощения значительно меньше, чем у черноземов, несмотря на их сходство по содержанию ила и физической глины, а также минералогического состава. В черноземе калия в обменную форму переходит в 2,5 раза больше, чем в серой лесной (кислой) почве [Горбачева, 1977]. Причину такой значительной разницы автор объясняет генетическими особенностями почв.

Таким образом, детальное агрохимическое обследование кислых почв Красноярского края позволило дифференцировать районы по содержанию подвижного фосфора и обменного калия. Знание этих особенностей имеет не только познавательное значение, но и дает возможность правильно распределить и поставить в тот или иной район нужный ассортимент минеральных удобрений с учетом почвенной характеристики.

Для повышения плодородия кислых почв Средней Сибири применение фосфорных удобрений имеет большое значение. Что касается эффективности калийных удобрений, об этом подробно изложено в разделе полевых опытов. Здесь же следует отметить, что проблема калия на кислых почвах еще недостаточно изучена.

Марганец, цинк. В природе часто встречаются почвы как с недостаточным и нормальным содержанием подвижных форм марганца, железа и цинка, так и с избыточным, токсичным для растений. Обычно низкое содержание указанных элементов наблюдается на карбонатных, нейтральных, или близких к нейтральным почвах. На кислых почвах усиливается не только подвижность, но и возрастает поглощение их растениями. Рассматривая каждый из элементов в отдельности, следует отметить, что марганец – это необходимый микроэлемент питания, который выполняет важные функции в процессе жизнедеятельности растений. Он принимает участие в азотном обмене, окислительно-восстановительных процессах, повышает устойчивость растений к болезням и неблагоприятным условиям внешней среды, то есть влияет на физиологические функции растений, повышает качество урожая. Марганец входит в состав многих ферментов, благодаря чему влияет на фотосинтез и образование хлорофилла, участвует в образовании аскорбиновой кислоты и других витаминов, накоплении в корнях сахарной свеклы, белка в зерне пшеницы [Школьник, 1974].

Известно, что марганцевые удобрения повышают урожай сахарной свеклы в среднем на 9–16 ц/га, зерновых культур – на 1,5–3,5, картофеля – на 20–35, томатов – на 30–40 ц/га. Значительно увеличивается урожайность многих овощных, плодово-ягодных культур. Избыточное количество марганца в первую очередь проявляется на сильнокислых почвах при низком содержании гумуса и не насыщенных основаниями [Авдонин, 1972; Небольсин, 1976]. Наиболее чувствительны к избытку подвижного марганца люцерна, сахарная и кормовая свекла [Авдонин, 1972], а также озимые культуры и многолетние травы, особенно в осенне-весенний период, когда из-за избыточного увлажнения в анаэробных условиях его бывает очень много [Ринькис, 1966]. Наибольший вред марганец наносит в начальный период развития растений.

Легкоподвижными и доступными для растений являются восстановленные (двухвалентные) соединения марганца. Существенное влияние на содержание подвижных форм в почве оказывает влажность почвы. Количество подвижного марганца подвержено изменениям в течение вегетационного периода. Ранней весной и осенью, когда почвы переувлажнены, в них происходят восстановительные процессы. В этот период подвижного марганца бывает больше, чем летом. Данный вопрос очень важен для агрохимической службы, так как марганец определяется на больших площадях, а сроки отбора при этом не учитываются, и требует дополнительного изучения.

Подвижность марганца в значительной степени зависит от способа обработки почв. Например, рыхление и другие агротехнические приемы, способствующие аэрации почвы, уменьшают содержание марганца. Под пропашными культурами по той же причине его меньше, чем под культурами сплошного сева [Авдонин, 1969].

Отрицательное влияние марганца связано не только с концентрацией его подвижных форм, но и соотношением с другими элементами. Поступление кальция и магния в растения на кислых почвах из-за антагонизма с катионами водорода, алюминия, марганца и железа крайне затруднено и некоторые культуры на кислых почвах испытывают их недостаток как элементов питания [Небольсин, 1974; Небольсин, 1976; Школьник, 1974].

В настоящее время для определения подвижного марганца в агрохимической службе приняты два метода: по Пейве и Ринькису (вытяжка 0,1 н. H_2SO_4) и Александровой и Крупскому (вытяжка ацетатно-аммиачным буферным раствором с pH 4,8). Для оценки почв рекомендованы следующие группы содержания:

Содержание	0,1 н. H_2SO_4	Ацетатно-аммиачный буферный раствор с pH 4,8
Низкое	Менее 30	Менее 10
Среднее	31-70	10-20
Высокое	Более 71	Более 20

Сопоставление результатов крупномасштабного агрохимического обследования с указанными градациями показывает, что почвы с низким содержанием марганца занимают 49,7%

обследованной площади пашни, со средним – 26,8, с высоким – 23,5%. В таблице 24 приведено содержание подвижного марганца и цинка в кислых почвах Красноярского края (ацетатно-аммиачный буфер).

Таблица 24

**Содержание марганца и цинка в кислых почвах
Красноярского края, мг/100 г**

Район	Количество образцов	Пределы колебания	Марганец	Цинк
Ачинский	6	Колебания Среднее	11,7-21,5 17,3	0,38-1,39 0,743
Бирилюс-ский	147	Колебания Среднее	5,1-33,7 13,5	0,32-4,61 1,518
Боготоль-ский	202	Колебания Среднее	4,6-47,0 17,0	0,46-4,14 1,214
Больше-муртинский	85	Колебания Среднее	3,1-18,2 9,8	0,14-1,73 0,701
Енисейский	31	Колебания Среднее	5,0-29,0 21,0	0,32-1,86 0,973
Казачин-ский	120	Колебания Среднее	3,7-31,6 13,6	0,2-4,20 1,598
Козульский	70	Колебания Среднее	4,0-25,7 10,3	0,50-2,90 1,417
Пировский	125	Колебания Среднее	4,8-36,9 12,2	0,20-3,80 1,54
Тюхтетский	152	Колебания Среднее	6,8-29,6 16,3	0,34-2,87 1,306

Основываясь на данных таблицы 24, можно сказать, что содержание указанного микроэлемента находится в пределах среднего. Однако почти во всех районах встречаются почвы и с высоким содержанием этого элемента (Пировский – 36,9 мг/кг, Боготольский – 47мг/кг и др.). Содержание же цинка в ацетатно-аммиачном буферном растворе до 2 мг/кг считается низким, с 2,1 до 5,0 – средним, более 5,1 мг/кг – высоким. В данном случае содержание его в основном низкое и отдельно не превышает среднего.

Подвижный марганец в системе агрохимической службы определяется на больших площадях и считается как микро-

элемент, при низком содержании которого внесение марганцевых удобрений принесет пользу.

В настоящее время оптимальные и токсичные уровни марганца и железа в целом слабо изучены, а по Восточной и Средней Сибири вообще отсутствуют какие-либо исследования.

По данным [Авдонин, 1965], отрицательное действие подвижного марганца на растения наблюдается при содержании его более 0,11 мг-экв/100 г почвы.

Таблица 25

Оптимальные уровни содержания марганца и железа в дерново-подзолистых почвах [Небольсин, Небольсина, 1997]

Культура	Интервал колебаний при оптимуме рН _{KCl}	Оптимальное содержание		Оптимальное соотношение Мп : Fe
		Мп, мг-экв/100 г	Fe, мг/кг	
Ячмень	4,5-6,8	0,015	2,6	1,6
Яровая пшеница	4,7-6,9	0,022	3,1	2,0
Озимая рожь, овес	4,3-6,0	0,040	7,0	1,6
Картофель	4,4-6,0	0,040	6,0	1,9
Клевер красный	4,7-7,3	0,012	2,4	1,4
Клевер	4,9-6,7	0,011	1,9	1,6
Злаковые травы	4,3-6,5	0,045	7,0	1,8
Кормовая свекла	6,0-7,4	0,009	1,3	1,3

На основании обобщения результатов большого количества полевых и вегетационных опытов А.Н. Небольсиным и З.П. Небольсиной на дерново-подзолистых почвах северо-запада России разработаны оптимальные уровни содержания подвижного марганца и железа для сельскохозяйственных культур (табл. 25). Подвижные формы марганца и железа определялись в вытяжке 1 н. KCl [Небольсин, Небольсина, 1997].

Нами была проведена серия исследований, где марганец определялся в двух вытяжках – в 1 н. KCl и ацетатно-аммиачном буфере с рН 4,8. Цинк и подвижное железо были определены только в буферном растворе. Результаты анализов приведены в таблице 26. Сопоставляя данные этих исследований с данными таблицы 25, следует отметить, что содержание подвижного марганца на кислых почвах Красноярского края превышает оптимальные уровни для ячменя, яровой пшеницы, клевера красного

и кормовой свеклы. Так, в дерново-подзолистых почвах среднее содержание по данным таблицы 26 составляет 0,111 мг-экв/100 г почвы, что значительно больше, чем приведенные оптимальные уровни (см. табл. 25). Лишь на окультуренных землях при систематическом внесении навоза количество марганца было в пределах нормы – 0,016 мг-экв/100 г. На серых и темно-серых лесных почвах содержание его колеблется в пределах 0,022–0,087. Повышенное содержание его наблюдается в Пировском районе. Однако следует иметь в виду, что почвы Красноярского края характеризуются более высоким содержанием гумуса, суммы обменных оснований. Поэтому в данных условиях для подвижного марганца будут другие оптимальные показатели. В связи с этим следует разрабатывать оптимальные уровни с учетом провинциальных особенностей почв. Из литературных данных известно, что чем больше содержание гумуса и суммы обменных оснований в почве, тем меньше поступление марганца в растения [Школьник, 1974; Динамика почвенной..., 2000]. Сопоставляя содержание цинка с существующими градациями, следует отметить, что уровень его в целом низкий и редко достигает класса средней обеспеченности.

Железо – один из самых распространенных в земной коре элементов. Валовое содержание его в почвах очень высокое. В Красноярском крае, например, оно достигает 5% и выше. Количество железа в почвах и растениях выражают в перерасчете на Fe_2O_3 . Без железа в растениях не может образоваться хлорофилл, хотя оно не входит в его состав. Железо является составной частью системы ферментов, которые участвует в синтезе хлорофилла. Этот элемент необходим растениям на протяжении всей вегетации. Доступность его зависит от наличия анаэробных условий в почвах. Легкодоступными подвижными являются двухвалентные восстановленные формы.

Таблица 26

Содержание подвижных форм марганца, железа и цинка на кислых почвах Красноярского края

Район, хозяйство	Количество образцов	Пределы коле- бания	Обменный марганец, (KCl) мг-экв/100 г	Подвижные формы, мг/кг (ацетатно- аммонийный буфер с рН 4,8)		
				Mn	Zn	Fe
Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые						
Козульский, АО «Лазурное»	15	Колебания	0,046-0,282	11,8-19,4	0,9-2,2	13,3-36,7
		Среднее	0,111	14,0	1,3	23,7
Козульский, АО «Лазурное» окультуренные	7	Колебания	0,009-0,031	-	-	-
		Среднее	0,016	-	-	-
Дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые						
Тюхтетский, АО «Зареченское», участок 1	7	Колебания	0,033-0,070	10,2-20,7	1,0-1,6	4,1-7,4
		Среднее	0,056	14,5	1,3	6,1
Тюхтетский, АО «Зареченское», участок 2	24	Колебания	0,037-0,056	10,0-11,9	1,5-5,3	9,6-22,9
		Среднее	0,049	11,2	2,5	14,1
Серые лесные тяжелосуглинистые						
Пировский	15	Колебания	0,027-0,245	9,2-69,2	0,5-3,7	7,0-27,7
		Среднее	0,087	15,9	1,5	12,6
Темно-серые лесные оподзоленные тяжелосуглинистые						
Больше- улуйский, колхоз им. Ленина	5	Колебания	0,013-0,032	6,7-11,4	-	6,7-11,4
		Среднее	0,022	8,1	-	8,1
Ермаковский	55	Колебания	0,038-0,075	-	0,2-1,0	-
		Среднее	0,055	-	0,5	-

Недостаток железа ведет к задержке синтеза и распаду ростовых веществ (ауксинов). Железо не передвигается из старых листьев в молодые и не используется повторно. Содержание его в растениях мизерное, богаче им нетоварная часть урожая. В кукурузе, например, половина его приходится на корневую систему, на зерно только 15,7%, остальное находится в обертке початков и листьях. Общее содержание данного микроэлемента во всей массе урожая составляет у хлебов около 1,5 кг/га, у зернобобовых – до 2,2, в картофеле – до 12 кг/га [Петербургский, 1971]. Следует отметить, что содержание железа во многом зависит от сортовых и видовых особенностей растений. Так, по данным Э.Д. Орловой (1971), в зерне яровой пшеницы содержится железа 29–37 мг/кг сухой массы, по П.Е. Судаковой (1986) – 17–24 мг/кг. Для твердой пшеницы эти показатели составляют 48–63 мг/кг [Кузьмина, 1996]. Основная часть железа накапливается в листьях – 742,6 мг/кг сухой массы, в стеблях – 140, в колосе – 127 мг/кг сухой массы.

В целом следует отметить, что среди факторов, определяющих накопление избыточного содержания элементов в растениях и в зерне, большая роль принадлежит свойствам почвы. По данным К.К. Бамберг (1956), содержание железа, марганца и цинка в зерне пшеницы, овса, ячменя сильно изменялось в зависимости от типа почвы, при этом значительное накопление их наблюдалось при снижении pH почвенного раствора.

В природе известны почвы с низким, достаточным и высоким содержанием подвижного железа. Концентрация растворимых, легкоподвижных форм железа на карбонатных почвах часто бывает настолько мала, что растения начинают страдать. На кислых почвах железо чаще всего является токсикантом, однако может ощущаться и его недостаток при избытке в почве подвижных форм марганца, цинка и других тяжелых металлов [Чернавина, 1970].

В Средней Сибири, на юге Красноярского края и в Республике Хакасия, уделяется большое внимание развитию плодоводства. Однако его развитие сдерживает широко распространенное здесь заболевание плодовых и ягодных растений – хлороз. Причиной его является недостаток железа. Хлороз заметно снижает урожай плодов и ягод, ухудшает их питательную ценность. Часто он является причиной гибели целых участков в садах и ягодни-

ках. Площади, отведенные под сады, при этом изреживаются на 20–50%. Проведенные опыты [Танделов, 1967] показали, что при внесении в почву хелатов в виде Fe-ДЭПУ (железосодержащая диэтилентриамин пентауксусная кислота) в количестве 50 г на ведро воды под корень дерева через 13 дней полностью восстанавливали зеленую окраску листьев, которая сохранялась до конца вегетационного периода.

Внесение сернокислого железа в почву эффекта не давало. Это объясняется тем, что закисное железо в щелочной среде карбонатных почв переходит в труднорастворимую недоступную для плодовых растений форму. Внутриккомплексные соединения, напротив, в условиях карбонатных почв способны удерживать железо в доступных для растений формах. Оно лучше усваивается растениями из этих соединений и уже через несколько дней содержание хлорофилла в листьях восстанавливается. Таким образом, корневое внесение препарата Fe-ДЭПУ в данных почвенно-климатических условиях дает лучшие результаты, чем внекорневая обработка. Действие препарата сохранялось полностью и на следующий вегетационный сезон, ослабляясь только на третий год. Поэтому его надо вносить в почву через год. Производство указанного препарата было налажено во Всесоюзном институте реактивов и особо чистых веществ по инициативе Л.К. Островской (1965). Однако из-за дороговизны производство его было прекращено.

Таким образом, на карбонатных и южных черноземах Красноярского края недостаток подвижного железа является основной причиной хлороза плодовых культур. Другие какие-либо исследования, касающиеся железа в Средней Сибири, отсутствуют. В целом токсичность подвижного железа на кислых почвах в научной литературе слабо освещена, особенно в Сибирском регионе. Учитывая то, что проблема железа имеет большое производственное значение, необходимо в дальнейшем проведение вегетационных и полевых опытов применительно к местным условиям с учетом региональных особенностей.

По данным авторов [Небольсин, Небольсина, 1972], одним из факторов, определяющих действие кислотности на растения, является повышенное накопление в кислых почвах марганца и железа. При кислой реакции среды повышается подвижность указанных элементов и усиливается их поступление

в растения. Особенно это сильно проявляется при недостатке кальция и магния. Согласно этому, содержание легкоподвижного железа может повышаться до 175 мг/кг почвы и выше. В результате этого железо становится токсикантом. В то же время в нормальных условиях количество подвижных форм железа не достигает 6 мг/кг.

Оптимальные уровни подвижного железа, определенного в 1 н. KCl (см. табл. 25), для ячменя составляют 2,6 мг/кг почвы, для овса, озимой ржи и злаковых трав – 7,0 мг/кг. Оптимальное соотношение марганца к железу также разное. Определение легкоподвижного железа мы проводили в ацетатно-буферном растворе с pH 4,8. Исходя из данных таблицы 26, содержание подвижного железа на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах колеблется от 13 до 36 мг/кг, среднее составляет 23,7 мг/кг. На легких дерново-подзолистых и серых лесных его значительно меньше. Сопоставляя эти данные с литературными следует отметить, что уровень подвижного железа, извлекаемого ацетатным буфером, в наших почвах значительно ниже. Так, по данным А.В. Литвинович, на сильнокислых почвах количество железа колеблется от 41 до 120 мг/кг, достигая в некоторых случаях более 263 мг/кг [Динамика почвенной..., 2000].

Согласно литературным источникам, при высоком содержании легкоподвижного железа в почве растения могут потреблять его в большом количестве, однако содержание его в растениях свыше 1000 мг/кг считается токсичным, в результате чего повреждаются листья, появляются некротичные пятна [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Таким образом, для нормального развития растений необходимы оптимальные концентрации данного элемента. Оптимальное соотношение железа к марганцу в организме растений составляет 1,5–2,5. Сопоставляя с известными полученными нами данные (см. табл. 27), необходимо отметить, что соотношение Fe:Mn можно считать нормальным только в доннике, который был отобран на темно-серых лесных почвах. В травосмеси (костер+тимофеевка), а также в тимофеевке и овсе, количество марганца было выше. В целом, что касается приведенных данных, то они невысокие по сравнению с литературными и находятся ниже пороговой концентрации. Дело в том, что исследуемые почвы характеризуются высоким содержанием гумуса и обменных оснований.

Таблица 27

Содержание микроэлементов в растениях, мг/кг на абсолютно сухое вещество

Культура	n	Цинк	Марганец	Железо	Соотношение Fe : Mn
<i>Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые</i>					
Клевер	8	21,4	48,9	49,1	1,00
Тимофеевка	2	13,8	69,9	28,1	0,40
<i>Дерново-подзолистые средне- и легкосуглинистые</i>					
Овес	5	27,2	86,3	36,2	0,42
Костер + тимофеевка + клевер	6	13,4	56,4	26,6	0,47
<i>Темно-серые лесные оподзоленные</i>					
Клевер	1	23,2	28,5	40,0	1,40
Костер	1	13,4	79,7		
Донник	3	25,1	30,9	61,9	2,00

Согласно литературным данным, существует антагонизм между цинком и железом. Высокое содержание цинка резко снижает содержание железа в растениях. При этом избыточное содержание цинка на понижение железа значительно сильнее, чем действие других тяжелых металлов. Токсичное действие цинка больше всего бывает на кислых почвах. Предел его токсичности зависит как от видовой принадлежности растений, так и от генетических особенностей растений, а также от стадий их развития. Отрицательное влияние цинка для ячменя проявляется при содержании 300 мг/кг, а для овса в стадии кущения при 400 мг/кг почвы [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Скорость поступления цинка во многом зависит от поступления кальция. Недостаток цинка чаще всего проявляется на карбонатных почвах с pH более 7.

Как уже было отмечено выше, содержание подвижного цинка на кислых почвах (в буферном растворе с pH 4,8) в основном низкое. Сравнивая содержание цинка (табл. 27) со средними уровнями и пределами колебаний, можно отметить, что содержание его в клевере, овсе, доннике находится в допустимых пределах, в костре, тимофеевке – на уровне нижней границы.

Глава 4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТОВ

Зона кислых почв, занимающая в структуре пашни края третью часть, имеет большое значение в производстве сельскохозяйственной продукции. Она характеризуется благоприятным режимом увлажнения, что при соответствующей агротехнике позволяет получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур.

Из литературных источников известно, что кислотность почвы снижает эффективность мероприятий, направленных на улучшение питания сельскохозяйственных культур, а это ведет к резкому снижению урожая. Известкование же оказывает благоприятное воздействие как на плодородие почв, так и на растения, улучшает пищевой режим, физические и водные свойства почвы, ее структуру, повышает эффективность удобрений [Типовые рекомендации..., 1977].

Опыты по известкованию кислых почв в Красноярском крае были поставлены еще в 20-х годах прошлого столетия в Приенисейской сельскохозяйственной опытной станции. Однако положительных результатов они не дали, что, по-видимому, объясняется неудачным расположением их на серых лесных почвах с близким залеганием карбонатного горизонта. Внимание к этой проблеме возобновилось в начале 60-х годов: Красноярский сельскохозяйственный институт начал изучать эффективность цементной пыли на слабокислых почвах в Таловском совхозе Большемурутинского района.

Внесение ее в почву в дозе 1 т/га обеспечило прирост урожая зеленой массы кукурузы на 21 ц/га, а при использовании перегноя в дозе 10 т/га урожай возрос на 38 ц/га. Совместное применение перегноя и пыли в указанных дозах увеличило урожайность на 78 ц/га, что на 19 ц/га больше, чем прибавка урожая, полученная от пыли и перегноя, внесенных раздельно. Урожайность кукурузы в контрольном варианте составила 96 ц/га. В 70–80-е годы в связи с необходимостью использования отходов промышленности над изучением проблемы раскисления почв работали специалисты ряда научных и научно-производственных учреждений края.

В 1971–1973 гг. Солянской зональной агрохимической лабораторией проведены полевые опыты с ячменем в Первоманском совхозе Манского района на серых лесных почвах. Были подобраны участки с pH 4,5–4,8. В качестве известкового мате-

риала использовали белитовый шлам Ачинского глиноземного комбината в дозе 12–15 т/га (по гидролитической кислотности). Результаты исследований показали, что известкование способствовало повышению урожайности ячменя на 1,6 ц/га, что, на наш взгляд, связано с уменьшением почвенной кислотности. На фоне минеральных удобрений прибавки урожая, полученные в результате известкования, составили 1,3–3,6 ц/га. Эффективность удобрений на известкованном фоне была выше, чем на естественном. Особенно это относится к азотным удобрениям. Так, внесение аммиачной селитры в дозе N_{30} на фоне белитового шлама дает прибавку зерна 3,6 ц/га, а на естественном фоне – только 1,6 ц/га.

В 1972 г. Красноярской агрохимической лабораторией проведены вегетационные опыты с ячменем на дерново-подзолистой почве (pH_{KCl} – 5,1; Нг – 6,7 мг-экв/100 г, гумус – 4,1%). Для устранения кислотности был внесен белитовый шлам.

Результаты опытов показали, что шлам способствовал повышению эффективности минеральных удобрений. Действие шлама в чистом виде было малоэффективно. В специальном лабораторном опыте было показано, что увеличение дозы шлама с 0,5 до 2 Нг на серой лесной почве обуславливает более интенсивное снижение почвенной кислотности. Действие шлама на кислотность почв не отличалось от действия чистого карбоната кальция. Применение шлама и карбоната кальция повышало нитрификационную способность на 24%, снижало содержание легкорастворимых фосфатов в результате образования труднорастворимых соединений, количество обменного кальция практически не изменилось [Рудой, Лубите, 1976].

С 1978 г. на Боготольском опытном поле Красноярского НИИ сельского хозяйства изучалась эффективность белитовой муки в системе 6-польного севооборота со следующим чередованием культур: кукуруза, пшеница, ячмень, клевер 1 года, клевер 2 года. Опыты были заложены на двух почвенных разностях – лугово-черноземной и темно-серой лесной оподзоленной с pH соответственно 5,4 и 5,5, Нг – 7,8–8,1 мг-экв/100 г почвы, суммой обменных оснований – 8,6 и 29,4 мг-экв/100 г, содержанием подвижных форм азота – 14,9 и 9,1 мг/кг, фосфора и калия соответственно 4,2–4,7 9,9–7,6 мг/100 г.

Шестилетние исследования показали, что белитовая мука и известь в чистом виде, внесенные в полной дозе по гидролитической кислотности на двух почвах, не оказывали существенно-

го влияния на урожай сельскохозяйственных культур. Эффективность белитовой муки повышалась на фоне минеральных удобрений. На лугово-черноземной почве прибавка урожая кукурузы увеличилась на 66%, пшеницы и ячменя – на 18,6, зеленой массы клевера – на 64,3% по сравнению с прибавкой от одних минеральных удобрений. На темно-серой почве положительное действие мелиоранта на фоне NPK проявилось только на зерновых культурах [Наумов, 1985].

Красноярским научно-исследовательским институтом сельского хозяйства в начале 90-х годов проведена серия модельных опытов на кислых дерново-подзолистых, серых и темно-серых лесных оподзоленных почвах с широким набором сельскохозяйственных культур – рапсом, пшеницей, ячменем, озимой рожью, многолетними травами (клевер, люцерна). Химические мелиоранты – угольная зола КАТЭК, белитовая мука извести – изучали в прямом действии и последствии в чистом виде и на фоне азотно-фосфорно-калийных удобрений.

По результатам опытов одностороннее внесение угольной золы под зерновые и многолетние травы, а также белитовой муки под зерновые, не повлияло на продуктивность этих культур. Существенное изменение урожая при внесении белитовой муки проявилось только на клевере – урожай по сравнению с контролем увеличился на 53%.

Вместе с тем нейтрализация почвенной кислотности известково-содержащими материалами дерново-подзолистых почв Козульского и Большемуртинского районов способствовала повышению продуктивности сельскохозяйственных культур на удобренном фоне, причем из зерновых культур внесение мелиорантов под пшеницу и овес на фоне NPK значительно сильнее сказалось на их продуктивности, чем на увеличении урожайности озимой ржи. Наибольший положительный результат от внесения золы и белитовой муки на фоне азотно-фосфорно-калийных удобрений был получен на клевере, где урожайность в варианте NPK + мелиорант была почти в 2 раза больше, чем в варианте с одним минеральным удобрением [Рудой, 1985]. Однако исследования, проведенные в крае, носили краткосрочный характер, в них не изучались сроки действия и последствия мелиорантов, изменение агрохимических свойств почв и многие другие вопросы. По результатам этих работ невозможно дать достоверные рекомендации с учетом провинциальных особенностей кислых почв края. Поэтому неслучайно в зональных системах земледелия Красноярского края разделы

по рациональному использованию кислых почв представлены общими рекомендациями, полученными в европейской части страны [Рекомендации по известкованию..., 1974; Удобрения и урожай, 1970].

В 1972 г. агрохимической службой края была разработана единая программа исследований по данной теме, задача которой заключалась в том, чтобы:

- ♦ выявить влияние систематического внесения различных сочетаний минеральных удобрений и мелиорантов на урожай возделываемых культур;

- ♦ установить максимальные и минимальные уровни запасов подвижного фосфора и обменного калия в почве;

- ♦ изучить влияние мелиоранта и систематического внесения удобрений на агрохимические свойства почвы.

На основании разработанной программы опыты проводили во всех природных округах: в Подтаежном (Козульский, Казачинский, Пировский районы), в Канском (колхоз "Новая жизнь" Ирбейского района), в Минусинском (АО «Енисейский», АО "Субботинское" Шушенского района).

Полевые опыты были проведены согласно ОСТ 10106-87. Схемы их включали абсолютный контроль, внесение различных доз и сочетаний минеральных удобрений, одностороннее применение мелиоранта, совместное использование его с минеральными удобрениями.

Аммиачную селитру, двойной гранулированный суперфосфат, калий хлористый вносили ежегодно вручную весной согласно принятой схеме, химические мелиоранты – весной, в год закладки, или осенью предыдущего года под вспашку, в дальнейшем изучали их последствие. В отдельных опытах было проведено повторное известкование. Дозы внесения мелиоранта были равны 0,6; 1,0; 1,5 гидролитической кислотности. В качестве мелиорантов использовали белитовую муку Ачинского глиноземного комбината и угольную золу ТЭЦ КАТЭК, которые по результатам выполненных анализов характеризовались очень высокой нейтрализующей способностью (более 85%) и высокой дисперсностью.

Повторность опытов была четырехкратная, учетная площадь делянок для зерновых составляла 120–150 м², для кормовых – 40–90 м². В период вегетации наблюдали за развитием растений, осуществляли агротехнические мероприятия согласно принятой технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Учет урожая проводили в период технологической

спелости. Урожай зерновых был приведен к 100%-й чистоте и 14%-й стандартной влажности, сено однолетних и многолетних трав к 16%-й влажности, урожаи подсолнечника даны в натуральном виде. В некоторых сводных таблицах урожаи культур были пересчитаны в зерновые единицы.

Для наблюдений за агрохимическими показателями почв ежегодно отбирались почвенные образцы с глубины пахотного слоя. В них определяли pH_{KCl} , гидролитическую кислотность, подвижный фосфор и обменный калий по Кирсанову, гумус, подвижный алюминий по методам, принятым в агрохимической службе.

4.1. Эффективность минеральных удобрений и мелиорантов на дерново-подзолистых почвах

В 1977–1985 гг. в ГЦАС "Красноярский" на многолетних стационарных опытах изучалась эффективность минеральных удобрений и химических мелиорантов в АО "Лазурное" (совхоз им. Чапаева) Козульского района на дерново-подзолистых почвах, которые имели следующие показатели: содержание гумуса 4,0–5,5%; pH_{KCl} – 4,4–4,7; гидролитическая кислотность 6,4–8,0 мг-экв/100 г почвы; степень насыщенности основаниями – 65–70%; низкое содержание подвижного фосфора, среднее – обменного калия.

Опытное поле представляло собой два участка, удаленных друг от друга на расстоянии 3 км. На первом в 1977 г. были заложены два опыта (1 и 2), на втором в 1981 г. – третий опыт (6, 8 и 9). Исследования проводились с различными зерновыми и кормовыми культурами, чередующимися в звене севооборотов.

Полученные результаты свидетельствовали об очень высокой эффективности минеральных удобрений на кислых почвах в этом районе. За все годы продуктивность культур на удобренных вариантах увеличилась в среднем на 9,6–10,8 ц/га зерновых единиц в первом опыте, на 7,2–8,5 – во втором при урожае на контроле соответственно 14,2 и 13,8 ц/га. В третьем опыте (8 и 9) урожайность зерновых и кормовых повысилась в 1,5–2 раза по сравнению с контролем (табл. 28–31).

Таблица 28

**Влияние систематического внесения минеральных удобрений и мелиоранта на урожай
сельскохозяйственных культур (опыт 1), ц/га зерновых единиц**

Вариант	Год проведения опытов										Среднее	
	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1988	1989	Уро- жай	При- бавка
Контроль	11,7	8,3	10,5	15,5	18,0	18,9	16,4	13,5	7,8	21,3	14,2	-
Белитовая мука 1 Нг (1977 и 1982 гг.)	11,2	10,2	14,3	19,3	18,2	21,8	23,0	13,5	7,8	21,6	16,1	1,9
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	14,8	14,1	20,6	23,3	27,9	25,2	31,0	39,6	16,2	26,6	23,9	9,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + бели- товая мука 1 Нг (1977, 1982 гг.)												
	18,8	15,1	19,9	23,0	28,8	23,8	29,6	41,6	21,4	28,0	25,0	10,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	14,1	13,5	22,5	24,0	28,9	26,2	34,8	39,8	19,6	25,6	24,9	10,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + бели- товая мука 1Нг (1977 г.)	16,2	12,5	20,5	21,2	29,1	24,4	28,0	36,8	21,4	27,7	23,8	9,6
N ₆₀ P ₆₀	12,9	16,3	20,6	22,5	25,6	25,3	34,8	36,7	19,5	25,2	23,9	9,7
N ₆₀ K ₆₀	12,5	8,8	17,0	15,8	18,0	20,6	27,4	18,9	8,7	21,9	17,0	2,8
НСП _{0,95} , ц/га	1,4	2,6	2,2	3,4	3,8	4,0	2,9	2,6	1,2	2,8	-	-

Примечание: 1977 г. – пшеница; 1982 г. – пшеница;
 1978 г. – пшеница; 1983 г. – горох + овес;
 1979 г. – горох + овес; 1984 г. – озимая рожь;
 1980 г. – пшеница; 1988 г. – озимая рожь.
 1981 г. – горох + овес;

Таблица 29

**Влияние систематического внесения минеральных удобрений и мелиоранта на урожай
сельскохозяйственных культур (опыт 2), ц/га зерновых единиц**

Вариант	Год проведения опытов								Среднее	
	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1985	1987	Урожай	Прибавка
Контроль	15,6	10,0	15,7	7,8	13,1	13,8	18,5	15,7	13,8	-
Белитовая мука 1Нг (1977, 1982 гг.)	17,6	8,0	15,7	9,8	16,4	9,5	20,9	17,4	14,4	0,6
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	22,0	13,8	23,6	12,6	25,5	29,7	28,4	18,3	21,7	7,9
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука 1 Нг (1977, 1982 гг.)	23,6	16,4	23,4	12,5	24,1	25,7	29,6	23,3	22,3	8,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	21,4	13,3	21,1	13,6	22,6	29,8	25,5	20,8	21,0	7,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + белитовая мука 1Нг (1977 г.)	22,8	12,3	19,9	13,3	25,3	29,3	28,5	23,6	21,9	8,1
N ₆₀ P ₆₀	21,4	13,4	20,0	11,8	24,0	28,5	32,5	18,2	21,2	7,4
N ₆₀ K ₆₀	16,2	8,5	16,3	7,8	20,0	23,9	12,8	18,4	16,6	2,8
НСР _{0,95} , ц/га	2,9	1,8	2,5	2,3	4,1	1,9	2,8	2,1	-	-

Примечание: 1978 г. – горох + овес; 1982 г. – горох + овес;
1979 г. – пшеница; 1983 г. – ячмень;
1980 г. – горох + овес; 1985 г. – озимая рожь;
1981 г. – пшеница; 1987 г. – горох + овес.

Таблица 30

Влияние минеральных удобрений и мелиоранта на урожай сена клевера (опыт 6), ц/га

Вариант	1982 г.	1983 г.	1984 г.	Среднее	
				Урожай	Прибавка
Контроль	45,6	50,5	39,4	45,2	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ , последствие (1981 г.)	56,6	64,2	47,1	56,0	10,8
N ₉₀ P ₉₀ , последствие (1981 г.)	56,9	55,2	45,8	52,6	7,4
Белитовая мука 1,5 Нг (1981 г.)	55,8	43,3	37,4	45,5	0,3
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ , последствие (1981 г.) + белитовая мука 1,5 Нг (1981 г.)	56,4	65,0	54,6	58,7	13,5
Зола 0,6 Нг (1981 г.)	53,4	51,8	39,0	48,1	2,9
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ , последствие (1981г.) + зола 0,6 Нг (1981 г.)	51,4	63,1	44,5	53,0	7,8
N ₃₀ , ежегодная подкормка	54,9	52,7	43,7	50,4	5,2
N ₆₀ , ежегодная подкормка	52,0	54,6	39,9	51,2	6,0
N ₉₀ , ежегодная подкормка	57,9	61,0	41,0	53,3	8,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	67,4	75,0	48,2	63,5	18,3
НСПо, 95, ц/га	4,6	6,8	7,8	-	-

Таблица 31

Влияние систематического внесения минеральных удобрений и мелиоранта на урожай сена сельскохозяйственных культур (опыт 8), ц/га зерновых единиц

Вариант	1981 г.	1982 г.	1983 г.	1984 г.	Среднее	
					Урожай	Прибавка
Контроль	14,0	37,9	16,9	13,0	20,5	-
Зола 0,6 Нг (1981 г.)	14,8	35,5	20,7	10,6	20,4	-0,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + зола 0,6 Нг (1981 г.)	18,8	56,1	28,2	23,3	31,6	11,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	25,5	61,2	31,9	26,8	36,4	15,2
Белитовая мука 1,5 Нг (1981 г.)	20,4	54,4	20,0	13,8	27,2	6,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука, 1,5 Нг (1981 г.)	23,3	65,8	25,2	22,9	34,3	13,8
НСР _{0,95} , ц/га	5,7	6,1	3,3	2,4	-	-

Примечание: 1981 г. – горох;

1982 г. – подсолнечник на силос;

1983 г. – овес;

1984 г. – пшеница.

В благоприятные годы при внесении удобрений были получены урожаи пшеницы 20–25 ц/га, ячменя 25–30, озимой ржи 35–40, сена однолетних трав 65–70, зеленой массы подсолнечника 350–400 ц/га.

Увеличение дозы питательных веществ с 60 до 90 кг/га д.в. азота, фосфора и калия существенно не повлияло на величину урожая. Эффективное действие калийных удобрений не проявилось (в вариантах NPK и NP получены одинаковые урожаи). По разности вариантов с использованием тройного сочетания удобрений и азотно-калийных было установлено, что при низком содержании подвижного фосфора основные прибавки урожая обеспечивают фосфорные и азотно-фосфорные удобрения. Эффективность белитовой муки в чистом виде не устойчива и проявлялась только на отдельных культурах. Если рассматривать ее действие за все годы исследований, то положительный результат был получен в 8-м и 9-м опытах за счет достоверного увеличения урожая подсолнечника, особенно в год прямого действия белитовой муки в дозе 1,5 Нг. Белитовая мука (1979, 1983 гг.) повышала урожай сена однолетних трав (опыт 1). На урожай зерновых (пшеница, ячмень, озимая рожь) она не оказывала положительного влияния, а в некоторые годы (1979, 1989) наблюдалась даже депрессия урожая.

Внесение известковых удобрений на фоне минеральных также было малоэффективно. В целом за 8–10-летний период в 1-м и 2-м опытах двухразовое известкование как в чистом виде, так и на фоне минеральных удобрений, по сравнению с вариантом NPK не повысило продуктивность поля. Имеющиеся прибавки урожая между вариантами находятся в пределах наименьшей существенной разности. В то же время в 1977 г. от внесения белитовой муки (опыт 1) были получены достоверные прибавки 4,0 и 2,1 ц/га при НСР 0,95–1,4 ц/га в вариантах NPK + белитовая мука по сравнению с NPK. В последующие годы увеличение урожая статистически не доказывалось. Повторное известкование в 1982 г. не способствовало получению прибавок, а такая культура, как ячмень, в 1983 г. даже снизила урожай. В 1984 г. известкование на фоне минеральных удобрений с последующим посевом осенью озимой ржи привело к получению дополнительного урожая по сравнению с вариантом NPK. Результаты 8-го и 9-го опытов также подтверждают слабую эффективность варианта NPK+белитовая мука. Зола, внесенная в дозе 0,6 Нг, как в чистом виде, так и совместно с минеральными удобрениями, ни в одном году не дала положительного эффекта (табл. 32).

Таблица 32

Влияние систематического внесения минеральных удобрений и мелиоранта на урожай сена сельскохозяйственных культур (опыт 9), ц/га зерновых единиц

Вариант	1981 г.	1982 г.	1983 г.	1984 г.	1985 г.	Среднее	
						Урожай	Прибавка
Контроль	30,6	25,1	22,8	18,7	13,9	22,2	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	56,8	32,5	58,5	29,2	17,9	39,0	16,8
Белитовая мука 1,5 Нг (1981 г.)	71,6	30,9	31,1	20,6	16,4	34,1	11,9
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука, 1,5 Нг (1981 г.)	72,2	34,2	53,7	29,6	19,9	41,9	19,7
N ₆₀ P ₆₀	58,6	30,3	48,3	23,8	17,2	35,6	13,4
НСП _{0,95} , ц/га	2,4	5,0	6,0	3,7	7,2	-	-

*Примечание: 1981 г. – подсолнечник на силос; 1982 г. – овес;
1983 г. – подсолнечник на силос; 1984 г. – овес;
1985 г. – горох + овес.*

Особо следует остановиться на опыте с клевером. Он выращивался на одном поле в течение 4 лет. Варианты опыта включали действие и последствие белитовой муки (1,5 Нг) как в чистом виде, так и на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$, $N_{90}P_{90}$, весеннюю подкормку различными дозами азотных удобрений ($N_{30}N_{60}N_{90}$), однократное внесение $P_{60}K_{60}$ +ежегодная подкормка N_{60} . Наибольший урожай сена клевера был получен в варианте последствие $P_{60}K_{60}$ + ежегодные подкормки азотом, где прибавка составила 18,3 ц/га при урожае в контроле 45,2 ц/га (см. табл. 30). Совместное применение белитовой муки $N_{90}P_{90}K_{90}$ обеспечило прибавку в среднем за 3 года 13,5 ц/га; одни минеральные удобрения увеличили урожай на 10,8 ц/га, то есть существенной разницы между этими вариантами не получено. В целом результаты опытов показали, что клевер на кислых почвах даже без удобрений и известкования дает очень высокие урожаи. В Красноярском крае клевер местной селекции Казачинской опытной станции даже на самых сильнокислых почвах является традиционной культурой и практически не реагирует на кислотность.

4.2. Изменение агрохимических свойств кислых почв при систематическом внесении минеральных удобрений и мелиорантов

Наряду с действием химических мелиорантов и минеральных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур изучалось влияние их на агрохимические свойства почв. Многолетние наблюдения показали, что внесение белитовой муки в дозе одной гидролитической кислотности способствовало в год внесения (опыт 1; 1977 г.) некоторой нейтрализации почвенного раствора – pH_{KCl} повысилось с 4,7 до 5,5. Увеличение дозы до 1,5 Нг (опыты 6, 8; 1981 г.) усиливало нейтрализацию, изменяя в первый год pH с 4,5–4,7 до 5,3–5,8. Угольная зола ТЭЦ проявила еще большую раскисляющую способность, повышая pH_{KCl} на 0,3–0,7 ед. при дозе 0,6 Нг. Однако уже на следующий год, после перепашки и перемешивания мелиоранта с пахотным слоем (опыты 1,2,8,9), кислотность вновь увеличилась и отличалась от первоначального значения всего на 0,2–0,3 ед. (табл. 33). Таким образом, внесением 9–12 т/га извест-

кового материала не удалось перевести почвы из среднекислых в слабокислые и достичь оптимальных значений кислотности для сельскохозяйственных культур.

В опыте с клевером (опыт 6), где почва ежегодно не перепахивалась, снижение почвенной кислотности, достигнутое известкованием, сохранилось на весь период наблюдений (5 лет). В 1982 и 1984 гг. в 1-м и 2-м опытах было проведено повторное известкование. Оно более резко изменило pH (на 0,9–1,1 ед.), но и в этом случае уже через год наблюдалось значительное снижение реакции почвенного раствора и возвращение к исходному значению через 5–6 лет (табл. 33). При систематическом применении минеральных удобрений в течение 5–12 лет подкисление почв не произошло.

Влияние известкования на величину гидролитической кислотности проявилось в резком снижении ее (в 1,5–3 раза) в первый год внесения. Затем существенное изменение ее отмечалось еще 2–3 года. В дальнейшем гидролитическая кислотность возвращалась к прежнему уровню. В вариантах с внесением минеральных удобрений была выражена тенденция увеличения Нг, а во 2-м опыте через 9 лет происходило ее достоверное повышение (табл. 34).

Систематическое внесение фосфорных удобрений создает определенные запасы их в почве и приводит к накоплению подвижных соединений P_2O_5 . В целом за 10–12-летний период внесения фосфора (опыт 1 и 2) его уровень поднялся на один класс, а за 5 лет (опыты 6,8,9) хотя и увеличился на 2–2,5 мг/100 г почвы, но остался в той же группе почв с низким содержанием. Следует отметить, что в первые 2–4 года в результате взаимодействия удобрений с почвой и происходящих биологических и физико-химических процессов поглощения фосфора достоверных изменений в содержании фосфатов не наблюдалось. В вариантах без внесения фосфора сохранялся исходный уровень содержания P_2O_5 (табл. 35).

Таблица 33

Изменение pH_{KCl} при известковании и систематическом внесении минеральных удобрений

Вариант	Год проведения опытов												
	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Опыт 1													
До внесения	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	4,7	4,8	4,6	4,8	4,8	4,7	4,7	4,6	4,8	4,6	-	-	4,6
Белитовая мука (1977, 1982 гг.)	5,2	5,0	4,9	5,1	5,0	5,6	5,5	5,1	5,5	5,2	-	-	5,3
$N_{90}P_{90}K_{90}$	4,7	4,8	4,5	4,8	4,6	4,6	4,7	4,6	4,7	4,7	-	-	4,6
$N_{60}P_{60}K_{60}$	4,7	4,8	4,6	4,7	4,7	4,5	4,6	4,5	4,7	4,6	-	-	4,5
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + белитовая мука, (1977, 1982 гг.)	5,5	4,9	4,9	4,9	4,9	5,7	5,3	5,0	5,2	5,2	-	-	4,9
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + белитовая мука (1977, 1982 гг.)	5,2	5,0	4,9	4,7	5,0	4,8	4,8	4,7	4,9	4,8	-	-	4,6
$N_{60}P_{60}$	4,7	4,8	4,7	4,5	4,7	4,6	4,6	4,4	4,7	4,6	-	-	4,6
$HCP_{0,95}$, ед. pH	-	-	0,2	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	-	-	0,3
Опыт 2													
До внесения	4,6												
Контроль	-	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,5	-	-	-	-	-
Белитовая мука (1977, 1982 гг.)	-	5,1	5,1	5,0	4,7	5,8	5,3	5,3	-		-	-	-
$N_{90}P_{90}K_{90}$	-	4,6	4,6	4,5	4,3	4,6	4,6	4,3	-	-	-	-	-
$N_{60}P_{60}K_{60}$	-	4,6	4,5	4,6	4,4	4,4	4,7	3,3	-	-	-	-	-
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + белитовая мука, (1977, 1982 гг.)	-	4,8	4,8	5,0	4,8	5,7	5,1	3,9	-	-	-	-	-
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + белитовая мука (1977, 1982 гг.)	-	4,9	4,8	5,1	4,7	4,7	4,5	4,5	-	-	-	-	-
$N_{60}P_{60}K_{60}$	-	4,6	4,5	4,5	4,3	4,6	4,6	4,3	-	-	-	-	-
$HCP_{0,95}$, ед. pH	-	-	0,2	-	0,2	0,4	0,2	0,2	-	-	-	-	-

Окончание табл. 33

Вариант	Год проведения опытов									
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Опыт 6										
До внесения	-	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	4,7	4,6	4,6	4,5	4,7	-	-	-	-
Белитовая мука (1981 г.)	-	5,3	5,1	5,3	5,2	5,1	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	4,4	4,4	4,3	4,4	4,6	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1981 г.)	-	5,6	5,4	5,1	4,8	5,4	-	-	-	-
Зола (1981 г.)	-	5,4	5,7	5,7	5,0	5,1	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + зола (1981 г.)	-	5,4	5,6	5,4	5,0	5,1	-	-	-	-
HCP _{0,95} , ед. рН	-	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	-	-	-	-
Опыт 8										
До внесения	-	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	4,5	4,5	-	4,4	4,6	-	-	-	-
Белитовая мука (1981 г.)	-	5,8	4,8	-	4,8	4,9	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	4,4	4,4	-	4,4	4,5	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1981 г.)	-	5,6	4,8	-	4,8	4,8	-	-	-	-
Зола (1981 г.)	-	5,2	4,7	-	4,7	4,7	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + зола (1981 г.)	-	5,0	4,6	-	4,6	4,7	-	-	-	-
HCP _{0,95} , ед. рН	-	0,4	0,2	-	0,2	0,3	-	-	-	-
Опыт 9										
До внесения	-	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	4,4	4,4	4,5	4,4	4,5	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	4,3	4,3	4,4	4,2	4,3	-	-	-	-
Белитовая мука (1981 г.)	-	5,6	4,9	5,0	5,0	5,0	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1981 г.)	-	5,4	4,9	4,7	4,7	4,9	-	-	-	-
HCP _{0,95} , ед. рН	-	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	-	-	-	-

Таблица 34

**Изменение гидролитической кислотности при известковании
и систематическом внесении минеральных удобрений, мг-экв/100 г**

Вариант	Год проведения опытов												
	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Опыт 1													
До внесения	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	9,0	6,5	9,0	6,6	8,7	8,1	7,4	6,7	8,1	8,5	-	-	7,3
Белитовая мука (1977, 1982 гг.)	5,5	5,2	7,6	5,3	7,3	2,7	3,6	4,7	5,9	5,6	-	-	4,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	9,4	6,0	8,9	6,3	9,7	8,6	8,1	7,2	9,3	9,0	-	-	7,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	9,0	6,3	8,6	6,7	8,9	9,0	8,5	7,4	8,2	8,3	-	-	8,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1977, 1982 гг.)	3,2	4,8	7,2	6,8	8,0	2,5	4,9	4,7	5,5	5,9	-	-	5,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + белитовая мука, (1977, 1982 гг.)	5,1	5,6	7,6	6,6	8,4	7,8	7,6	6,7	7,6	7,9	-	-	7,4
N ₆₀ P ₆₀	8,6	6,1	8,3	6,9	8,9	9,1	8,6	7,4	8,3	8,4	-	-	7,6
HCP _{0,95} , ед. рН	-	-	1,1	-	1,0	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	-	-	1,3
Опыт 2													
До внесения	7,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	8,1	6,3	7,4	8,9	8,2	8,6	7,6	6,4	6,6	6,6	7,5	6,2
Белитовая мука (1977, 1982 гг.)	-	6,4	4,6	6,0	7,8	2,3	2,7	4,5	4,7	5,1	6,0	6,8	6,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	7,7	6,6	7,7	10,1	8,8	8,9	8,7	8,2	8,3	7,8	9,2	9,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-	8,2	7,0	7,8	9,7	9,6	9,4	8,8	7,3	8,6	7,8	8,9	8,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1977, 1982 гг.)	-	5,5	5,6	6,6	9,2	2,3	4,6	6,1	5,1	5,8	6,2	6,5	7,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + белитовая мука (1977, 1982 гг.)	-	7,4	5,6	6,6	8,3	7,9	8,9	7,9	2,7	5,3	4,8	5,7	7,5
N ₆₀ P ₆₀	-	8,8	7,0	7,9	10,1	9,8	9,1	9,4	8,2	8,6	9,3	9,6	9,5
HCP _{0,95} , ед. рН	-	-	0,8	-	0,7	1,6	1,4	1,5	1,6	-	1,2	1,3	1,7

Окончание табл. 34

Вариант	Год проведения опытов									
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Опыт 6										
До внесения	-	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	8,0	8,1	7,7	7,9	8,8	-	-	-	-
Белитовая мука (1981 г.)	-	9,0	9,0	9,3	8,2	8,5	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	3,2	5,5	4,6	3,8	4,5	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1981 г.)	-	4,0	5,2	5,6	5,0	4,5	-	-	-	-
Зола (1981 г.)	-	3,9	4,1	3,4	3,9	6,0	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + зола (1981 г.)	-	4,6	4,7	4,9	4,3	6,0	-	-	-	-
HCP _{0,95} , ед. рН	-	1,2	2,1	1,8	1,3	1,5	-	-	-	-
Опыт 8										
До внесения	-	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	9,1	8,5	-	7,5	9,1	-	-	-	-
Белитовая мука (1981 г.)	-	9,2	8,7	-	7,1	8,6	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	3,2	6,6	-	6,1	7,8	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1981 г.)	-	3,7	6,9	-	7,2	8,4	-	-	-	-
Зола (1981 г.)	-	5,4	7,6	-	5,8	6,7	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + зола (1981 г.)	-	6,7	7,9	-	7,2	7,9	-	-	-	-
HCP _{0,95} , ед. рН	-	2,0	0,6	-	0,6	1,3	-	-	-	-
Опыт 9										
До внесения	-	6,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	8,1	9,0	8,2	7,0	7,5	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	8,9	9,6	8,7	7,5	8,4	-	-	-	-
Белитовая мука (1981 г.)	-	3,9	6,3	5,7	4,9	5,2	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1981 г.)	-	5,5	6,7	7,1	6,1	7,2	-	-	-	-
HCP _{0,95} , ед. рН	-	1,8	0,7	1,7	1,8	1,2	-	-	-	-

Таблица 35

**Изменение содержания подвижных фосфатов при известковании
и систематическом внесении минеральных удобрений, мг/100 г**

Вариант	Год проведения опытов												
	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Опыт 1													
До внесения	8,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	8,6	7,5	8,5	8,4	8,2	8,2	9,0	7,7	8,1	7,5	-	-	7,9
Белитовая мука (1977, 1982 гг.)	9,3	7,4	8,0	9,1	7,4	7,6	8,8	6,7	7,1	7,6	-	-	8,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	10,5	8,2	10,7	9,5	14,2	16,8	15,6	11,5	17,5	11,5	-	-	14,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	11,0	7,2	9,6	10,5	12,2	13,6	12,9	9,9	12,7	10,9	-	-	10,3
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1977, 1982 гг.)	10,5	7,8	10,3	8,6	14,4	17,8	13,2	11,0	19,3	11,6	-	-	12,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + белитовая мука (1977, 1982 гг.)	11,0	7,7	9,1	9,6	10,1	13,7	12,3	8,7	11,3	10,5	-	-	10,9
N ₆₀ P ₆₀	9,3	8,0	9,9	10,2	11,7	13,0	14,0	9,6	11,4	11,3	-	-	10,6
HCP _{0,95} , ед. рН	-	-	1,9	1,1	3,0	3,1	2,5	2,1	2,2	1,8	-	-	1,7
Опыт 2													
До внесения	7,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	6,5	5,8	6,7	7,0	8,5	7,7	7,1	6,4	6,2	6,1	6,6	6,0
Белитовая мука (1977, 1982 гг.)	-	5,3	4,9	5,8	5,1	7,5	8,0	7,1	5,6	6,2	5,4	5,8	6,5
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	7,2	7,6	8,2	13,2	12,7	12,2	15,1	12,3	11,8	13,6	13,2	10,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-	7,8	7,6	9,0	10,1	12,0	12,4	13,9	10,2	9,6	12,4	11,0	10,5
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1977, 1982 гг.)	-	6,5	6,7	6,4	10,6	13,4	12,1	13,3	13,1	10,4	12,6	12,7	10,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + белитовая мука (1977, 1982 гг.)	-	6,7	7,5	7,7	9,8	11,2	14,1	12,1	11,0	8,4	11,1	10,5	10,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-	6,8	6,4	8,0	9,0	11,3	13,3	11,8	9,4	9,1	10,1	9,2	12,1
HCP _{0,95} , ед. рН	-	-	1,5	1,4	2,0	3,5	2,6	2,7	1,8	1,5	2,5	2,0	2,4

Вариант	Год проведения опытов									
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Опыт 6										
До внесения	-	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	7,0	8,2	7,2	5,7	5,6	-	-	-	-
Белитовая мука (1981 г.)	-	12,5	10,9	20,0	12,1	9,6	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	7,6	7,3	7,6	6,7	5,6	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1981 г.)	-	12,5	8,4	15,6	8,7	9,9	-	-	-	-
Зола (1981 г.)	-	6,4	6,3	6,7	5,4	5,1	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + зола (1981 г.)	-	10,0	8,3	13,8	9,0	9,1	-	-	-	-
НСР _{0,95} , ед. рН	-	4,2	2,7	6,1	2,9	2,5	-	-	-	-
Опыт 8										
До внесения	-	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	6,7	8,0	-	8,5	7,1	-	-	-	-
Белитовая мука (1981 г.)	-	9,2	13,9	-	13,2	9,5	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	7,5	9,6	-	8,0	6,5	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1981 г.)	-	9,8	12,1	-	13,1	9,6	-	-	-	-
Зола (1981 г.)	-	7,0	9,1	-	7,5	6,9	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + зола (1981 г.)	-	8,9	13,5	-	13,0	9,0	-	-	-	-
НСР _{0,95} , ед. рН	-	2,4	2,4	-	2,3	1,9	-	-	-	-
Опыт 9										
До внесения	-	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Контроль	-	5,4	6,7	6,2	5,3	5,9	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	6,5	9,8	11,7	11,6	8,4	-	-	-	-
Белитовая мука (1981 г.)	-	7,1	7,8	7,9	5,9	5,4	-	-	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука (1981 г.)	-	7,7	12,5	13,8	10,0	10,2	-	-	-	-
НСР _{0,95} , ед. рН	-	1,9	2,0	5,0	1,5	1,2	-	-	-	-

Содержание гумуса в 1-м и 2-м опытах определено в образцах, отобранных через 10 лет после закладки стационара. При сравнении полученных результатов с исходным содержанием оказалось, что изменения составляют 0,1–0,4% между вариантами в 1-м (0,1–0,2%) и во 2-м (0,1–0,3%) опытах, что характеризует погрешность метода (табл. 36). Таким образом, существенных различий как от исходного содержания, так и по вариантам опытов, не установлено.

Несколько иные результаты получены по содержанию подвижного алюминия. Ежегодное внесение физиологически кислых азотных удобрений увеличивает содержание подвижного алюминия по отношению к контролю (0,07–0,08 мг-экв/100 г почвы) на 0,04–0,05 мг-экв/100 г почвы, но остается значительно ниже критического уровня (0,11–0,13 мг-экв/100г почвы).

При систематическом применении азотно-калийных удобрений длительное время содержание подвижного алюминия возможно будет увеличиваться. Поэтому при регулярном внесении туков необходимо следить за уровнем алюминия и принимать меры для снижения содержания его подвижных форм, а именно применять органические удобрения, использовать запарку сидератов соломы, повышенных доз фосфорных удобрений, которые уменьшают или полностью связывают данный элемент в виде фосфатов алюминия, а также кальциевую селитру, сложные удобрения.

Таблица 36

Содержание гумуса, 1987 г., %

Вариант	Опыт 1	Опыт 2
Контроль	5,7	5,4
Белитовая мука	5,8	5,5
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	5,8	5,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,9	5,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука	5,7	5,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + белитовая мука	5,9	5,4
N ₆₀ P ₆₀	5,5	5,7
Исходное содержание гумуса (1977 г.)	5,5	5,5

Микрополевые опыты. Для установления оптимальных уровней содержания фосфора, накопленного в почве при 13-летнем систематическом внесении минеральных удобрений, в 1982–1986 гг. была проведена серия микрополевых опытов на разных фонах, которые создавались длительным внесением фосфорных удобрений. Почва для этих целей отобралась с делянок полевых опытов:

- естественный неудобренный фон, содержание P_{2O_5} – 7,5–9,5 мг/100 г почвы;
- почва, удобренная $N_{60}P_{60}K_{60}$, содержание P_{2O_5} – 12,7–13,6 мг/100 г почвы;
- почва, удобренная $N_{90}P_{90}K_{90}$, содержание P_{2O_5} – 14,5–17,5 мг/100 г почвы.

Таблица 37

Влияние последствий минеральных удобрений на урожай подсолнечника (среднее за 1982–1986 гг.)

Вариант	Фон	Урожай, г/сосуд
Контроль	Фон 1 – естественный Содержание P_{2O_5} 7,5-9,0 мг/100 г	1567
PK		3236
NK		1948
NP		3210
NPК		3117
Контроль	Фон 2 – $N_{60}P_{60}K_{60}$ Содержание P_{2O_5} 12,7-13,6 мг/100 г	2037
PK		3032
NK		2694
NP		3747
NPК		3418
Контроль	Фон 3 – $N_{90}P_{90}K_{90}$ Содержание P_{2O_5} 14,5-17,5 мг/100 г	2795
PK		3622
NK		2809
NP		3959
NPК		3667

Опыты были проведены с подсолнечником на силос в полиэтиленовых мешках без дна, в которые было помещено 15 кг почвы. Повторность четырехкратная, для всех фонов принята единая схема из пяти вариантов: контроль, PK, NK, NP, NPК. Удобрения в виде химически чистых солей аммиачной селитры, калия хлористого и двойного гранулированного суперфос-

фата вносили из расчета 0,22 г азота, 0,15 г д.в. фосфора и калия на каждый килограмм почвы. Уборку подсолнечника проводили в стадии образования корзинки. Урожайные данные были обработаны методом дисперсного анализа. Результаты опытов приведены в таблице 37, из данных которой видно, что создание фона обеспечивает более высокий урожай подсолнечника в вариантах без дополнительного внесения удобрений, то есть совершенно очевидно последствие остаточных фосфатов.

Действие ежегодно вносимых фосфорных удобрений зависит от содержания подвижного фосфора в почве, накопленного при систематическом внесении удобрений:

- на естественном фоне – повышает урожай в 2 раза;
- на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ – на 150–180%;
- на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ – на 130–150%.

Причем в последние два года по фону $N_{90}P_{90}K_{90}$ существенных прибавок от внесения фосфорных удобрений не было получено.

Таким образом, содержание P_2O_5 в 15–17 мг/100 г почвы является близким к оптимальному для растений на данных почвах, при котором положительное действие фосфорных удобрений проявляется слабо.

4.3. Результаты вегетационных опытов

Для более детального изучения эффективности известкования кислых почв нами в 1977–1992 гг. была проведена серия вегетационных опытов с зерновыми культурами (пшеница, ячмень). Почвы, представленные из пяти районов края, отличались по степени кислотности, содержанию гумуса, гранулометрическому составу. Так, содержание гумуса в них колебалось от 2 (дерново-подзолистые Тюхтетского района) до 8,3% (темно-серые лесные Ермаковского района).

Содержание обменного кальция находилось в пределах 4,8–18 мг-экв/100 г почвы, причем наименьшее в легких дерново-подзолистых почвах Тюхтетского района. В них также наблюдалось низкое количество обменного магния (1,2 мг-экв/100 г почвы) по сравнению с почвами тяжелого гранулометрического состава (табл. 38).

Таблица 38

Агрохимическая характеристика почв вегетационных опытов

Район	Год	Подвижные по Кирсанову, мг/100г		Основания, мг-экв/100 г почвы		Гумус, %	Состав, фракция < 0,01 мм, %
		Фосфор	Калий	Кальций	Магний		
Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые							
Козульский	1977-1979	6,1-8,6	8,6-9,1	16,0	5,5	4,2	55,0
	1967-1992	5,7-7,8	7,8-10,6	17,0	4,6	5,2	55,1
Дерново-подзолистые легкосуглинистые							
Енисейский	1978-1979	17,2-31,4	3,8-6,9	10,5	3,0	3,9	27,5
Тюхтетский	1990-1992	3,3-11,9	3,7-7,6	4,8	1,2	2,1	24,6
Серые лесные тяжелосуглинистые							
Пировский	1988-1989	6,8-9,3	11,4-12,6	17,3	4,1	3,8	48,0
Темно-серые лесные среднесуглинистые							
Ермаковский	1990	11,1-16,7	5,3-7,3	18,0	5,5	8,3	37,5

Содержание подвижного фосфора в целом отмечалось низкое и среднее, более высоким его количеством отличаются почвы Енисейского и Ермаковского районов. Аналогичная картина выстраивалась и по содержанию обменного калия, уровень которого несколько выше только в Пировском районе. По гранулометрическому составу почвы представлены тяжело-, средне- и легкосуглинистыми разностями. Как было отмечено выше, наиболее легким грансоставом характеризуются почвы из Енисейского и особенно Тюхтетского района. Таким образом, в вегетационных опытах были представлены почти все почвенные разности кислых почв Красноярского края.

Рассматриваемые почвы по существующим градациям, принятым в агрохимической службе, также различались по кис-

лотности. Так, например, почвы из Енисейского, Ермаковского и Пировского районов по pH_{KCl} относятся к среднекислым (pH 4,5–5,0), из Тюхтетского и Козульского районов – к сильнокислым. Все почвы характеризуются высоким и очень высоким содержанием гидролитической кислотности. Наибольшее ее содержание определено в темно-серых лесных почвах Ермаковского района (табл. 39).

Таблица 39

**Содержание гидролитической кислоты и pH_{KCl} в почвах
вегетационных опытов**

Район	Почва	Год	pH_{KCl}	Hг, мг-экв/100 г почвы
Козульский	Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	1977-1979 1987-1992	4,4-4,5 4,0-4,5	5,2-7,1 6,6-8,3
Енисейский	Дерново-подзолистая легкосуглинистая	1978-1979	4,5-5,0	1,8-4,9
Ермаковский	Темно-серая лесная среднесуглинистая	1990	4,6-4,9	6,8-11,0
Пировский	Серая лесная тяжелосуглинистая	1988-1989	4,6	6,2-7,9
Тюхтетский	Дерново-подзолистая легкосуглинистая	1991-1992	4,3-4,6	3,2-4,8

Названные почвы отличаются по содержанию обменной кислотности и подвижного алюминия. Обменная кислотность находится в пределах 0,054–0,081 мг-экв/100 г почвы, подвижный алюминий соответственно 0,03–0,056 мг-экв/100 г, что значительно ниже, чем в почвах других регионов. Так, например, Г.Я. Елькина (1999) полевые опыты проводила на легких дерново-подзолистых почвах со следующей агрохимической характеристикой: гумус – 1,76%, pH_{KCl} – 3,9–4,1, сумма обменных кальция и магния – 2,6–2,9, гидролитическая кислотность – 1,08–1,17, обменная кислотность – 1,08–1,17 мг-экв/100 г почвы. П.А. Барсуков и другие при проведении модельных опытов использовали почву с содержанием гумуса 1,5%, суммой обменных оснований – 3,6, обменной кислотностью – 0,61–0,75,

подвижным алюминием – 0,52–0,68 мг-экв/100 г почвы [Барсуков, Макарикова, 1999]. З.М.Томашевский (1976) полевые опыты проводил на дерново-сильнопodzolistой легко-суглинистой почве с содержанием гумуса 2,1–2,33%, pH_{KCl} – 4,5–4,8, гидролитической кислотностью – 4,8–5,4, обменной кислотностью – 0,88–0,94 мг-экв/100 г почвы.

В наших исследованиях опыты проводились в сосудах емкостью 5 л в четырехкратной повторности. Питательные вещества (азот, фосфор, калий) были внесены в виде химически чистых солей по 0,2 г д.в. на 1 кг почвы. Для сравнительной оценки в качестве известковых материалов использовали углекислый кальций ($CaCO_3$), белитовую муку и белитовый шлак – отходы Ачинского глиноземного комбината, которые вносили из расчета одной гидролитической кислотности.

Посев осуществляли проросшими семенами, в течение вегетационного периода проводили фенологические наблюдения, вели борьбу с сорняками, вредителями и болезнями растений, в том числе с применением химических средств защиты. Результаты исследований показали, что при применении указанных методик опыта урожай пшеницы и ячменя от азотно-фосфорно-калийных удобрений увеличивался в 2,5–4 раза, а в отдельные годы в 5–7 раз.

Это согласуется с данными полевых опытов и показывает, что минеральные удобрения в зоне кислых почв Красноярского края являются мощным фактором повышения урожайности сельскохозяйственных культур (табл. 40–41).

Полученные нами данные подтвердили то, что за все годы эффективность совместного внесения мелиорантов и минеральных удобрений зависела от свойств почв. Так, на почвах с высоким содержанием гумуса, кальция и низким подвижного алюминия урожай яровой пшеницы и ячменя не повышался. Несмотря на то что внесение извести способствовало значительному снижению pH и гидролитической кислотности, внесенные мелиоранты в чистом виде не давали достоверной прибавки урожая. В отдельные же годы отмечены более высокие урожаи ячменя в вариантах с белитовой мукой и белитовым шлаком по сравнению с применением $CaCO_3$ и фоновым NPK. Это свидетельствует о том, что белитовая мука и шлак в

какой-то степени действуют одновременно и как мелиорант, и как удобрение.

Таблица 40

Влияние известкования на урожай пшеницы, г/сосуд

Вариант	Козульский район			Пиров- ский район	Тюхтет- ский район	Енисей- ский район	Ерма- ковский район
	1977- 1979гг.	1987- 1989гг.	1990- 1992гг.	1988- 1989 гг.	1990- 1992 гг.	1978- 1979 гг.	1990 г.
Контроль	4,6	5,2	13,3	4,2	8,1	9,5	12,3
НРК	14,8	26,4	30,0	21,7	23,8	25,8	46,4
Белитовая мука	-	6,0	-	4,6	-	-	-
CaCO ₃	-	3,9	-	4,1	8,8	-	-
Белитовый шлам	-	-	-	5,1	9,3	-	-
НРК + бе- литовая мука	13,2	26,7	-	20,3	-	25,5	44,0
НРК + CaCO ₃	13,3	23,2	30,1	15,5	29,9	-	47,0
НРК + бе- литовый шлам	-	-	34,3	21,2	34,0	-	46,2
НСР _{0,95} , г/сосуд	1,1- 5,4	2,1- 2,2	2,0- 5,3	1,3-1,9	1,6-6,1	2,1-6,8	3,1- 10,2

На легких дерново-подзолистых почвах были получены обратные результаты. Здесь положительное влияние мелиоранта хорошо проявилось при совместном внесении его с минеральными удобрениями, хотя обменная кислотность и подвижный алюминий были не выше, чем в других почвах. Возможно, что в этом случае мелиорант используется как источник питания кальцием и особенно магнием, которые, как было указано выше, содержатся здесь в 2 раза меньше, чем в почвах тяжелого гранулометрического состава. Об этом говорят и литературные данные.

Таблица 41

Влияние известкования на урожай ячменя, г/сосуд

Вариант	Козульский район		Пировский район, 1988-1989 гг.
	1977-1979 гг.	1987-1989 гг.	
Контроль	5,7	3,8	5,1
НРК	18,5	27,8	21,1
Белитовая мука	-	4,8	5,9
CaCO ₃	-	4,2	6,1
Белитовый шлам	-	-	5,6
НРК+белитовая мука	24,4	30,5	22,0
НРК+CaCO ₃	22,5	28,8	20,7
НРК+белитовый шлам	-	-	22,8
НCP _{0 95} , г/сосуд	4,3	2,2-2,4	2,3-2,5

Так, исследования, проведенные А.Н. Небольсиным и другими, с меченым изотопом ⁴⁵Са показали, что на тяжелосуглинистых почвах после внесения малых доз извести кальция из извести за три года усвоилось растениями от 14 до 29%, при внесении больших доз – от 31–42%. В то же время на легких почвах усвоение кальция растениями из извести в первый год составило 50–82% [Изучение баланса кальция..., 1984]. Следовательно, для прогнозирования продуктивности чувствительных к кислотности культур значения рН не дают объективной оценки. Одновременно необходимо определение обменной кислотности, подвижного алюминия и других показателей.

Обобщая результаты многочисленных полевых и вегетационных опытов северо-западной части России, А.Н. Небольсин пришел к выводу, что оптимальное содержание обменных кальция и магния на дерново-подзолистых почвах для культур, чувствительных к кислотности, должно быть для легко- и среднесуглинистых почв не менее 4, для тяжелосуглинистых и глинистых – не менее 6 мг-экв/100 г почвы [Небольсин, 1997].

Таблица 42

**Агрохимическая характеристика пахотного слоя почв
до закладки опытов [Каличкин, 1996]**

Показатель, единица измерения	Нарымская ГСС	Стационар СибНИИЗХ
Гумус, %	2,0	2,1
pH _{KCl}	4,6	4,6
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы	6,2	4,0
Обменная кислотность, мг-экв /100 г почвы	1,2	0,4
Подвижный алюминий, мг-экв /100 г почвы	0,8	0,1
Обменный водород, мг-экв /100 г почвы	0,4	0,3
Сумма поглощенных оснований, мг-экв /100 г почвы	4,1	10,9
Обменный кальций, мг-экв /100 г почвы	2,2	6,8
Обменный магний, мг-экв /100 г почвы	0,1	1,5
Степень насыщенности основаниями, %	40,0	73,0
Подвижный марганец в 1 н. HCl, мг/100 г почвы	6,6	7,7
Подвижные фосфаты в 0,2 н. HCl, мг/100 г почвы	7,5	31,0
Обменный калий в 0,2 н. HCl, мг/100 г почвы	9,5	5,9

Известкование кислых почв в Красноярском крае в первую очередь следует планировать на почвах с низким содержанием гумуса, обменных оснований и высоким содержанием подвижного алюминия. Об этом также убедительно говорят исследования В.К. Каличкина, проведенные в Томской области на двух стационарных опытах (табл. 42–43). Первый опыт – на территории Томской государственной селекционной станции (стационар Нарымской ГСС, 1970–1990 гг.), второй – на юге области (стационар СибНИИЗХ, 1986–1992 гг.) [Каличкин, Ким, 1996]. Как видно из данных таблицы 42, почвы участков среднекислые (pH 4,6), содержание гумуса 2,0–2,1%, однако они сильно различаются по другим агрохимическим показателям.

Так, сумма поглощенных оснований в первом случае составляет 4,1, содержание обменного кальция 2,2 мг-экв/100 г почвы, во втором соответственно 10,9 и 6,8. Содержание обменного алюминия в первом опыте составляет 0,8 мг-экв/100 г

почвы, во втором – 0,1 мг-экв/100 г почвы. Значительное различие в первом и втором опытах наблюдается и по содержанию подвижного фосфора, определенного по методу Кирсанова.

Таблица 43

Продуктивность севооборотов в зависимости от известкования и внесения минеральных удобрений, ц/га к. ед. севооборотной площади [Каличкин, 1996]

Вариант	Внесение извести в расчете по Нг				Продуктивность
	0	0,25	0,50	1,00	
Стационар Нарымской ГСС, 1970-1990 гг.					
Контроль	17,2	18,7	19,9	22,6	19,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	26,4	28,7	29,2	30,2	28,6
Стационар СибНИИЗХ					
Контроль	19,0	20,6	20,4	19,9	20,0
N ₆₅ P ₃₂ K ₅₅	24,5	23,0	23,9	24,6	24,0
N ₉₈ P ₈₄ K ₆₅	27,6	27,6	26,5	25,4	26,8

Указанные участки по степени кислотности согласно существующим градациям относятся к группе почв, сильно нуждающихся в известковании. В то же время, как видно из данных таблицы 43, положительное действие извести как на фоне минеральных удобрений, так и без них, проявляется только в первом случае, где высокое содержание подвижного алюминия и низкое кальция (стационар Нарымской ГСС). Во втором стационаре урожай от известкования не увеличился. Следовательно, значения pH не могут быть основанием для мелиорации кислых почв.

На основании вышеизложенного следует отметить, что общепринятые методы диагностики известкования по величине pH, степени насыщенности основаниями, количеству гумуса, гидролитической кислотности, которыми широко пользуется агрохимическая служба, необходимо пересмотреть. Накопившийся научно-производственный опыт говорит о том, что для определения потребности в известковании почв следует учитывать дополнительно содержание таких показателей, как подвижный алюминий, подвижные формы железа, марганца, буферную способность почв, подвижные формы фосфора. При проведении агрохимических исследований в зоне кислых почв при pH менее 5,0 на картограмме кислотности необходимо наносить

данные по подвижному алюминию. Это даст возможность выявить поля с повышенным содержанием этого элемента для первоочередного известкования. Затраты на это с лихвой окупятся за счет более рационального использования средств химической мелиорации.

4.4. Эффективность минеральных удобрений и мелиорантов на серых лесных почвах Казачинского и Пировского районов

Влияние минеральных удобрений и мелиорантов на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические свойства почв изучалось нами в 1988–1992 гг. Стационарные опыты были проведены в колхозах "Новая жизнь" (Казачинский район) и "Победа" (Пировский район) на типичных серых лесных почвах (Подтаежный природный округ) тяжелого гранулометрического состава, которые характеризуются среднекислой реакцией почвенного раствора (рН 4,6–4,8), содержанием гумуса 3,8–4,0%, подвижного алюминия не больше 0,02–0,03 мг-экв/100 г почвы, гидролитической кислотностью до закладки опыта 6–7 мг-экв/100 г почвы, содержанием подвижного фосфора 11–13, обменного калия 14–15 мг/100 г почвы. В целом агрохимическая характеристика серых лесных почв этих двух районов не отличается.

В 1988 г. в колхозе "Победа" по пару высевали пшеницу сорта Скала, последующие два года также возделывали пшеницу, а в 1991 г. озимую рожь. В колхозе "Новая жизнь" чередование культур было следующим:

1988 г. – пшеница Скала;

1989 г. – овес Сельма;

1990 г. – ячмень Кедр

1991 г. – овес Сельма.

Результаты исследований показали, что белитовая мука в чистом виде, внесенная в дозах одной и полутора гидролитической кислотности, не оказала существенного влияния на урожай. Так, внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ (Казачинский район) обеспечило прибавку урожая зерна 6,9 ц/га в среднем за 4 года по сравнению с вариантом без удобрений (табл. 44). В Пировском районе от внесения этой же дозы удобрений прибавка урожая зерновых составила 2,6–5,4 (табл. 45).

Таблица 44

**Влияние минеральных удобрений и мелиоранта на урожай зерновых культур, ц/га
(колхоз «Новая жизнь» Казачинского района)**

Вариант	1998 г.		1989 г.		1990 г.		1992 г.		Среднее	
	У*	+К**	У*	+К**	У*	+К**	У*	+К**	У*	+К**
Контроль	21,8	-	18,0	-	23,1	-	21,1	-	21,1	-
Белитовая мука 1 Нг	19,6	-2,2	17,9	-0,1	22,8	-0,3	17,3	-3,8	19,4	-1,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука 1 Нг	19,8	-2,0	22,2	4,2	41,9	18,8	24,3	3,2	27,1	6,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	21,9	0,1	23,5	5,5	40,5	17,4	26,1	5,0	28,0	6,9
НСР _{0,95} , ц/га	-	4,0	-	3,0	-	3,7	-	2,3	-	-

У* – урожай; +К** – прибавка к контролю.

Примечание: 1988 г. – пшеница; 1990 г. – ячмень (Кедр);
1989 г. – овес (Сельма); 1992 г. – овес (Сельма).

Таблица 45

**Влияние минеральных удобрений и мелиоранта на урожай зерновых культур, ц/га
(колхоз «Победа» Пировского района)**

Вариант	1998 г.		1989 г.		1990 г.		1992 г.	
	У*	+К**	У*	+К**	У*	+К**	У*	+К**
Контроль	19,5	-	7,6	-	23,3	-	20,0	-
Белитовая мука 1 Нг	21,6	2,1	7,5	-0,1	21,0	-2,3	20,8	0,8
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука 1 Нг	24,3	4,8	11,4	3,8	28,9	5,6	24,6	4,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	23,2	3,7	10,6	3,0	25,9	2,6	25,4	5,4
НСР _{0,95} , ц/га	-	4,9	-	1,7	-	3,4	-	1,0

У* – урожай; +К** – прибавка к контролю.

Примечание: 1988 г. – пшеница; 1990 г. – пшеница;
1989 г. – пшеница; 1992 г. – озимая рожь.

Совместное внесение белитовой муки и минеральных удобрений не способствовало существенному увеличению урожая. Имеющиеся отклонения находятся в пределах ошибки опытов. Таким образом, и на этих почвах подтверждается слабая отзывчивость зерновых культур на известкование.

Наблюдения за изменениями агрохимических свойств свидетельствуют о том, что после внесения белитовой муки произошло увеличение pH с 4,6–4,8 до 5,2–5,3, гидролитическая кислотность снизилась с 6–7 до 3,7–3,3 мг-экв/100 г почвы. В результате систематического внесения минеральных удобрений произошло незначительное увеличение содержания подвижного фосфора и обменного калия. По другим показателям каких-либо существенных изменений не установлено.

4.5. Влияние минеральных удобрений и белитовой муки на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические свойства почв в Канском природном округе

Влияние минеральных удобрений и белитовой муки на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические свойства почв в Канском природном округе специалистами Государственной станции агрохимической службы "Солянская" было изучено в период 1979–1986 гг. в стационарном опыте, заложенном в колхозе "Новая жизнь" Ирбейского района на серых лесных почвах.

Агрохимическая характеристика опытного участка перед закладкой опыта была следующей: содержание гумуса – 4,2–4,4%, подвижного фосфора – 112 мг/кг; реакция почвенного раствора слабокислая (pH 5,0–5,3); гидролитическая кислотность 5,5 мг-экв/100 г почвы; сумма оснований 22,8 мг-экв/100 г почвы; степень насыщенности основаниями 79–84%. Опыты были проведены со следующим чередованием культур:

- 1980 г. – люцерна первого года пользования;
- 1981 г. – люцерна второго года пользования;
- 1982 г. – люцерна второго года пользования;
- 1983 г. – пшеница;
- 1984 г. – пшеница;
- 1985 г. – кукуруза на силос;
- 1986 г. – пшеница.

Опыт с кукурузой в 1985 г. был списан из-за сильной засоренности.

Колхоз "Новая жизнь" находится в умеренно прохладном районе в достаточно увлажненной зоне. Сумма эффективных температур свыше 10°C составляет 1400–1600°.

Осадков за вегетационный период выпадает 180–200 мм. Лето сравнительно короткое. Годы проведения опытов характеризовались разной степенью увлажнения. Так, из шести лет два года (1981, 1984) были более засушливыми, что сказалось на урожае, особенно пшеницы, в 1984 г.

Первые три года изучались действие и последствие белитовой муки на урожай сена. Люцерна была посеяна 15 июня зерновой сеялкой с нормой высева семян 15 кг/га, глубина заделки семян 2–3 см. Ежегодно ранней весной перед началом вегетации вносили аммиачную селитру в подкормку в дозе 30 кг/га д.в. согласно схеме опыта.

Как показали исследования, внесение белитовой муки оказало существенное влияние на величину урожая сена люцерны (табл. 46).

Таблица 46

Влияние белитовой муки на урожай сена люцерны, ц/га

Вариант	1998 г.		1989 г.		1990 г.		Среднее за 3 года	
	У*	+К**	У*	+К**	У*	+К**	У*	+К**
Контроль	17,0	-	36,5	-	28,4	-	27,3	-
N ₃₀ (фон)	25,7	8,7	40,7	4,2	29,4	1,0	31,9	4,6
Белитовая мука 1 Нг	22,2	5,2	58,2	21,7	40,0	11,6	40,1	12,8
Белитовая мука 1,5 Нг	22,7	5,7	62,9	26,4	39,9	11,5	41,8	14,5
Фон+ белитовая мука 1 Нг	29,4	12,4	60,6	24,1	35,7	7,3	41,9	14,6
Фон+ белитовая мука 1,5 Нг	30,6	13,4	61,4	24,9	35,9	7,5	42,7	15,4
НСР _{0,95} , ц/га	-	3,3	-	8,1	-	3,0	-	-

*У – урожай; ** +К – прибавка к контролю.

Анализ полученных данных показывает, что люцерна первого года пользования от подкормки аммиачной селитрой повысила урожай на 8,7 ц/га. Белитовая мука в первый год по сравнению с фоном дала незначительную достоверную прибавку. От внесения мелиоранта на фоне N₃₀ получена прибавка 3,7–4,7 ц/га.

Во второй год пользования (1981) эффект от белитовой муки в последствии достиг максимума, причем увеличение сена люцерны произошло при внесении как в чистом виде, так и в сочетании с азотной подкормкой. В третий год пользования наибольшие прибавки были получены от белитовой муки в чистом виде, действие азотных подкормок практически не проявлялось как в чистом виде, так и совместно с мелиорантом. Данные о продуктивности люцерны в зависимости от варианта опыта представлены в таблице 47.

Таблица 47

Влияние мелиоранта и азотной подкормки на выход продукции с 1 га пашни, ц/га

Вариант	Сухое вещество	Сырой протеин	Кормовая единица
Контроль	21,2	3,2	13,7
N ₃₀ (фон)	24,3	3,5	16,2
Белитовая мука 1 Нг	30,7	4,7	19,6
Белитовая мука 1,5 Нг	31,8	5,0	20,6
Фон + белитовая мука 1 Нг	31,4	4,9	21,2
Фон + белитовая мука 1,5 Нг	32,4	4,8	21,6

Данные таблицы 47 показывают, что выход кормовых единиц в варианте с азотной подкормкой увеличился по сравнению с контролем на 2,5 ц/га, белитовая мука в чистом виде увеличила выход кормовых единиц на 5,9–6,9 ц/га и при совместном применении – на 7,5–7,9 ц/га. Как уже отмечалось выше, после люцерны высевалась пшеница сорта "Скала" (1983–1986 гг.). В 1983 г. по пласту многолетних трав вносили фосфорно-калийные удобрения (P₆₀K₆₀), в 1984–1986 гг. – N₆₀P₆₀K₆₀. Обеспеченность нитратным азотом по годам колебалась от 3 до 11 мг/кг. Из представленных данных в таблице 48 видно, что по пласту люцерны урожай составил 24,3–26,6 ц/га. В целом при-

бавки как от мелиоранта, так и от минеральных удобрений, были невысокие.

По обороту пласта в условиях недостаточного увлажнения в 1984 г. урожай на контроле был довольно низкий. Полученные же прибавки между вариантами находились в пределах ошибки опыта. В 1986 г. наблюдалась самая высокая отзывчивость пшеницы на минеральные удобрения. В среднем за три года пшеница, идущая в звене (многолетние травы и три пшеницы) в основном отзывалась на минеральные удобрения – 3,9 ц/га к контролю.

Таблица 48

Действие минеральных удобрений и мелиоранта на урожай яровой пшеницы сорта "Скала", ц/га

Вариант	1983 г.		1984 г.		1986 г.		Среднее за 3 года	
	У*	+К**	У*	+К**	У*	+К**	У*	+К**
Контроль	24,3	-	12,4		16,4	-	17,7	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (фон)	25,8	1,5	15,7	3,3	23,3	6,9	21,6	3,9
Белитовая мука 1 Нг	-	1,5	15,3	2,9	16,2	-0,2	19,1	1,4
Белитовая мука 1,5 Нг	25,8	2,3	15,5	3,1	18,0	1,6	20,0	2,3
Фон+ белито- вая мука 1 Нг	26,6	2,1	17,8	5,4	24,4	8,0	22,9	5,2
Фон+ белито- вая мука 1,5 Нг	26,4	2,3	17,6	5,2	22,9	6,8	22,4	4,7
НСР _{0,95} , ц/га	-	2,0	-	3,1	-	1,8	-	-

*У – урожай; ** +К – прибавка к контролю.

Действие же белитовой муки было низкое, полученные прибавки по сравнению с фоном недостоверны и находились в пределах ошибки опыта. То, что зерновые слабо реагируют на кислотность, подтверждается и в этом опыте.

Как показали исследования, под воздействием мелиоранта меняются агрохимические свойства почвы (табл. 49).

Из данных таблицы 49 видно, что величина pH в первых двух вариантах с 1979 по 1986 г. осталась без изменения. В вариантах же с применением белитовой муки увеличилась на 0,3–0,6 единиц. Гидролитическая кислотность почв от применения белитовой муки в чистом виде и от сочетания с минеральными удобрениями уменьшилась с 5,0–5,5 до 2,6–3,8 мг-экв/100 г почвы. Степень насыщенности основаниями увеличилась на 5–8 % в 5-м и 6-м вариантах.

Таблица 49

Действие белитовой муки на агрохимические свойства почвы (0–20 см)

Вариант	pH _{KCl}		Нг		S		V	
	*1	*2	*1	*2	*1	*2	*1	*2
Контроль	5,0	5,2	5,5	5,2	26,5	25,0	79,0	83,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (фон)	5,2	5,1	4,9	4,3	26,4	25,3	81,0	83,0
Белитовая мука 1 Нг	5,0	5,5	5,0	3,8	26,6	26,1	84,2	85,0
Белитовая мука 1,5 Нг	5,1	5,7	5,2	3,6	25,9	23,4	80,0	85,0
Фон+ белитовая мука 1 Нг	5,2	5,6	5,4	3,1	25,8	25,9	79,0	88,0
Фон+ белитовая мука 1,5 Нг	5,3	5,6	5,5	2,6	26,8	26,7	79,0	91,0

*1 – 1979 г. до внесения белитовой муки; *2 – 1986 г.
Примечание. Нг – величина гидролитической кислотности, мг-экв/100 г почвы; S – сумма обменных оснований, мг-экв/100 г почвы; V – степень насыщенности основаниями, %.

4.6. Влияние минеральных удобрений и белитовой муки на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические свойства почв в правобережье Минусинской впадины

Исследования, о которых пойдет речь, были выполнены сотрудниками Государственной станции агрохимической службы "Минусинская" в 1987–1989 гг. в стационарном опыте, заложенном в АО "Субботинское" Шушенского района.

Почва – чернозем оподзоленный среднесуглинистого гранулометрического состава с содержанием гумуса 9,7%, pH_{KCl} – 4,9, содержание подвижных форм питательных веществ высокое. Урожайные данные приведены в таблице 50.

Таблица 50

**Влияние минеральных удобрений и мелиоранта
на урожай яровой пшеницы, ц/га**

Вариант	1983 г.		1984 г.		1986 г.		Среднее за 3 года	
	*У	**+К	*У	**+К	*У	**+К	*У	**+К
Контроль	40,5	-	29,5	-	31,4	-	33,8	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	41,7	1,2	33,2	3,7	40,0	8,6	38,3	4,5
N ₆₀ P ₆₀	41,4	0,9	31,6	2,1	40,8	9,4	37,9	4,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	43,4	2,9	32,9	3,4	40,4	9,0	38,9	5,1
N ₉₀ P ₉₀	43,0	2,5	33,3	3,8	38,9	7,5	38,4	4,6
Белитовая мука 1 Нг	42,1	1,6	34,9	5,4	33,1	1,7	36,7	2,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + белитовая мука 1 Нг	44,0	3,5	34,8	5,3	44,3	12,9	41,0	7,2
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука 1 Нг	47,9	7,4	37,7	8,2	41,0	9,6	42,2	8,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + белитовая мука 1,5 Нг	48,2	7,7	38,0	8,5	43,8	12,4	43,4	9,5
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + белитовая мука 1,5 Нг	47,7	7,2	35,2	5,7	47,4	16,0	43,2	9,6
НСР _{0,95} , ц/га	-	-	-	6,7	-	6,8	-	-

*У – урожай; ** +К – прибавка к контролю.

Результаты проведенных опытов показали, что урожаи даже без внесения минеральных удобрений в исследуемом районе были достаточно высокими. В первый год по пару урожай составил 40,5 ц/га, а минеральные удобрения эффекта не дали. В последующие годы эффективность минеральных удобрений усилилась. Так, в 1984 г. от внесения N₆₀P₆₀K₆₀ прибавка составила 3,7 ц/га, в 1986 г. – 8,6 ц/га. От внесения белитовой муки как в чистом виде, так и совместно с минеральными удобрениями, прослеживалась тенденция увеличения урожая, тем не менее прибавки в большинстве были недостоверны. Существенное увеличение урожая было получено только в 1986 г. в варианте N₉₀P₉₀K₉₀ + белитовая мука 1,5 Нг.

Однако следует иметь в виду, что эти прибавки при таких высоких урожаях экономически себя не оправдывают. Качество зерна между вариантами слабо различается, содержание клейковины невысокое и соответствует второй группе. Под воздействием белитовой муки меняется рН_{КСЛ} (табл. 51), увеличиваясь на 0,6–0,9 ед.

Таблица 51

**Влияние минеральных удобрений и белитовой муки
на изменение pH_{KCl}**

Вариант	1987 г.	1988 г.	1989 г.
Контроль	5,2	5,2	5,1
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,2	5,2	5,1
$N_{60}P_{60}$	5,2	5,2	5,1
$N_{90}P_{90}K_{90}$	5,0	5,1	5,1
$N_{90}P_{90}$	4,9	5,1	5,1
Белитовая мука 1 Нг	4,9	5,5	5,5
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + белитовая мука 1 Нг	4,9	5,4	5,6
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + белитовая мука 1 Нг	4,9	5,5	5,6
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + белитовая мука 1,5 Нг	4,9	5,6	5,7
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + белитовая мука 1,5 Нг	4,9	5,8	5,8

4.7. Эффективность калийных удобрений на кислых почвах Красноярского края

Калий относится к одному из наиболее слабоизученных элементов питания растений в почвах Красноярского края. Всестороннее познание его свойств необходимо для грамотного решения рационального использования калийных удобрений. Как было отмечено выше, среди пахотных угодий в крае преобладают почвы с повышенным и высоким содержанием обменного калия, которые составляют 72,2% от общей площади. Однако на общем фоне достаточно высокого содержания калия в почвах выделяются отдельные природные округа, в которых значительный удельный вес занимают почвы с низким и средним его содержанием. Преимущественно это районы, где в почвенном покрове преобладают кислые почвы (дерново-подзолистые и серые лесные оподзоленные).

Как видно из приведенных данных в таблице 52, низким содержанием обменного калия в целом по краю характеризуется 8,6% пашни, а в подтаежном природном округе – 46,5%. Пло-

щади со средним содержанием составляют соответственно 18,7 и 40,0%.

Таблица 52

**Группировка почв пашни по содержанию обменного калия, %
обследованной площади**

Наименование	Обследованная площадь, тыс. га	Содержание калия						Средневзвешенное содержание, мг/кг
		Очень низкое	Низкое	Среднее	Повышенное	Высокое	Очень высокое	
Подтаежный природный округ	255,6	4,0	46,5	40,0	8,7	3,8	1,0	98
По краю	3137,4	0,8	8,6	18,7	22,4	33,2	17,1	115

Таким образом, для кислых почв Красноярского края характерно низкое содержание обменного калия. Основным показателем обеспеченности растений калием в настоящее время принято считать содержание обменного калия в почве.

Таблица 53

**Группировка почв по содержанию обменного калия
для всех почв края**

Группа по содержанию	K ₂ O, мг/100 г почвы		
	по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину
1. Очень низкое	Менее 5,0	Менее 5,0	Менее 10,0
2. Низкое	5-10	5-7	10-20
3. Среднее	10-15	7-9	20-30
4. Повышенное	15-20	9-11	30-40
5. Высокое	20-30	11-15	40-60
6. Очень высокое	>30	>15	>60

При составлении картограмм по калию и разработке соответствующих рекомендаций используются градации, представленные в таблице 53. Приведенные градации предназначены для всех почв. Непосредственно для кислых почв используются градации по методу Кирсанова, для черноземных почв – Чирикова, для карбонатных – по методу Мачигина.

Заметим, что содержание обменного калия, доступное для растений, очень разнообразно и изменяется в пахотном слое от 2 до более 40 мг/100 г почвы. В этой связи возникают вопросы: какое количество того или иного элемента в почве достаточно для формирования хорошего урожая? При каком конкретном его содержании вносимые удобрения дадут прибавку урожая? Ответами на них могут послужить специальные так называемые диагностические опыты. Первые из них в крае были проведены в Канском и Ачинско-Боготольском природных округах [Крупкин, Антипина, 1986] применительно к фосфору.

В результате были разработаны местные шкалы, которые отличались не только от придержек, предложенных авторами химических методов, работающих в европейской части Российской Федерации, но и между собой, несмотря на сравнительно небольшое расстояние между упомянутыми природными округами.

При составлении картограмм по калию и разработке соответствующих проектов используются шкалы, разработанные Красноярским НИИ сельского хозяйства, которые базируются на малочисленных опытах, проведенных в крае (табл. 53).

Аналогичные подходы к оценке обеспеченности почв элементами питания широко используются и в зарубежных странах. Особый интерес представляет опыт, накопленный в Германии (табл. 54).

Таблица 54

Группировка пахотных почв по содержанию доступных форм калия, мг/100 г [Макаренко, 1991]

Класс почв	Уровень содержания питательных веществ	Содержание K_2O в почвах по гранулометрическому составу		
		Легкие	Средние	Тяжелые
1	Низкий	0-4	0-6	0-8
2	Средний	5-11	7-14	9-19
3	Высокий (оптимальный)	12-20	15-25	20-33
4	Очень высокий	20-29	26-39	34-49
5	Чрезвычайно высокий	>30	>40	>50

Определение доступных для растений обменных форм калия проводится в растворе 0,1 М лактата кальция+0,1 М ацетата кальция (метод Эгнера-Рима) и на почвах с высоким содержанием органического вещества с 0,02 М лактата кальция (рН 6,8). В Германии, по данным [Макаренко,1991], принято считать, что калия выше оптимального уровня в почве не должно содержаться (3-й класс почв в табл. 54).

Дальнейшее внесение на этих почвах удобрений экономически нецелесообразно, так как это не только беспроцентное вложение капитала, но и причина ухудшения продукции и источник отрицательного воздействия на окружающую среду. Классы (градации) по Н.М. Макаренко дифференцируются в зависимости от гранулометрического состава почв и не являются раз и навсегда установленными величинами, так как со временем по различным причинам могут меняться.

Из данных таблицы 54 мы видим, что при низком уровне обменного калия на легких почвах содержание его составляет до 4 мг/100 г почвы, на средних – до 6, на тяжелых – до 8 мг/100 г почвы. При оптимальном же содержании соответственно 12–20, 15–25, 20–33 мг/100 г почвы. Кроме того, существующие классы (градации) периодически уточняются (корректируются) в полевых опытах с удобрениями различных сельскохозяйственных культур.

Следует отметить, что предложенные для агрохимической службы градации (табл. 53) в зависимости от гранулометрического состава не дифференцируются в отличие от приведенных (табл. 54). Поэтому в перспективе необходимо исправить этот пробел и перейти к проведению диагностических опытов.

Анализ результатов опытов показывает, что на черноземных почвах Красноярского края при высоком содержании калия в почве калийные удобрения в дозах 40–90 кг/га д.в. на фоне азотно-фосфорных не обеспечивают получение достоверных прибавок урожая различных сельскохозяйственных культур [Крупкин, Крупкина, 1974].

На кислых почвах эффективность калийных удобрений на дерново-подзолистых и серых лесных почвах в разных природных округах в Центральной Сибири неоднозначна.

На среднекислых темно-серых почвах (Минусинский природный округ) с низким содержанием обменного калия внесение калийных удобрений под зерновые и кормовые культуры высокоэффективно. В проведенных опытах в данном природном округе на обыкновенных и выщелоченных черноземах по пару в основном «работал» один фосфор, а по другим предшественникам – азотно-фосфорные удобрения. На темно-серых же почвах по пару лучшие результаты дали фосфорно-калийные удобрения, а по зерновым и пропашным предшественникам – все три элемента в комплексе.

Для изучения эффективности удобрений наряду с полевыми проводились и вегетационные опыты, для которых была отобрана темно-серая лесная почва Шушенского района, характеризующаяся высоким содержанием подвижного фосфора, слабокислой реакцией почвенной среды, низким содержанием обменного калия (6–7 мг/100 г почвы, опыт 1).

Кроме того, в 1977–1978 гг. были привезены почвы с двух полей Ермаковского стационара: 1-е поле – естественный фон без внесения удобрений; почва темно-серая с содержанием K_2O 6–7 мг/100 г, подвижного фосфора – 7 мг/100 г (опыт 3); 2-е поле систематически удобрялось с 1971 г.; почва темно-серая с содержанием обменного калия 7 мг/100 г, подвижного фосфора – 15 мг/100 г (опыт 2). Обе почвы среднекислые.

Таблица 55

Влияние минеральных удобрений на урожай пшеницы, г/сосуд

Вариант	Почвы Шушенского района		Почвы Ермаковского района			
	Опыт 1		Опыт 2		Опыт 3	
	Урожай	Прибавка	Урожай	Прибавка	Урожай	Прибавка
Контроль	4,5	-	3,3	-	5,6	-
NK	11,5	7,0	14,5	11,2	-	-
PK	6,4	1,9	3,3	0	-	-
NP	16,8	12,3	14,1	10,8	9,8	4,2
NPK _{0,5}	20,6	16,1	-	-	-	-
NPK _{1,0}	19,2	14,7	15,6	12,3	14,7	9,1
HCP _{0,95}	1,5	-	0,97	-	1,5	-

По данным таблицы 55, самые высокие достоверные прибавки получены от внесения полного удобрения. Половинная доза калия дала прирост урожая наравне с полной. На сравниваемых почвах получены достоверные прибавки от калийных удобрений.

Своеобразно действие удобрений на почвах, взятых на разных фонах со стационара. Внесением калийных удобрений в 1971 г. уровень обменного калия был доведен до 15 мг/100 г почвы, но уже в 1974 г. он не отличался от естественного фона и составлял 7 мг/100 г почвы. Однако удобренность в предшествующие годы положительно сказалась на урожае в 1977–1989 гг. Так, если в опыте на неудобренном фоне отмечалась высокая эффективность калийных удобрений – 4,9 г/сосуд (опыт 3), то в опыте на удобренной почве (опыт 2) эффективность дополнительно внесенных калийных удобрений резко падала и составляла всего 1,5 г/сосуд. Такие показатели говорят о том, что калий из удобрений может поглощаться почвой и переходить в необменное состояние, которое впоследствии используется растениями, а его последствие может проявляться даже на третьей культуре. По данным С.М. Горбачевой (1975), при внесении K_{60} серая лесная почва зафиксировала 40–56% K_2O в необменной форме. Этот процесс наиболее сильно выражен в условиях попеременного смачивания и высушивания почвы.

Ввиду того, что современные химические методы определения обменного калия не всегда могут давать объективную оценку, особенно на кислых почвах, важное практическое значение имеет систематический учет удобренности полей.

В другой серии вегетационных опытов нами сравнивалась эффективность калийных удобрений в зависимости от гранулометрического состава. Так, почвы из Подтаежного природного округа (Козульский район) характеризуются низким содержанием обменного калия и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом. Темно-серые почвы Ермаковского являются среднесуглинистыми, но с низким содержанием обменного калия. Результаты проведенных опытов показали, что эффективность калийных удобрений слабее проявилась на почвах тяжелого гранулометрического состава. Здесь прибавки составили 1,1–1,6 г/сосуд. В то же время на среднесуглинистых

почвах (Ермаковский район) получены более высокие прибавки – 4,8–4,9 г/сосуд (табл. 56).

Таблица 56

**Эффективность калийных удобрений под пшеницу
по данным вегетационных опытов**

Год исследо- ваний	Содержание обменного калия, мг/100 г почвы	Урожай по вариантам, г/сосуд			Достоверная прибавка, за счет калия, г/ сосуд
		Контроль	NP	NPK	
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая (Козульский район)					
1977	8,0	4,3	16,7	17,8	1,1
1979	8,0	5,7		12,0	13,6
Темно-серая среднесуглинистая (Ермаковский район)					
1977	6,0	5,6	9,8	14,7	4,9
1981	6,0	4,7	9,1	13,9	4,8

Таким образом, на среднесуглинистых темно-серых лесных почвах калийные удобрения более эффективны, чем на дерново-подзолистых тяжелого гранулометрического состава. Данная закономерность подтверждается и результатами научных исследований В.М. Устюгова. Его опыты в Канском и Ачинском природных округах не подтвердили эффективность калийных удобрений на серых лесных тяжелосуглинистых почвах [Устюгов, 1964]. Следует отметить, что эффективность калийных удобрений во многом зависит от вида растений. Как показали исследования (табл. 57), на дерново-подзолистых средне- и сильнокислых почвах с тяжелым гранулометрическим составом калийные удобрения в отличие от пшеницы обеспечили достоверную прибавку ячменя [Танделов, Ерышова, 1980].

Таблица 57

Влияние калийных удобрений на урожай ячменя на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах

Год исследований	Содержание обменного калия, мг/100 г	Урожай по вариантам, г/сосуд			Достоверная прибавка за счет калия, г/сосуд
		P	NP	NPK	
1978	8,0	4,2	8,2	19,1	10,9
1979	8,0	6,6	13,2	16,1	2,9

Прибавки 10,9 и 2,9 г/сосуд, полученные за счет внесения калийных удобрений, были существенны, что свидетельствует о достаточно высокой эффективности калийных удобрений под ячмень.

Существующие шкалы обеспеченности растений фосфором и калием основываются на опытах, проведенных на участках с разным естественным содержанием фосфора и калия. Между тем известно, что внесенные в почву удобрения растениями используются не полностью. Поэтому в процессе систематического применения их в почве происходит накопление подвижных питательных веществ.

Уровни обеспеченности растений подвижным фосфором и калием, которые создаются при внесении удобрений, изучены слабо. Этот вопрос приобретает особенно актуальное значение в связи с разным использованием растениями естественных и искусственно созданных запасов питательных веществ.

Для изучения этой проблемы нами были проведены стационарные опыты на темно-серых лесных кислых почвах Минусинского природного округа по двум предшественникам (зерновому и пропашному). Мощность гумусового горизонта 55 см, гумуса в пахотном слое 9%, валового азота 0,36%, калия 1,2%. В почвах опытных участков наблюдалось очень низкое и низкое содержание подвижного фосфора и низкое обменного калия.

Стационарные участки были разбиты на четыре поля и в 1971 г. под перепашку на первое поле мы вносили P_{200} , на второе – P_{400} , на третье поле – $P_{400}K_{400}$. Четвертое поле было оставлено с естественным содержанием питательных веществ.

В результате создались четыре фона. Перед внесением удобрений на каждом из полей отбирались образцы, в которых определялось содержание P_2O_5 (8,3 мг/100 г почвы) и K_2O (7,2 мг/100 г почвы) по Кирсанову. Каждое поле весной 1972 г. делилось пополам. На одну половину поля в течение 1972–1974 гг. накладывалась одна и та же схема опыта.

Ежегодно весной до внесения удобрений отбирались смешанные образцы из пахотного слоя со всех полей. В них определялось содержание подвижных форм фосфора и обменного калия по Чирикову и Кирсанову, а также нитратного азота с дисульфифеноловой кислотой. Изменение агрохимических свойств на созданных фонах приведено в таблице 58.

Таблица 58

**Изменение содержания обменного калия
на искусственно созданных фонах, мг/100 г**

Фон (1971)	Метод	1972 г.		1973 г.		1974 г.	
		Весна	Осень	Весна	Осень	Весна	Осень
Естест- венный	по Кирсанову	8,8		7,2	6,9	7,4	7,2
	по Чирикову	7,4	7,0	6,1	6,1	7,7	5,6
P ₂₀₀	по Кирсанову	7,2		9,4	6,4	7,3	6,2
	по Чирикову	5,5	7,0	7,6	5,1	6,1	5,0
P ₄₀₀	по Кирсанову	8,0		7,7	6,9	7,1	6,4
	по Чирикову	5,6	6,0	5,8	4,5	6,3	5,5
P ₄₀₀ K ₄₀₀	по Кирсанову	15,6		10,7	9,4	10,8	7,4
	по Чирикову	20,6	8,0	10,1	8,6	10,5	5,5

Судя по приведенным данным в таблице 58, содержание обменного калия на естественном фоне и при внесении P₂₀₀, P₄₀₀ осталось на исходном уровне и было очень близким на разных фонах. На четвертом (P₄₀₀K₄₀₀) его количество увеличилось в 2 раза, но к осени 1974 г. вновь уменьшилось.

Применение калийных удобрений на фоне NP повышало урожайность зерна от 2,2 до 4,4 ц/га (табл. 59).

Таблица 59

**Эффективность калийных удобрений на темно-серых
лесных почвах Ермаковского района**

Год	Культура	Предшественник	Урожайность, ц/га			Достоверные прибавки от калия, ц/га
			Контроль	N ₆₀ P ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	
1971	Пшеница	Кукуруза	12,0	14,6	19,0	4,4
1971	Пшеница	Пшеница	6,7	6,9	9,8	2,9
1971	Пшеница	Пар	6,7	9,4	12,0	2,6
1973	Пшеница	Пшеница	8,9	13,1	15,3	2,2
1974	Овес	Пшеница	11,5	19,5	23,8	4,3

При систематическом внесении удобрений на первых двух фонах (естественном и P_{200}) лучшие результаты получены в варианте с полным удобрением, где сумма прибавок в первом случае составила 24 ц/га, во втором – 21,0 (табл. 60).

На естественном фоне более высокое увеличение урожая приходится на фосфорные удобрения (44%), пониженное – на азотные (29%) и калийные (27%). На фосфорном фоне (P_{200}) эффективность ежегодного внесения фосфорных удобрений ослабляется, а действие $N_{60}K_{60}$ усиливается.

Таблица 60

Влияние удобрений на урожай на фосфорном и фосфорно-калийном фонах, ц/га (средние данные за 1972–1974 гг.)

Фон	Урожай на контроле	Достоверная прибавка от удобрений			
		$P_{60}K_{60}$	$N_{60}K_{60}$	$N_{60}P_{60}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
Естественный	27,0	14,5	9,6	14,9	24,0
P_{200}	37,8	7,2	2,5	9,2	21,0
P_{400}	35,9	7,7	19,3	9,2	19,1
$P_{400}K_{400}$	48,3	1,5	11,1	9,5	10,2

На созданном фоне (P_{400} , 1971 г.) вторые и третьи зерновые отзываются лишь на азотно-калийные удобрения, причем роль каждого из них примерно одинаковая (повышение урожая в пределах 50%). На фоне же $P_{400}K_{400}$ действует в основном один азот, а систематическое внесение калийных и фосфорных удобрений неэффективно.

Характерно, что в нормально увлажненном 1973 г. внесение K_{60} на низком естественном фосфорном фоне дало прибавку 1,8 ц/га, а на высоком (P_{400}) – 3,8. В засушливом 1974 г. прибавка от калия не была получена ни в одном из опытов.

4.8. Об оптимальном уровне обеспеченности почв подвижным фосфором

Красноярский край отличается большим разнообразием природных условий. С этим связана и неодинаковая обеспеченность почв подвижным фосфором, содержание которого на однотипных почвах сильно различается даже в пределах одного природного округа. Например, в Минусинской лесостепи средневзвешенное содержание подвижного фосфора составляет 14,0–15,0 мг/100 г, а ближе к подтаежной зоне – 7–8 мг/100 г. Такая же закономерность наблюдается и в Канской лесостепи. Здесь в северо-восточной части средневзвешенное содержание фосфора составляет 21,0 мг/100 г, а в южной в пределах 10,0 мг/100 г.

Важно знать площадь пашни, на которой ожидается высокий эффект от применения фосфорных удобрений. Основой получения такой информации является проведение периодического агрохимического мониторинга почв. Общеизвестно, что при достижении оптимального содержания в почве подвижного фосфора прибавка от вновь вносимых фосфатов снижается и приближается к нулю. Поэтому агрохимическое обследование эффективно в том случае, если имеются апробированные научно обоснованные критерии оценки (градации) обеспеченности почв.

Для оценки степени обеспеченности почв фосфором и составления агрохимических картограмм приняты градации, которые разработаны Красноярским НИИСХ. Основой этих градаций послужили результаты немногочисленных опытов, проведенных в основном в типичной лесостепи Канского округа и Ачинско-Боготольской лесостепи. В исследованиях для определения фосфора был использован метод Труога, поэтому для создания градаций для метода Чирикова, который в это время уже широко использовался в агрохимической службе, был произведен перерасчет аналитических данных.

Шкалы, полученные для Ачинско-Боготольской лесостепи, были распространены и на почвы Чулымо-Енисейской лесостепи, а для Канской – на почвы Красноярской и Минусинской (табл. 61).

Таблица 61

**Группировка почв по содержанию подвижного
фосфора, мг/100 г**

Содержание	Канская, Красноярская, Минусинская лесостепи с прилегающей подтайгой и степь		Ачинско-Боготольская, Чулымо-Енисейская лесостепи с прилегающей подтайгой	
	по Чирикову	по Кирсанову	по Чирикову	по Кирсанову
Очень низкое	<10,0	<15,0	<2,5	<5,0
Низкое	10,0-15,0	15,0-20,0	2,5-5,0	5,0-10,0
Среднее	15,0-20,0	20,0-25,0	5,0-10,0	10,0-15,0
Повышенное	20,0-25,0	25,0-30,0	10,0-15,0	15,0-20,0
Высокое	25,0-30,0	30,0-35,0	15,0-20,0	20,0-25,0
Очень высокое	>30,0	>35,0	>20,0	>25,0

Сравнение с общероссийскими градациями показало, что наиболее близки к ним региональные «малые» градации. Насколько же корректны используемые в крае нормативы? Ответ на этот вопрос могут дать только результаты диагностических опытов на различных агрохимических фонах. Такие исследования проводили учреждения агрохимической службы края с самого начала ее основания. Были поставлены как полевые, так и микрополевые и вегетационные опыты.

Исследования проводили на участках с различной естественно сложившейся обеспеченностью почв подвижным фосфором (кратковременные опыты) и в пределах одного участка на искусственно созданных фонах.

Участки готовили за год до закладки опытов путем единовременного внесения разных доз фосфорных удобрений. Были использованы и фоны, созданные при длительном систематическом внесении фосфорных удобрений.

Результаты опытов, проведенных на черноземах в разных почвенно-климатических зонах, приведены в таблице 62. Как видно из обобщенных данных, в Канской лесостепи значительные прибавки урожая от фосфора (до 42%) получены в опытах при содержании в почве подвижных фосфатов менее 10,0 мг/100 г. С увеличением содержания подвижного

фосфора до 15,0 мг/100 г получены прибавки до 25% только по парам, по остальным предшественникам они не превышают 12%. Дальнейшее увеличение фосфора в почве до 20,0 мг/100 г не дает достоверной прибавки урожая. Эффективность удобрений в Красноярской и Чулымо-Енисейской лесостепи аналогична для Канской лесостепи.

Таблица 62

**Эффективность фосфорсодержащих удобрений
в зависимости от содержания P_2O_5 , мг/100 г**

Место проведения опыта	n	Содержание P_2O_5 по Чирикову	Урожай на контроле, ц/га	Прибавка от фосфора, %
Красноярская лесостепь	2	10,0-15,0	22,7	20-38
	7	15,0-20,0	26,1	8-23
	7	20,0-25,0	27,1	0,3-12
	3	25,0-30,0	26,1	3-9
Канская лесостепь	14	<10,0	21,1	5-42 (33-42)*
	13	10,0-15,0	20,4	0-26 (12-22) *
	9	15,0-20,0	21,5	-9-13
	8	20,0-25,0	27,9	-5-6 (5)
	7	25,0-30,0	28,3	-15-7
Чулымо-Енисейская лесостепь	3	5,0-10,0	21,5	29-50
Минусинская лесостепь	25	15,0-20,0	17,1	20-48
	9	20,0-25,0	21,4	17-24
	11	25,0-30,0	31,2	0-3

*Результаты вегетационных опытов.

Так, при содержании P_2O_5 по Чирикову более 20,0 мг/100 г удобрения практически не работают, прибавки ниже 10%. К тому же 90% урожая создается за счет почвенных фосфатов. Такой уровень содержания подвижного фосфора можно считать оптимальным. Несколько другая ситуация складывается в Минусинской группе районов. Здесь на почвах черноземного типа хорошие прибавки (14–45%) получены при содержании подвижного фосфора в пределах 15,0–20,0 мг/100 г. В следующем классе (20,0–25,0 мг/100 г) они снижаются почти в два раза, но все еще продолжают быть существенными. При количестве подвижного фосфора выше 25,0 мг/100 г фосфорные удобрения не изменяют урожай пшеницы.

Таблица 63

Эффективность фосфорных удобрений на искусственно созданных фонах

Содержание подвижного фосфора, мг/100 г	Место отбора почвы	Вариант	Средняя масса подсолнечника, г/сосуд	Прибавка к контролю	
				г/сосуд	%%
8,0	Контрольные деланки стационарного опыта	Контроль	1785	-	-
		РК	3355	1570	88
		NP	3448	1663	93
		NPK	3361	1576	88
13,0	Делянки с внесением $N_{60}P_{60}K_{60}$ с 1977 г.	Контроль	2525	-	-
		РК	3190	655	26
		NP	4030	1505	60
		NPK	4001	1476	58
16,0	Делянки с внесением $N_{90}P_{90}K_{90}$ с 1977 г.	Контроль	3099	-	-
		РК	3750	651	21
		NP	4139	1164	33
		NPK	3919	72	26

На кислых почвах подтаежной зоны проведена серия полевых, микрополевых и вегетационных опытов на фонах, ис-

кусственно созданных путем систематического применения обычных доз минеральных удобрений. За счет внесения удобрений естественный низкий фон фосфора в почве (7,5–9,0 мг/100 г почвы по Кирсанову) был увеличен до среднего (12,7–13,6) и повышенного (14,5–17,5). Обобщение результатов показало, что на почвах с низким содержанием фосфора (8,1 мг/100 г почвы по Кирсанову) внесение минеральных удобрений весьма эффективно (табл. 63).

Минеральные удобрения увеличивают массу подсолнечника в сосудах на 88–93% по отношению контролю. Причем, судя по разности вариантов РК и NPK, действие азотных удобрений слабое, основное увеличение массы подсолнечника произошло за счет применения суперфосфата. Несколько иная картина наблюдается в исследованиях на почвах со средним содержанием фосфора (13,0 мг/100 г почвы по Кирсанову). Сравнивая действие всех вариантов, можно отметить, что в данном случае прибавки от дополнительного внесения фосфора значительно уменьшились, а эффективность азотных удобрений заметно возросла.

Таблица 64

Влияние искусственно созданного фона на эффективность фосфорных удобрений

Вариант	Содержание подвижного фосфора, мг/100 г	1986 г.			1987 г.		
		Масса подсолнечника, г/сосуд	Прибавка к контролю		Масса подсолнечника, г/сосуд	Прибавка к контролю	
			г/сосуд	%		г/сосуд	%
Контроль	-	2275	-	-	4620	-	-
РК	17,5	2311	36	15	4387	233	-5
NP	-	2601	326	4	5037	417	9
NPK	-	2260	15	-17	5175	555	123

В этом опыте азотные и фосфорные удобрения равнозначно влияли на развитие растений, доля их в увеличении

массы подсолнечника составила примерно 30% по отношению к контролю.

При содержании P_2O_5 по Кирсанову 16,0 мг/100 г положительное действие фосфорных и азотных удобрений падает. Суммарное увеличение массы подсолнечника к контролю составляет 21–23%, причем 20% приходится на фосфорные удобрения. В другой серии опытов, когда содержание подвижного фосфора стабилизировалось в пределах 17 мг/100 г, достоверного изменения массы подсолнечника не получено (табл. 64). Такая же тенденция проявилась и в вегетационных опытах (табл. 65).

Таблица 65

**Влияние фосфорных удобрений на урожай пшеницы
по результатам вегетационных опытов**

Содержание подвижного фосфора, мг/100 г	Место отбора почвы	Вариант	Средняя масса зерна пшеницы, г/сосуд	Прибавка к контролю	
				г/сосуд	%
<u>7,5-9,0</u> 8,1	Контрольные деланки стационарного опыта	Контроль	8,37	-	-
		НК – фон	30,17	-	-
		Фон+P1	55,78	25,61	85
		Фон+P2	63,06	32,89	109
		Фон+P3	69,84	39,67	131
<u>12,7-13,6</u> 13,1	Делянки с внесением $N_{60}P_{60}K_{60}$	Контроль	10,74	-	-
		НК – фон	32,32	-	-
		Фон+P1	54,34	22,02	68
		Фон+P2	56,24	23,92	74
		Фон+P3	64,92	32,60	101
<u>14,5-17,5</u> 15,9	Делянки с внесением $N_{90}P_{90}K_{90}$	Контроль	16,44	-	-
		НК – фон	44,20	-	-
		Фон+P1	57,82	13,62	31

Примечание. В числителе указаны колебания содержания фосфора, в знаменателе – среднее.

На фоне азотно-калийных удобрений в зависимости от доз внесенного фосфора масса пшеницы в сосудах увеличивалась на естественном фоне (8,1 мг/100 г) на 85% по отношению к фону, при содержании 13,1 мг/100 г – на 68, при содержании 15,9 мг/100 г – на 31% .

Из данных таблицы 65 видно, что с увеличением содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах Ачинско-Боготольской лесостепи наблюдается увеличение урожайности сельскохозяйственных культур и снижение эффективности фосфорных удобрений при 15–17 мг/100 г P_2O_5 по Кирсанову.

В Минусинской лесостепи на кислых темно-серых тяжело-суглинистых почвах проведены исследования на искусственно созданных фонах путем разового внесения высоких доз фосфорных удобрений (P_{200} и P_{400} кг/га д.в.). На этих фонах и почве с естественным содержанием фосфора через год были заложены полевые опыты в звене севооборота пар-пшеница-овес по схеме: контроль, $P_{60}K_{60}$, N_{60} P_{60} , N_{60} K_{60} , $N_{60}P_{60}K_{60}$. Анализы почвенных образцов показали, что через год после внесения высоких доз удобрений содержание подвижного фосфора увеличилось в соответствии с количеством внесенных туков и составило на естественном фоне 7,0–8,8 мг/100 г по Кирсанову, при внесении P_{200} – 11,9, P_{400} – 15,6 мг/100 г. На искусственно созданных фонах сумма урожаев за три года значительно возросла по сравнению с естественным фоном и составила на фоне 12 мг/100 г 37,8 ц/га, на фоне 15 мг/100 г – 35,9 ц/га.

На естественном фоне большая доля прибавки приходилась на фосфорные удобрения (44,5% от общей). На фоне 12 мг/100 г эффективность ежегодно внесенных фосфорных удобрений снижается. На фоне 15 мг/100 г вторая и третья культура зерновых отзывались лишь на азотно-калийные удобрения.

Повышение фосфорного уровня на темно-серых лесных почвах Минусинской впадины до 9–12 мг/кг способствует увеличению урожая пшеницы. Дальнейшее увеличение содержания P_2O_5 выше 15–16 мг/100 г не дает эффекта при возделывании данной культуры. Следовательно, на данных почвах содержание фосфатов до 8 мг/100 г почвы можно считать низким, более 15 мг/100 г – оптимальным.

Таким образом, из результатов проведенных диагностических опытов следует, что во всех островных лесостепях края, кроме Минусинской, при определении подвижного фосфора по методу Чирикова следует применять так называемую «малую» градацию, а в Минусинской лесостепи – большую (табл. 61). Для кислых почв при определении подвижного фосфора методом Кирсанова по всем зонам необходимо применять только «малую» градацию.

В системе агрохимической службы Красноярского края накоплен большой научно-исследовательский материал, дающий основание для корректировки и внедрения нормативных показателей для оценки плодородия почв в разных природных округах Красноярского края.

Учитывая, что оптимальное содержание фосфора в почве величина непостоянная, которая может возрастать с учетом требований научно-технического прогресса в сельском хозяйстве, с повышением урожайности культур, в дальнейшем необходимо расширять исследования по данной теме, повсеместно проводить диагностические опыты.

Глава 5. ОТНОШЕНИЕ ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ КУЛЬТУР И СОРТОВ К КИСЛОЙ РЕАКЦИИ СРЕДЫ

Продуктивность сельскохозяйственных культур в большой степени зависит от кислотности почвы, которая оказывает отрицательное воздействие на растения. Наиболее существенными факторами, связанными с кислотностью почвы и резко снижающими продуктивность сельскохозяйственных культур, являются обменный водород и подвижный алюминий.

Подвижный алюминий в почвах резко увеличивается при pH ниже 5,0, его токсичность начинает проявляться, как правило, на самых ранних этапах развития растений через подавление роста корней [Небольсин, Небольсина, 1997]. Однако реакция культурных растений на неблагоприятные свойства почв разная. Одни растения хорошо переносят повышенную кислотность, вызванную подвижным алюминием, другие резко отрицательно реагируют на него.

Еще В. Р. Вильямс отмечал, что на кислых почвах таежной зоны всегда существовала слабокислая реакция, в результате которой через многовековой природный отбор культурные растения видоизменялись [Вильямс, 1939]. По данным А.Н. Небольсина и З.П. Небольсиной, "оптимальный уровень реакции почвы – это интегрирующий показатель, обобщающий влияние биологических и сортовых особенностей культур и других факторов, из которых наиболее значимы содержание подвижных фитотоксичных катионов (водорода, алюминия, марганца, железа), содержание гумуса, фосфора, калия и гранулометрический состав" [Небольсин, Небольсина, 1997]. Поэтому учет биологических особенностей возделываемых культур и сортов на кислых почвах имеет большое производственное значение. Это еще раз подчеркивает необходимость разработки системы удобрений не для культуры в целом, а для конкретных сортов в конкретных почвенно-климатических условиях.

Известно, что сельскохозяйственные культуры по их отношению к реакции среды делятся на несколько групп [Корнилов, Благовидов, 1955]. К первой группе относятся растения, которые очень чувствительны к кислой реакции среды – люцерна, эспарцет, клевер, корнеплоды (сахарная столовая и кормовая

свекла), лук и огурцы. Во вторую группу входят растения, характеризующиеся высокой отзывчивостью на известкование, – яровая пшеница, кукуруза, ячмень, горох, вика, капуста кочанная и кормовая, салат. К третьей группе относятся овес, озимая рожь, морковь и другие. Эти растения слабо чувствительны к кислотности почв, но положительно отзываются на известкование. В четвертую группу входит картофель, который не нуждается в известковании, а также ягодники, сераделла и люпин.

Как правило, на кислых почвах культурные растения страдают из-за высокого содержания в почве подвижного алюминия. При этом, чем меньше pH, тем относительно большее количество валового алюминия переходит в подвижные формы и становится легкодоступным для растений. В связи с этим культурные растения страдают в основном из-за наличия в почве большого количества подвижного алюминия, хотя виды растений по-разному реагируют на концентрацию данного токсиканта (табл. 66).

Однако и на одной культуре в зависимости от свойств почв токсичность этого элемента проявляется неодинаково. Так, например, на почвах с низким содержанием гумуса токсичность алюминия проявляется сильнее, чем на высокогумусированных почвах.

Таблица 66

Критические пределы содержания подвижного алюминия в почве для некоторых растений [Авдонин, 1976]

Культура	Количество подвижного алюминия (мг-экв/100 г почвы), снижающего урожай	
	на 20-50%	на 50-100%
Овес	1,22-1,56	1,67-2,00
Кукуруза	0,78-0,89	0,89-1,11
Ячмень	0,78-0,89	0,89-1,11
Клевер красный	0,56-0,67	0,78-0,89
Люцерна	0,44-0,56	0,56-0,67
Корнеплоды	0,33-0,44	0,44-0,56
Кормовые бобы	0,78-0,89	0,89-1,11

По отношению к реакции почвенной среды различаются не только виды растений, но и сорта одного и того же вида, причем эти различия порой превышают различия видовые. По данным П.П. Фроловской (1966), пшеницы, возделываемые в средней полосе Российской Федерации, более устойчивы к алюминию по сравнению с сортами южных районов. Сорта пшеницы и ячменя, произрастающие на кислых почвах на западе США, менее устойчивы к алюминию, чем сорта из Восточных штатов [Климашевский, Чернышева, 1980]. По данным Н.С. Авдониной, прибавка пшеницы сорта Московка, выведенного на кислых почвах Подмосковья, от известкования составила 47%, в то же время сорт Лютесценс-62, выведенный на карбонатном черноземе Саратовской области, повысил урожайность от этого приема в 3–4 раза больше, чем сорт Московка [Авдонин, 1969]. По данным М.Ф. Корнилова, сорта яровой пшеницы Диамант (шведской селекции), Тулун-70, Лютесценс-62 поразному отзывались на известкование. Сорт Диамант одинаково хорошо произрастал как на почвах с близкой к нейтральной реакцией среды, так и на сильнокислых [Корнилов, 1987]. Слабую отзывчивость этого сорта на известкование в Омской области подчеркивает В.М. Прудникова (1959). Она отмечает, что Диамант, выведенный на дерново-подзолистых почвах Швеции, достаточно приспособлен к кислой среде. Сорт пшеницы Тулун-70 лучше проявлял себя на слабокислых почвах. Очевидно это связано с тем, что зона кислых почв более увлажнена.

Сорт Лютесценс-62, выведенный в Саратовской области, снижал урожайность на кислых почвах до 30%. Такая же закономерность установлена и для ячменя [Корнилов, Благовидов, 1955]. Например, сорт Винер прекрасно произрастал на сильно- и среднекислых почвах, а сорт Голозерный-7 на кислых почвах снижал урожайность до 40%. Проведенные исследования в Новосибирской области показали, что сорта ячменя Винер и Червонец являются устойчивыми к кислотности и совершенно не реагируют на известкование [Каличкин, 1996].

Следует отметить, что с сортом Винер в Красноярском крае специальные опыты на кислых почвах не проводились. Однако в подтаежной зоне у крестьян он являлся традиционной культурой, на кислотность почвы практически не реагировал, слабо поражался болезнями, хорошо отзывался на внесение

минеральных удобрений. Выведен в 1929 г., в Сибири районирован в 1941 г., в Красноярском крае снят с районирования в 1965 г.

Аналогичные результаты были получены и для овса сорта Сельма, который считается традиционной культурой для кислых почв Красноярского края и прекрасно растет без известкования. Этот сорт шведской селекции выведен на кислых почвах, среднеспелый (65–85 дней), интенсивного типа, с относительно короткой, устойчивой к полеганию соломиной. Отличается высокой продуктивностью. Потенциальная урожайность в крае достигает 62–68 ц/га. Сорт Сельма по посевным площадям в крае занимает лидирующее положение. В таблице 63 приведены урожайные данные сортов овса Сельма и Таежник, выращенных на среднекислых почвах Казачинского ГСУ. Как видно из приведенных данных, указанные сорта даже без применения средств химизации дают неплохие урожаи (20,8–22,2 ц/га). Следует отметить, что в Казачинском ГСУ с 1990 г. не применяют как минеральные удобрения, так и средства защиты растений, а органические тем более.

Сорт Таежник также районирован в таежной зоне на кислых почвах Красноярского края. Он выведен на Нарымской ГСУ Томской области на кислых почвах методом отбора. Сорт раннеспелый или среднеранний.

Вегетационный период 71–75 дней, созревает на 5–10 дней раньше, чем Сельма, потенциальная урожайность в Красноярском крае 50–55 ц/га. Этот сорт даже на низком агрофоне без удобрений и средств защиты растений (табл. 67) при элементарной агротехнике дает до 22 ц/га.

Таблица 67

**Урожайность сортов овса на землях Казачинского ГСУ
(предшественник – озимая рожь), ц/га**

Сорт	Год					Среднее
	1995	1996	1997	1998	1999	
Таежник	23,3	12,5	23,3	20,3	30,9	22,2
Сельма	30,2	9,5	24,6	17,3	29,4	20,8

В наших опытах, проведенных на среднекислых дерново-подзолистых почвах и среднекислых серых лесных, яровая пшеница сорта Скала на известкование не реагировала (см. табл. 28–29). Надо отметить, что сорт Скала выведен на Тулунской опытной селекционной станции Иркутской области, районирован в Красноярском крае, в том числе в подтаежной зоне на кислых почвах с 1956 г. По вегетационному периоду среднеранний – 80–85 дней, в прохладные и дождливые годы – до 94 дней, устойчив к полеганию. В среднем за 1986–1991 гг. в Бирилюсском ГСУ на среднекислых почвах на фоне средних доз минеральных удобрений получен урожай 34,4 ц/га, в Казачинском ГСУ (1977–1980 гг.) – 29,3 ц/га. В целом сорта пшеницы Тулунской селекционной станции в условиях Красноярского края на кислых почвах подтаежной зоны без средств химизации обеспечивают урожайность 22,3–25,2 ц/га при соблюдении соответствующей агротехники.

Клевер красный является наиболее распространенной культурой из многолетних бобовых трав на кислых почвах Красноярского края. Опыты на отзывчивость клевера на известкование нами проводились на среднекислых дерново-подзолистых почвах тяжелого гранулометрического состава. Сеяли сорт местный без покрова (клевер красный Казачинский 1) и выращивали его на одном поле 4 года. В опыте изучали действие и последствие белитовой муки (1,5 Нг) как в чистом виде, так и совместно с полным минеральным удобрением. Как было отмечено выше, клевер красный местной селекции в контрольных вариантах обеспечил в среднем за 3 года 4,52 т/га сена. Наиболее высокий урожай сена – 6,35 т/га – получен на варианте одноразового внесения $P_{60}K_{60}$ + ежегодная подкормка N_{60} . Существенной разницы между вариантами опыта не получено (см. табл. 30). Указанный сорт на кислых почвах является традиционной культурой и дает высокие урожаи на кислых почвах даже без известкования. Этот сорт районирован с 1940 г. и размножается на Казачинской сельскохозяйственной опытной станции. Отличается высокой зимостойкостью, средней засухоустойчивостью, одноукосный, вегетационный период от начала весеннего отрастания до укоса длится 60 дней, а до созревания семян – 100–110 дней.

В целом следует отметить, что в условиях Красноярского края зерновые и ряд кормовых культур довольно устойчивы к кислотности почв и практически на известкование не реагируют. Однако следует иметь в виду, что кислые почвы Красноярского края характеризуются высоким содержанием гумуса и суммой обменных оснований, низким содержанием обменной кислотности, подвижного алюминия. Преобладающая часть этих почв среднекислые. Однако вопрос о том, как поведут эти культуры и сорта на кислых почвах с низким содержанием гумуса, обменных оснований при высоком содержании обменной кислотности и подвижного алюминия в условиях Средней Сибири еще не изучен. Для того чтобы доказать устойчивость существующих сортов к кислотности, надо проводить специальные опыты на почвах с разным содержанием подвижного алюминия и кальция. По данным П.А. Барсукова и Р.П. Макариковой, клевер красный в Новосибирской области относится к группе остро нуждающихся в известковании. Свои исследования авторы проводили на почвах с содержанием гумуса 1,51; 1,31; 1,21%; обменной кислотностью 0,61–0,87 мг-экв/100 г почвы; довольно высоким содержанием подвижного алюминия (более 0,52), крайне низким содержанием обменного калия [Барсуков, Макарикова, 1999]. Понятно, что в таких условиях при низкой буферности почв применение даже небольших доз минеральных удобрений вызывает сильное подкисление почв.

Поэтому при диагностике известкования кислых почв следует учитывать природу почвенной кислотности, содержание гумуса, обменных оснований алюминия, марганца, железа, а также биологические особенности сельскохозяйственных культур.

Глава 6. АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПЛОДОРОДИЯ КИСЛЫХ ПОЧВ

Результаты опытов свидетельствуют об очень высокой эффективности минеральных удобрений в зоне кислых почв. Особенно отзывчивы на внесение минеральных удобрений такие культуры, как ячмень, озимая рожь, горохо-овсяная смесь, овес, подсолнечник. Урожай от внесения удобрений под эти культуры возрастает в 2 раза для ячменя и озимой ржи и в 1,8 раза для сена однолетних трав и подсолнечника. Таким образом, минеральные удобрения являются мощным фактором, дающим возможность при рациональном их использовании и соблюдении агротехнических приемов возделывания получить достаточно высокие урожаи на кислых почвах края без предварительного известкования. При этом основная роль принадлежит азотно-фосфорным удобрениям. Положительное действие калийных удобрений на почвах со средним содержанием калия проявляется слабо, однако их необходимо вносить при низком содержании, а также под культуры, характеризующиеся высоким выносом калия (картофель, кукуруза, подсолнечник).

При дефиците минеральных удобрений рядковое внесение азотно-фосфорных удобрений при посеве зерновых культур в дозе 20 кг/га д.в. и подкормка многолетних злаковых трав азотом (20–30 кг/га) являются обязательными. При более интенсивном земледелии оптимальным вариантом для зерновых однолетних трав, подсолнечника на силос является локальное внесение $N_{60}P_{60}$, а для почв с низким содержанием обменного калия – $N_{60}P_{60}K_{60}$. Увеличение дозы питательных веществ до 90 кг/га по сравнению с вариантом 60 кг/га существенно не влияет на величину урожая и будет лишь снижать окупаемость 1 кг д.в. удобрений.

С учетом данных показателей агрохимической службой Красноярского края разработаны рекомендации по определению доз минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры на разный уровень планируемого урожая. Определенные по этим рекомендациям дозы удобрений дадут максимальный эффект при их внесении локальным способом на кислых почвах края. При более высоких урожаях возникает необходимость внесения серосодержащих удобрений.

В Европейской части страны одним из важнейших агротехнических приемов в таежной и подтаежной зонах считается известкование кислых почв. В условиях Красноярского края известкование нельзя рассматривать как прием коренного улучшения кислых почв, который должен предшествовать внесению минеральных удобрений. Рассматриваемые почвы имеют свои провинциальные особенности. Они в основном тяжелого гранулометрического состава с высоким содержанием гумуса, кальция, низким содержанием подвижного алюминия. Здесь известкование следует проводить только на слабогумусированных почвах (2–3%), с рН менее 4,5, содержанием алюминия более 0,5–0,6 мг-экв/100 г почвы, подвижного марганца–обменного кальция – менее 5–6 мг-экв/100 г почвы, степенью насыщенности основаниями менее 70%. Но таких почв в крае очень мало.

Как показали исследования, на рассматриваемых почвах внесение мелиоранта неэффективно, особенно под зерновые кормовые культуры. Здесь большое значение имеет проведение комплекса агротехнических приемов. Это наиболее дешевый действенный прием для получения высоких урожаев.

Нечерноземные почвы в пашне края занимают почти треть часть. Они находятся в зоне достаточного увлажнения, что повышает возможность получения более высоких урожаев. В то же время кислые почвы имеют ряд неблагоприятных физических свойств (тяжелый гранулометрический состав, некоторая бесструктурность), поэтому к агротехническим условиям возделывания сельскохозяйственных культур надо подходить дифференцированно, с учетом местных условий. Конечно, успешное решение этого вопроса возможно при достаточном количестве техники, способной проводить обработку в минимальные сроки и за короткое время.

На дерново-подзолистых почвах весной пашня оказывается сильно увлажненной, поэтому на этих почвах необходимо строго следить за тем, чтобы вспашку проводили в момент так называемой физической спелости почвы. Однако на практике нередки случаи, когда вспашку проводят на вязкой или иссушенной почве, что приводит к образованию глыб, затрудняет последующую обработку, способствует дальнейшему разрушению структуры и резко ухудшает качество посева.

На аналогичных почвах Западной Сибири более легкого гранулометрического состава при высокой засоренности и отсутствии средств химизации практикуется вспашка в зависимости от глубины перегнойно-аккумулятивного горизонта. При низкой же засоренности проводят комбинированную обработку (вспашка в пару с безотвальным рыхлением под зерновые культуры). При достаточном количестве средств химизации широко используют безотвальную систему основной обработки почвы.

В зоне рассматриваемых почв на урожай сельскохозяйственных культур в отдельные годы большое влияние оказывают сложные климатические условия. Однако когда севообороты освоены, соблюдается комплекс агротехнических мероприятий, то и перепады урожаев бывают незначительны. Все это подтверждается многолетним опытом и практическими разработками сотрудников государственных сортоучастков, расположенных в зоне кислых почв. Чтобы получить устойчивые высокие урожаи, следует выполнить целый комплекс мероприятий, в котором надо учитывать чередование культур, историю полей, кондиционные семенами и т.д.

Одной из особенностей кислых почв края является небольшой профиль пахотного горизонта, подпахотный же оподзоленный горизонт характеризуется более кислой реакцией, поэтому его выпашивание крайне нежелательно, так как происходит резкое ухудшение агрофизических свойств аккумулятивного горизонта. Помимо этого, баланс гумуса, азота, фосфора, калия в почвах Нечерноземья практически во всех районах отрицательный. Среднегодовые потери гумуса в отдельных районах составляют 3,5–5,0 ц/га. На их восполнение требуется более 5 т/га органических удобрений. Поэтому сохранение и повышение плодородия кислых почв является одной из важнейших задач.

Современные тенденции развития сельскохозяйственного производства диктуют необходимость получения высоких урожаев с наименьшими энергетическими затратами. Поэтому оценивать повышение плодородия почв следует именно таким образом. В этом плане на кислых почвах края большая роль принадлежит использованию многолетних трав, в первую очередь бобовых, в виде сидератов, запахивание соломы, внесе-

ние навоза. Это обогащает почву питательными веществами, улучшает ее структуру и воздушный режим, увеличивает влагоемкость, активизирует микробиологические процессы [Авдонин, 1972]. По данным [Небольсин, Небольсина, 1997], многолетние травы (клевер + тимофеевка) с урожайностью сена 50 ц/га составляют в почве 6–6,5 т/га сухого вещества корневых и пожнивных остатков, что соответствует накоплению гумуса примерно 20 т подстилочного навоза. Преимущество использования многолетних трав заключается и в том, что этот прием можно применять в широких масштабах при небольших издержках труда, особенно на полях, находящихся на большом расстоянии от населенных пунктов и мест приготовления органических удобрений.

Следует отметить, что в данной зоне во все времена отсутствовала целенаправленная технология возделывания сельскохозяйственных культур с учетом местных условий. Принятая технология в передовых хозяйствах в степной и лесостепной зонах края на этой территории не приемлема, так как поля здесь мелкоконтурные, почвы тяжелые, сильно уплотняются при обработке тяжелыми колесными тракторами. Для проведения агротехнических приемов в оптимальные сроки необходим полный набор техники, обеспечивающий поточность весенней обработки, прикатывание посевов и т.д.

Борьба с сорной растительностью в Нечерноземье края является важнейшим мероприятием. Для решения этой проблемы главное значение в этой зоне приобретает паровой предшественник, особенно при чередовании механических и биологических способов защиты посевов от засоренности. При этом обработка пара должна быть как по типу черного пара осенью, так и раннего в начале лета. Последующие обработки следует проводить по мере появления сорняков путем культивации или боронования.

В борьбе с сорной растительностью большое значение имеют особенности сельскохозяйственных культур. Например, возделывание озимой ржи, клевера, тимофеевки в севообороте резко снижает засоренность полей.

Следует отметить, что кислые почвы в основном расположены в тайге и подтайге, где климатические условия ограничены коротким вегетационным периодом, суммой положительных

и эффективных температур. Почвы преимущественно тяжелого гранулометрического состава. В структуре зерновых основное место отводилось пшенице и овсу (более 50% к пашне). В то же время более ранняя уборка озимой ржи и связанная с этим реальная возможность подъема зяби, активное биологическое подавление сорняков в процессе вегетации существенно повышает значение озимой ржи, многолетних трав (клевер, тимофеевка) как предшественников. Поэтому наряду с агротехническими мероприятиями важное значение имеет учет особенностей сельскохозяйственных культур. Озимая рожь на кислых почвах способна устойчиво формировать урожай в пределах 25–28 ц/га и выше. Например, короткостебельный сорт селекции Красноярского НИИСХ "Енисейка" в производственных опытах на больших площадях при соблюдении элементарной техники (своевременный посев, локальное внесение небольших доз азотно-фосфорных удобрений) в зависимости от погодных условий года обеспечивал урожай зерна 30–40 ц/га.

Нужно помнить, что изреженные всходы зерновых и многолетних трав недопустимы, так как повышают количество сорняков. Хорошие всходы клевера редко удаются под покров. Посев же без покрова специальной сеялкой гарантирует получение высокого урожая даже в первый год пользования.

Таким образом, выполнение перечисленных агротехнических приемов, рациональное применение органических и минеральных удобрений являются основой получения высоких урожаев и повышения плодородия почв.

Глава 7. СОСТОЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ И ПРОБЛЕМА ИЗВЕСТКОВАНИЯ

Черноземные почвы имеют широкое распространение на территории Красноярского края. Среди пахотных массивов они абсолютно господствуют в лесостепных зонах геоморфологических округов. Большая широтная протяженность лесостепной зоны определяет разнообразие рельефа, материнских пород, климата, растительности, гидрографии, что обуславливает формирование разных видов черноземов. Однако в крае преобладают выщелоченные черноземы, которые занимают в Ачинско-Боготольской лесостепи 75%, Минусинской – 65, Канской – 61, Красноярской – 56, Чулымо-Енисейской – 44% площади всех черноземных почв. Следует отметить, что в Назаровском районе (Чулымо-Енисейская лесостепь) они распространены наиболее широко (71%).

По материалам почвенного обследования института «Росгипрозем», в отдельных хозяйствах Ачинско-Боготольской, Красноярской, Чулымо-Енисейской лесостепей, где такие почвы преобладают в почвенном покрове пашни, были определены физико-химические свойства пахотного горизонта выщелоченных черноземов и выделены конкретные площади, на которых наложены результаты агрохимического обследования по степени кислотности почв. Обобщенные таким образом данные показывают, что общим для всех выщелоченных черноземов, помимо высокого содержания гумуса, является высокая насыщенность почвенного поглощающего комплекса обменными основаниями (88% и более), из которых преобладает кальций. Гидролитическая кислотность в верхних горизонтах более 5 мг-экв/100 г почвы зависит от содержания гумуса и значений обменной кислотности. Поглощенный водород или совсем отсутствует, или содержится в небольшом количестве.

В гораздо большей степени черноземы выщелоченные различаются по степени кислотности. Средневзвешенный показатель $pH_{КС}$ в приведенных районах колеблется в пределах 5,2–7,0, что свидетельствует о наличии слабокислых и нейтральных почв, причем в Назаровском, Боготольском районах они отличаются более низкими значениями pH , здесь мож-

но встретить и среднекислые почвы. Причем наиболее кислые приближены к предгорным территориям с более выраженной лесной растительностью, нейтральные – к открытым остепненным участкам. Например, в ОАО «Критовское» Боготольского района почвы отличаются pH_{KCl} , близкой к нейтральной (5,9), в других хозяйствах этого района реакция почвенного раствора слабокислая (5,2–5,5). Если рассмотреть пахотные земли ОАО «Назаровское», площадь которого около 40 тыс. га, можно отметить, что пахотный слой отделений Верхняя Березовка, Красногорский, Предгорный характеризуется pH 6,0–6,1. Это наиболее открытые участки хозяйства. В отделениях Московка, Зеленая горка, примыкающих к Солгонскому кряжу, реакция почвенного раствора слабокислая (5,2–5,5).

Данные агрохимического обследования подтверждаются результатами почвенных исследований института «Росгипрозем». Так, в Емельяновском и Рыбинском районах практически все выщелоченные черноземы отличаются реакцией почвенного раствора, близкой к нейтральной ($pH > 5,5$), в Балахтинском встречаются почвы со слабокислой реакцией, причем чаще в хозяйствах, расположенных в восточной части района на территории, примыкающей к отрогам Восточного Саяна (ОАО «Приморский», ОАО «Огурский»).

Таким образом, выщелоченные черноземы в зависимости от месторасположения, условий рельефа, почвообразующих пород имеют разную степень кислотности – от среднекислой до нейтральной.

В последние годы все больше появляется научных данных и результатов агрохимического обследования, показывающих резкое подкисление черноземных почв. Например, И.С. Шатилов и другие [Состояние и перспективы... 1990] считают, что при существующих темпах подкисления в Центрально-Черноземных областях России к 2017 г. все черноземы станут кислыми.

В ряде районов Кемеровской области площади кислых почв значительно увеличились по сравнению с 1971 г.: в Кемеровском – на 55,2%, Ижморском – на 42, Яшкинском – на 51,5, Тисульском – на 57%. Появились кислые почвы и в других районах области [Васильева, 1992]. По данным О.И. Просянкиной, происходит уменьшение площадей пашни с нейтральной и

близкой к нейтральной реакцией почвенного раствора и значительное увеличение площадей почв с кислой реакцией [Просяникова, 2004]. Согласно расчетам автора, к 2010 г. в Кемеровской области произойдет увеличение кислых почв на 4,6%. Аналогичные результаты получены в Алтайском крае. По имеющимся данным [Антонова, Дымова, 2005], площадь среднекислых почв с pH 4,3–5,0 в общем по краю увеличилась с 5,1 до 19,0 тыс. га, сейчас они занимают 22,5% пахотных земель. В отдельных хозяйствах эти изменения более значительные. Так, в СПК «Вперед» Зонального района в 70-е гг. прошлого столетия в составе пахотных земель почвы со слабо- и среднекислой реакцией почвенного раствора отсутствовали. К 1990 г. слабокислые почвы уже составили 83,1% пашни, среднекислые – 0,7%, а к 2000 г. увеличились соответственно до 85,6 и 14%. В ОАО «Беловское» Троицкого района за 6 лет (1990–1996) площадь среднекислых почв в пашне повысилась с 12,2 до 52,1% за счет перехода в эту группу слабокислых почв.

Такая же закономерность наблюдается в Тамбовской области [Юмашев, Логашина, 2005]. Авторы отмечают, что в центральной зоне области за последние 25 лет площадь нейтральных и близких к нейтральным почвам уменьшилась с 66,5 до 17,2%, но увеличились кислые почвы с 35,5 до 82,5%. В южной зоне области во втором туре агрохимического обследования (1978–1985 гг.) кислых почв не было, но по результатам 1996–2002 гг. их количество составило 19,7% пашни.

Процессы постепенного подкисления выщелоченных черноземов отмечаются в Челябинской области [Кушниренко, 2005], а согласно исследованиям С.И. Нуриева, и в Татарстане [Нуриев, 2000]. Для изучения этого вопроса в отдельных районах Красноярского края выбраны пахотные массивы и в сравнимых площадях по материалам агрохимического обследования разных лет рассчитаны средние по массиву и средневзвешенные показатели кислотности почв (табл. 68).

Полученные результаты показали, что за 20 лет значения $pH_{КС}$ практически не изменились – колебания по турам обследования находились в пределах 0,1–0,2 ед. pH в ту или иную сторону, что в общем характеризует ошибку метода анализа и подтверждает отсутствие подкисления выщелоченных черноземов в данном регионе.

Таблица 68

Динамика кислотности почв (pH_{KCl}) по турам обследования

Район, хозяйство	Площадь, тыс. га	Количе- ство об- разцов	1984– 1988 гг.	1990– 1996 гг.	1998– 2004 гг.
<i>Назаровский</i>	71,7	6770	5,7	5,7	5,7
АО «Назаровское»	37,4	3700	5,8	5,8	5,8
АО «Дороховское»	6,1	260	5,7	5,7	5,7
АО «Краснополян- ское»	13,5	1350	5,5	5,5	5,4
АО «Ададымское»	14,7	1460	5,5	5,5	5,6
<i>Ужурский</i>	1,4	140	5,3	-	5,3
АО «Искра»	1,4	140	5,3	-	5,3
<i>Боготольский</i>	26,8	2673	5,4	5,4	5,5
АО «Красный яр»	2,2	210	5,4	5,3	5,4
АО «Краснозаводское»	6,2	610	-	5,9	5,8
АО «Причулымское»	1,7	170	5,3	5,4	5,5
СХП «Боготольский»	1,2	130	5,3	5,5	5,5
АО «Боготольское»	3,2	320	5,2	5,2	5,3
АО «Вагинское»	3,7	370	5,5	5,5	5,6
АО «Дубрава»	3,4	340	5,1	5,2	5,3
АО «Критовское»	5,2	510	5,7	5,6	5,9
<i>Сухобузимский</i>	13,9	1380	6,1	6,1	6,0
АО «Шилинский»	6,4	630	6,2	6,1	6,1
АО «Таежный»	5,0	500	6,0	6,0	5,9
АО «Первомайский»	2,5	250	-	5,7	5,8
<i>Березовский</i>	2,1	210	7,1	7,0	-
СПК «60 лет СССР»	2,1	210	7,1	7,0	-
<i>Балахтинский</i>	18,3	1800	6,3	6,4	6,5
АО «Тюльковский»	8,9	850	6,2	6,3	6,4
АО «Родник»	9,4	950	6,4	6,4	6,5

Подкисление черноземных почв многие исследователи объясняют разными причинами. Во-первых, происходит отчуждение кальция из почвы, который является главным элементом, определяющим способность почв противостоять подкислению. Тенденцию уменьшения запасов кальция отмечает в своих работах С.П. Васильева.

Потеря этого элемента может происходить за счет промывания почвенного профиля атмосферными осадками, что наиболее активно бывает при промывном типе водного режима почв [Васильева, 1992]. Согласно данным В.В. Чижикова, вод-

ный режим черноземных почв края имеет черты, характерные для непромывного типа [Чижиков, 1968]. В условиях продолжительного периода с отрицательными температурами почвенный профиль оттаивает медленно, в результате чего ослабляется нисходящее передвижение влаги, идет сокращение периода с интенсивными биохимическими процессами и вследствие этого уменьшение потери кальция [Бугаков, 1998].

Значительный вынос кальция может происходить с урожаями сельскохозяйственных культур. Насколько это отражается на динамике кислотности почв в условиях Средней Сибири видно на примере черноземов ОАО «Назаровское». Данное хозяйство получает в регионе самые высокие урожаи сельскохозяйственных культур. За прошедшие 40 лет (с 1965 г.) они стабилизировались на уровне 35–37 ц/га зерна.

Таблица 69

Изменение средневзвешенного значения pH_{KCl}

Отделение	Площадь, тыс. га	Количество массивов	Количество образцов	Год		
				1987	1996	2003
Московка	2,500	21	250	5,1	5,1	5,2
Степной	3,163	21	310	5,8	5,9	5,8
Медведка	3,049	28	300	5,8	5,3	5,5
Усть-Березовка	2,777	17	280	5,8	5,7	5,7
Средняя Березовка	4,144	35	410	6,0	5,9	5,8
Верхняя Березовка	3,474	37	350	6,0	6,0	6,1
Красногорский	3,918	23	390	6,0	6,0	6,0
Предгорный	5,362	31	530	6,0	6,1	6,1
Кольцово	5,678	59	570	5,9	5,9	5,8
Зеленая горка	0,424	4	40	5,5	5,3	5,3
Сюттик	2,847	31	285	5,5	5,6	5,6
Всего	37,336	307	3715	5,8	5,8	5,8

Из данных таблицы 69 видно, что показатели кислотности разных лет по отделениям и в целом по хозяйству говорят об отсутствии подкисления выщелоченных черноземов.

Другим фактором, влияющим на подкисление почв, считают выпадение кислотных осадков, образующихся в результате вы-

бросов в атмосферу оксидов серы и окислов азота промышленными предприятиями. Так, по данным В.А. Ковды (1979), определенный процент кислот, попадая на поверхность почвы с дождями, снеговой водой, приводят к ряду изменений, в том числе увеличивают общую кислотность. Согласно имеющимся сведениям [Биологическое земледелие..., 1993], за последние годы в восточной части США произошло значительное увеличение кислотности атмосферных осадков, в результате чего потребность в известковании почв возросла.

В некоторых районах Великобритании урожаи от кислотных дождей снижаются на 10%. В результате чего сельское хозяйство этой страны ежегодно терпит убытки в 200 млн фунтов стерлингов [Биологическое земледелие..., 1993]. Кислотные дожди и таяние снежного покрова закисляют не только почву, но и озера, в Швеции, например, известкуют как почву, так и озера. Считается, что основное подкисление атмосферных осадков происходит за счет поступления оксидов серы и окислов азота [Проблемы известкования..., 2002; Просяникова, 2004], от сжигания большого количества угля вместо нефтепродуктов, что имеет определенное значение и для Красноярского края. Так как в регионе сильно развита угольная промышленность, то его достаточно много добывают, перевозят и сжигают. Агрохимический центр «Красноярский» вел наблюдение за изменением химического состава снеговой воды (табл. 70–71). Среднее содержание сульфатов составляет 15,6 мг/л, наибольшее количество их в снеговой воде в Березовском и Емельяновском районах – 16,30–22,18 мг/л – при норме в дистиллированной воде 0,5 мг/л.

Такие показатели, как нитраты, хлориды, аммоний, также значительно превышают допустимые нормы для дистиллированной воды. Однако подкисление снеговой воды не происходит. Согласно ГОСТ 6709-72, допустимый уровень pH в дистиллированной воде считается 5,4–6,5. Среднее же значение его по краю в снеговой воде составляет 7,3, минимальные и максимальные показатели соответственно 6,1–8,7 (табл. 70). Исследования показывают, что даже вокруг Назаровской ТЭС, которая выбрасывает большое количество оксидов серы, окислов азота в атмосферу Земли, pH снеговой воды колеблется в пределах 7,8–8,3, что находится ближе к слабощелочной сре-

де. Важно отметить повышенное содержание кальция в снеговой воде в целом по краю (12 мг/л), с колебаниями в Березовском, Емельяновском районах до 22,18 мг/л. Аналогичная закономерность есть и в сводках гидрометеослужбы, которые показывают, что наличие сульфатов в снеговой воде составляет 9,2–9,7 мг/л, а количество гидрокарбонатов – 36,5–40,6 (табл. 70–71).

В зоне Назаровской ТЭС, где ежегодно сжигается несколько миллионов тонн угля, в снеговой воде содержится большое количество водорастворимых веществ, имеющих сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевый состав и щелочную реакцию. Согласно исследованиям [Техногенез и трансформация... 1987], они сильно минерализованы, рН колеблется от 10,1 до 11,7, тогда как вне зоны действия ТЭС (на расстоянии 30–60 км) – 6,0–6,4.

Таким образом, результаты химических анализов атмосферных осадков также отрицают выпадение кислотных дождей в Восточной Сибири (табл. 67). Следовательно, подкисление черноземных почв за счет кислых дождей в данных климатических условиях не находит своего подтверждения.

Данная закономерность подтверждается исследованиями и других авторов. Так, по данным И.М. Ляпини и других, в выбросах таких промышленных объектов, как металлургические заводы, теплоэлектростанции, работающие на бурых углях, целлюлозно-бумажные, глиноземные комбинаты, содержится много твердых веществ, поэтому выпадающие атмосферные осадки имеют щелочную или близкую к нейтральной реакции [Интерпретация изменения..., 1984].

Третью причину подкисления черноземных почв многие исследователи видят в применении физиологически кислых минеральных удобрений, хотя эти сведения часто противоречивы. Так, по данным Б.С. Носко и других, в опыте с минеральными удобрениями за 6 лет произошло снижение величины рН с 5,2 до 4,8 при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ до 4,6. Повысилась гидrolитическая кислотность, содержание поглощенного кальция в пахотном слое снизилось на 4,3 мг-экв/100 г почвы [Моделирование агрохимических..., 1998]. Такие же результаты получены А.В. Ивойловым (1988).

Таблица 70

Химический состав снеговой воды на территории Красноярского региона, 1995–2005 гг.

Среднее по краю	Концентрация определяемых веществ, мг/л								
	Сульфаты	Нитраты	Хлориды	Аммоний	Кальций	Магний	Калий	Натрий	pH
	15,6	$\frac{2,14}{0,23 - 31,7}$	$\frac{0,60}{0,10 - 2,07}$	$\frac{0,60}{0,10 - 2,07}$	$\frac{12,00}{0,40 - 27,66}$	$\frac{1,95}{0,00 - 6,08}$	$\frac{0,017}{0,001 - 0,030}$	$\frac{0,14}{0,002 - 0,009}$	$\frac{7,3}{6,1 - 8,7}$

2,4 – 45,2

Таблица 71

Химический состав снеговой воды на территории Красноярского региона, 2001–2005 гг.

Пункт отбора пробы снега	Концентрация определяемых веществ, мг/л									
	Сульфаты	Нитраты	Хлориды	Аммоний	Гидрокарбонаты	Кальций	Магний	Калий	Натрий	pH
Красноярск	$\frac{9,2}{5,7 - 15,0}$	$\frac{2,12}{0,16 - 3,72}$	$\frac{1,6}{0,6 - 2,5}$	$\frac{0,48}{0,18 - 0,65}$	$\frac{40,6}{22,0 - 54,9}$	$\frac{13,4}{6,9 - 17,7}$	$\frac{2,2}{1,5 - 2,9}$	$\frac{0,9}{0,7 - 1,2}$	$\frac{2,1}{1,0 - 5,7}$	$\frac{7,1}{6,46 - 8,00}$
Назарово	$\frac{3,8}{1,9 - 5,9}$	$\frac{1,59}{0,58 - 2,81}$	$\frac{1,7}{1,0 - 2,7}$	$\frac{0,65}{0,00 - 1,10}$	$\frac{23,0}{13,8 - 39,7}$	$\frac{7,5}{3,6 - 13,4}$	$\frac{0,7}{0,4 - 1,1}$	$\frac{0,5}{3,6 - 13,4}$	$\frac{0,9}{0,5 - 2,0}$	$\frac{6,88}{6,35 - 7,42}$
Б. Улуй	$\frac{3,8}{1,5 - 5,8}$	$\frac{0,96}{0,09 - 1,98}$	$\frac{1,2}{1,0 - 1,5}$	$\frac{0,30}{0,00 - 0,88}$	$\frac{14,1}{12,2 - 18,3}$	$\frac{4,2}{3,5 - 5,3}$	$\frac{0,7}{0,3 - 1,7}$	$\frac{0,6}{0,4 - 0,8}$	$\frac{0,9}{0,5 - 1,9}$	$\frac{6,66}{6,22 - 7,02}$
Канск	$\frac{9,7}{4,2 - 18,4}$	$\frac{1,75}{0,67 - 2,66}$	$\frac{2,1}{1,1 - 4,4}$	$\frac{0,81}{0,2 - 1,55}$	$\frac{36,5}{21,4 - 58,0}$	$\frac{12,0}{6,5 - 16,4}$	$\frac{1,9}{1,0 - 3,5}$	$\frac{1,1}{0,5 - 2,0}$	$\frac{2,0}{1,0 - 3,7}$	$\frac{6,82}{6,34 - 7,24}$

Примечание: числитель – среднее; знаменатель – минимум-максимум.

Таблица 72

**Химический состав атмосферных осадков на территории
Красноярского региона, 2002–2005 гг. (данные гидрометеослужбы)**

Пункт отбора	Концентрация определяемых веществ (среднегодовое), мг/л			
	SO ₄	NO ₃	NH ₄	pH
Балахта	$\frac{4,03}{0,03 - 17,77}$	$\frac{1,38}{0,09 - 5,37}$	$\frac{0,59}{0,03 - 1,98}$	$\frac{6,85}{6,01 - 8,39}$
Красноярск	$\frac{6,14}{0,97 - 20,97}$	$\frac{2,56}{0,19 - 8,18}$	$\frac{0,55}{0,01 - 2,42}$	$\frac{6,63}{5,76 - 7,87}$

По данным А.И. Столярова и других, при длительном внесении только минеральных удобрений на выщелоченных черноземах Кубани происходило некоторое подкисление почвы, состав же поглощенных оснований и степень насыщенности изменялись незначительно [Влияние длительного..., 1999].

Чтобы не вызвать деградацию почв использованием физиологически кислых удобрений, необходимо решить вопрос замены аммиачной селитры и сульфата аммония известково-аммиачной селитрой (ИАС). Ее получают добавлением доломита или извести в плав аммиачной селитры с последующим гранулированием. Это сыпучее высококачественное удобрение менее гигроскопично, чем аммиачная селитра, не слеживается и взрывобезопасно. Равномерность и плотность гранул обеспечивает высокую точность внесения. По цене ИАС приравниваются к мочеvine, и она является основной формой азотного удобрения за рубежом.

В Голландии используют около 80% азота ИАС от всех азотных удобрений, в Германии – 60, в Австрии – более 50%, где ее применяют не только для подкормки весной и летом, но и при основном внесении, когда лучше проявляется ее нейтрализующий эффект.

В целом в странах Европы четвертая часть вносимого азота приходится на ИАС. Высокие дозы этого удобрения не приводят к подкислению почвы и потерям гумуса, как при использовании аммиачной селитры. Агрохимическая эффективность ИАС хорошо изучена. По степени влияния на урожай на кислых почвах она близка к кальциевой селитре. На сахарной свекле среди трех форм азотных удобрений определен следующий

ряд эффективности: кальциевая селитра – 100%, ИАС – 96, сульфат аммония – 85% [Шоков, Виноградова, 2000]. В связи с тем, что в последние годы ряд исследователей поднимают вопрос о подкислении черноземов, параллельно возникает проблема их известкования.

Одним из специалистов по известкованию выщелоченных черноземов в свеклосеющих районах бывшей Украинской ССР и в Центрально-Черноземной полосе России на выщелоченных черноземах является Е.А. Бровкина. Согласно разработанным ею рекомендациям [Бровкина, 1967], известкование выщелоченных черноземов необходимо проводить при гидролитической кислотности более 1,7 мг-экв/100 г почвы и степени насыщенности почвенного поглощающего комплекса основаниями ниже 94%. Разработанные автором положения актуальны и в настоящее время. Ею предложено в качестве известкового материала широко использовать дефекационную грязь (отходы сахарного производства) [Бровкина, 1959]. Прибавки, полученные от применения дефеката, составили 24 ц/га на почвах с гидролитической кислотностью выше 4 мг-экв/100 г почвы, при менее 2 мг-экв/100 г средняя прибавка урожая составила 5 ц/га. Высокая эффективность дефеката была установлена еще в 1926–1928 гг. Опыты проводили на опытных полях Сахаротрестов [Бровкина, 1963]. И.В. Якушкиным в 1933 г. было издано руководство по применению удобрений под сахарную свеклу [Якушкин, 1933].

В стационарных опытах У.М. Волынской на кислых черноземах известкование по полной гидролитической кислотности на фоне минеральных удобрений повышало урожайность сахарной свеклы на 75 ц/га, сбор сахара – на 2 ц/га. Этот прием снижал гидролитическую кислотность в пахотном горизонте с 3,6 до 2,5 мг-экв/100 г почвы, увеличивая при этом сумму поглощенных оснований на 8–9% [Волынская, 1974].

По данным Т.Я. Бисовецкого, П.С. Зинченко, в зерно-свекловичном севообороте урожай корней сахарной свеклы увеличивался за счет применения дефеката в звене севооборота с многолетними травами в среднем на 78 ц/га при урожае на контроле 256 ц/га. Сбор сахара повысился соответственно на 10,0–11,5 ц/га [Бисовецкий, Зинченко, 1967].

Внесение дефеката на черноземе обыкновенном деградирующем способствовало снижению его кислотности и повышало урожай ячменя [Пенкина, 2004]. Дефекат хотя и содержит большое количество кальция, однако его нельзя признать чисто известковым удобрением, эффективность которого реализуется через раскисление почвы.

Проведенные за последнее время исследования показали, что применение дефеката одинаково высокоэффективно как на кислых почвах, так и на нейтральных черноземах. Так, по данным Е.Г. Янцена, Ю.И. Заруднева, на выщелоченном среднемощном черноземе в Алтайском крае с $pH_{\text{сол.}}$ 6,0–6,5 дефекат без удобрений, а также на фоне минеральных удобрений, в севооборотах с короткой ротацией дает возможность создать в пахотном слое высокие запасы питательных элементов и получить устойчивые прибавки урожая сельскохозяйственных культур [Янцен, Заруднев, 2000].

Надо отметить, что преобладающее большинство исследователей рассматривают известкование как средство устранения почвенной кислотности. А всегда ли надо доводить pH до нейтральной среды, не учитывая при этом региональные особенности почв? Например, по данным В.П. Басистого и Л.И. Белякова, А.А. Федорова и В.П. Басистого, для юга Дальнего Востока целью известкования местных почв является достижение у них слабокислой среды – $pH_{\text{сол.}}$ 5,1–5,5, а не 5,8–6,0, как рекомендовано для Нечерноземья России [Басистый, Беляков 1968; Федоров, Басистый, 2001].

Своими провинциальными особенностями выделяются и кислые почвы Средней Сибири (высокое содержание гумуса, обменных оснований, низкое содержание подвижного алюминия). Проведенные вегетационные опыты показали, что даже на сильнокислых дерново-подзолистых почвах при pH 4,1–4,3 сорта пшеницы Тулунской селекции практически слабо реагируют на известкование. Внесение углекислого кальция на фоне минеральных удобрений не влияло на продуктивность растений, хотя улучшало агрохимические показатели почв. В то же время внесение серосодержащих удобрений на фоне минеральных резко повышало рост и развитие растений.

Внесение углекислого кальция на фоне минеральных удобрений на кислых почвах не влияло на продуктивность рас-

тений, а серосодержащих удобрений на фоне NP, напротив, резко повышало рост и развитие растений. Серосодержащие удобрения положительно влияли на урожай сельскохозяйственных культур, особенно на качество продукции.

Известно, что ранней весной почти на всех кислых почвах растения испытывают недостаток серы. В связи с этим известно, что применение гипса в весеннюю подкормку клевера всегда дает положительный эффект. Однако в условиях Красноярского края данный вопрос не изучался. Основанием проведения опытов с серосодержащими удобрениями послужило то, что в подтаежных районах нами визуально был обнаружен на больших площадях посевов пшеницы и клевера хлороз растений, который появлялся сначала на молодых листьях, затем листья целого растения становились слабо-желтыми.

Первоначально нами все это принималось за дефицит азота, так как имеет сходство с дефицитом серы. Однако, как было установлено при проведении опытов, при дефиците серы желтеют сначала молодые листья, а при недостатке азота – старые листья. Для изучения эффективности серосодержащих удобрений был использован вегетационный метод исследований с почвенной культурой. Опыты проводились по общепринятой методике 5 кг в сосудах типа Митчерлиха в 4-кратной повторности с пшеницей сорта Тулунская-12 и рапсом. Фенологические наблюдения в течение вегетации показали, что на вариантах без серосодержащих удобрений растения были мелкими, стебли жесткими, окраска молодых листьев равномерно бледно-зеленая. Во время выхода в трубку листья уже желтели. Растения в сосудах с внесением серосодержащих удобрений существенно отличались по высоте и внешнему виду. Они были ярко-зеленого цвета, характерного для данной культуры. Признаки хлороза и серного голодания на молодых листьях не наблюдались. В целом растения выглядели крупнее и имели крепкий наполненный стебель (прил. 1–2). Анализ урожайных данных показал, что применение серы увеличивает массу зерна в три раза, соломы – в четыре. А на почвах легкого гранулометрического состава зерно на контрольном варианте не сформировалось, а увеличение общей растительной массы произошло в два раза за счет роста массы соломы (табл. 73) [Быстрова, Танделов, 2009].

Таблица 73

Влияние серосодержащих удобрений на массу пшеницы, г/сосуд

Но- мер опы- та	Пока- затель	Вариант						
		Конт- роль	NP	NPK _{KCl}	NPK _{K₂SO₄}	NPK _{KCl} + MgSO ₄ (20 г)	NPK _{KCl} + MgSO ₄ (1,5 г)	NPK _{KCl} + CaCO ₃
1	Масса зерна, г	2,3	0,2	0,0	15,2	14,6	14,5	2,6
	Приба- вка	0,0	-2,1	-2,3	12,9	12,3	12,2	0,3
	Масса соломы, г	4,6	14,3	12,0	25,1	25,9	23,9	12,2
	Приба- вка	0,0	9,7	7,4	20,5	21,3	19,3	7,6
	Общая масса, г	6,9	14,5	12,0	40,3	40,5	38,4	14,8
	Приба- вка	0,0	7,6	5,1	33,4	33,6	31,5	15,5
2	Масса зерна, г	2,1	7,4	7,1	14,6	14,7	14,7	6,5
	Приба- вка	0,0	5,3	5,0	12,5	12,6	12,6	4,4
	Масса соломы, г	5,8	23,2	19,1	28,5	25,5	26,4	16,5
	Приба- вка	0,0	5,3	5,0	12,5	12,6	12,6	4,4
	Общая масса, г	7,9	30,6	26,2	43,1	40,2	41,1	23,0
	Приба- вка	0,0	22,7	18,3	35,2	32,3	33,2	15,1

Рапс очень отзывчивая на внесение серы культура. Как представитель семейства крестоцветных очень требователен к условиям питания, поскольку на формирование 1 ц основной продукции он расходует в разы больше макроэлементов по сравнению с зерновыми. Вследствие этого у крестоцветных недостаток серы встречается чаще. Разная потребность в сере обусловлена различием в содержании его в растениях. По выносу серы на единицу сухого вещества растения данного се-

мейства занимают первое место, так как используют серу не только для построения белков, но и специфических эфиров, гликозидов и горчичных масел, придающих продукции характерный запах и вкус.

Также использование рапса в опытах интересно по причине того, что, являясь фитосанитарной культурой, он обладает ценными биологическими свойствами, остается отличным предшественником: увеличивает биологическую активность почвы, применение его в качестве сидерата равноценно внесению навоза, а затраты в разы ниже. Поэтому результаты опытов могут быть полезны для практической сферы сельского хозяйства.

Посев рапса (сорт Надежный-92) производился пророщенными семенами. В течение вегетации на каждый сосуд приходилось по 6 растений рапса. Уборку проводили в фазу бутонизации. После уборки определялся химический состав опытных растений. Из каждого сосуда по окончании опытов был отобран средний образец почвы для определения изменений агрохимической характеристики. Анализы почвы и растений проведены по принятым в агрохимической службе методикам, ГОСТам и ОСТам.

В таблице 74 приведены результаты веса растений рапса во время уборки. Из ее данных видно, что при внесении серосодержащих удобрений существенно увеличивается как содержание зеленой массы рапса, так и сухого вещества.

В опытах с рапсом внесение серы оказывало благоприятное действие на рост и развитие растений. Растения на вариантах с внесением серы существенно отличались по высоте и внешнему виду: они были крупные, с крепкими стеблями. К тому же растения с внесением серы цвели и образовывали стручки, а на бессерных вариантах образование соцветий не происходило, листья имели хлоротичную окраску и жесткий стебель с укороченными междоузлиями (прил. 3).

Таблица 74

Влияние минеральных удобрений на вес зеленой массы и сухого вещества рапса

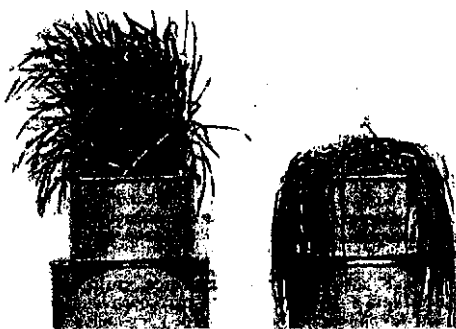
Вариант	Вес зеленой массы, г				Вес сухого вещества, г			
	Опыт 1, 2003 г.	Опыт 2, 2004 г.	Опыт 3, 2004 г.	Опыт 4, 2003 г.	Опыт 1, 2003 г.	Опыт 2, 2004 г.	Опыт 3, 2004 г.	Опыт 4, 2003 г.
Контроль	3,65	-	9,55	18,55	0,82	-	2,03	2,33
NP	12,86	111,87	68,32	77,125	2,69	-	14,08	13,53
NP+K(KCl)	14,88	100,19	63,58	119,32	2,83	-	13,19	17,22
NP+K(KCl)+CaCO ₃	15,55	120,09	96,41	143,05	2,98	-	18,26	17,89
NP+K(K ₂ SO ₄)	18,17	174,69	101,68	158,60	3,56	-	19,39	24,56
NP+K(KCl)+MgSO ₄ (1,5 г)	26,01	175,37	151,33	183,58	4,17	-	27,34	28,46
NP+K(KCl)+MgSO ₄ (12,0г)	20,85	-	149,56	-	3,66	-	26,57	-
NP+K(KCl)+S(0,33)	-	183,09	-	171,43	-	-	-	25,69
НСП 0,95	2,8	3,1	3,5	4	-	-	-	-

Как видно из данных таблицы 74, сера является мощным фактором повышения урожая. Следует иметь в виду, что ее роль особенно велика при получении высоких урожаев. По данным Масловой (1993), в Западной Сибири некорневые подкормки серой могут давать хорошие прибавки урожая с соответствующим качеством, когда ожидаемый урожай превышает 20–25 ц/га (скрытый дефицит), и явно необходимы при урожае >30 ц/га, а в случаях, когда планируется урожай зерна более 40 ц/га, тогда серные удобрения одновременно надо вносить весной при основном внесении. Однако в наших условиях данная проблема совершенно не изучена. Если некоторые хозяйства уже получают урожай 40–50 ц/га, однако в основном приходится работать на уровне 15–20 ц/га.

Большой интерес представляет оценка роли серы в повышении устойчивости растений к заморозкам. При этом степень влияния заморозков может быть различной, в зависимости от длительности их действия. Немаловажное значение также имеют и предшествующие заморозки, температура почвы, влажность и условия минерального питания. Под влиянием заморозков происходит снижение конечной продуктивности сельскохозяйственных культур на 10–70%.

Отрицательное влияние низких температур на растения сказывается, прежде всего, через отклонение их в минеральном питании. Последнее подтверждается тем, что путем регулирования минерального питания растений можно резко снижать или усиливать отрицательное действие и последствие низких температур почвы и заморозков на растения.

В настоящее время известна роль серосодержащих белков в повышении устойчивости растений к отрицательным температурам [Гранитова, 1971]. Как показали результаты вегетационных опытов, проведенных в специализированных камерах А.И. Коровиным, при выращивании растений с применением в качестве источника фосфорного питания простого и двойного суперфосфата было установлено, что при обычных условиях ни один из них не имел каких-либо преимуществ [Коровин, 1971].



*Влияние серы на устойчивость яровой пшеницы к заморозкам -8°C :
1 – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 2 – NH_4NO_3*

При заморозках ниже -4°C простой суперфосфат, содержащий в своем составе серу, становится эффективнее. В проведенных опытах простой суперфосфат в безморозный период обеспечил формирование массы зерна с одного сосуда 10,6 г, двойной суперфосфат – 10,8 г, на фоне заморозков весной -4°C , при внесении двойного суперфосфата урожай зерна составил 8,3 г, простого – 12,2 г. При заморозках -8°C роль в повышении морозоустойчивости растений проявляется весьма отчетливо (рис.). Таким образом, дефицит серы в питании растений на кислых почвах в условиях Восточной Сибири, как правило, приводит к резкому снижению устойчивости растений к заморозкам, а в дальнейшем и к снижению качества урожайности.

Необходимо всегда учитывать и то, что отрицательное влияние почвенной кислотности на растения зависит не только от величины pH, но и от ее составляющих, то есть содержания в почве ионов алюминия, водорода, марганца, железа и т.д. Например картофель, хорошо известный своей устойчивостью к кислой реакции среды, но плохо растет, когда обменная кислотность определяется в основном восстановленным марганцем [Федоров, Басистый, 2001]. Поэтому здесь уместно привести научную концепцию известкования почв при современном уровне знаний [Научная концепция..., 2002], указывающую на то, что кислые почвы обладают комплексом неблагоприятных свойств, которые необходимо учитывать, причем каждое в отдельности. По мере накопления знаний известкование будет все более адаптировано к конкретным условиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показали, что среди сельскохозяйственных угодий в Красноярском крае обширную площадь занимают кислые почвы. Среди них 943,2 тыс. га приходится на пашни, 40,5 тыс. га – на сенокосы и пастбища. Следует отметить, что на сенокосах и пастбищах агрохимическое обследование проводилось выборочно, поэтому фактическая площадь кислых почв здесь будет значительно больше.

На обследованной площади сильнокислые почвы занимают 77,1 тыс. га (2,5%), среднекислые (рН 4,6–5,0) – 322,1 (10,1%), слабокислые (рН 5,1–5,9) – 542,0 тыс. га (17,3%).

Рассматриваемые почвы наибольшее распространение имеют в Подтаежном природном округе, куда входят такие административные районы, как Бирилюсский, Большеулуйский, Енисейский, Пировский, Тюхтетский, Козульский, Казачинский. В данном округе они составляют 96,5%, в том числе сильнокислые почвы занимают 21,1%, среднекислые – 56,4, слабокислые – 19,4%. В других природных округах почвы в основном слабокислые (рН 5,1–5,5).

Агрохимическое обследование выявило провинциальные особенности кислых почв края, отличающие их от своих европейских аналогов высоким содержанием гумуса, обменных оснований, низким содержанием подвижного алюминия. Установлено, что эти почвы в основном тяжелосуглинистого грансостава, лишь в Минусинском природном округе встречаются почвы среднесуглинистого состава.

Средневзвешенное содержание гумуса в почвах составляет 5,2%, но обычно преобладают почвы с содержанием 4–6% гумуса. Содержание подвижного фосфора и обменного калия в целом низкое и очень низкое, однако оно различается даже в пределах одного и того же природного округа. Содержание подвижного алюминия в основном низкое, иногда достигает до 0,10–0,12 мг-экв, а в Ачинско-Боготольском природном округе вообще не обнаружено.

Детальное изучение агрохимических свойств кислых почв позволило дифференцировать районы по содержанию подвижного фосфора, подвижной серы и обменного калия. И это имеет не только познавательное значение, но и дает возможность

правильно распределить и поставить в тот или иной район нужный ассортимент средств химизации с учетом почвенной характеристики. А химизация, как доказывает мировая практика земледелия, является материальной основой плодородия почв.

На кислых почвах Красноярского края слабо изучена эффективность минеральных удобрений и известкования. В публикуемой работе результаты научных исследований выполнены в полевых стационарных и вегетационных опытах продолжительностью 7–13 лет, в основу которых положена факториальная схема, охватывающая различные сочетания азотных, фосфорных и калийных удобрений, а также известьсодержащих в виде белитовой муки, белитового шлама в дозах 1,0–1,5 Нг.

Во все годы исследований урожай пшеницы и ячменя от внесения минеральных удобрений увеличивался в 2,5–4,0 раза, а в отдельные – в 5–7 раз. Мелиоранты, внесенные в чистом виде, были неэффективны. Положительное влияние белитовой муки на фоне NPK проявилось на легкосуглинистой малогумусной дерново-подзолистой почве Тюхтетского района.

Результаты проведенных вегетационных опытов показали, что эффективность калийных удобрений слабее проявилась на почвах тяжелого гранулометрического состава, где прибавки составляли 1,1–1,6 г/сосуд, а на среднесуглинистых почвах (Ермаковский район) их уровень был обозначен в пределах 4,8–4,9 г/сосуд.

В процессе исследований выявлено, что эффективность калийных удобрений больше всего зависит от вида растений. Опытные данные показали их превосходство на ячмене в отличие от пшеницы.

Диагностические опыты подтвердили, что для кислых почв при определении подвижного фосфора и обменного калия методом Кирсанова во всех зонах надо применять только «малые» градации (Методические указания по агрохимическому обследованию почв сельскохозяйственных угодий. М., 2003). На сегодня отсутствуют апробированные градации по микроэлементам в местных условиях.

Исследованиями установлена также высокая эффективность серосодержащих удобрений и их взаимосвязь с фосфорным питанием. Данная ситуация является свидетельством того,

что все элементы взаимосвязаны и рассматривать их нужно вместе, учитывая как можно больше сопутствующих факторов.

В настоящее время многоэлементная система применения удобрений все больше обращает на себя внимание, но при этом она недостаточно сформирована. Поэтому дальнейшую опытную работу надо осуществлять в направлении изучения комплекса питательных веществ и их взаимовлияния. Это, безусловно, будет попыткой разрешения проблемы минерального питания растений.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Вегетационный опыт

Пшеница. Общий вид.

Влияние серосодержащих удобрений на рост и развитие растений (слева направо сосуды №5,6,7).

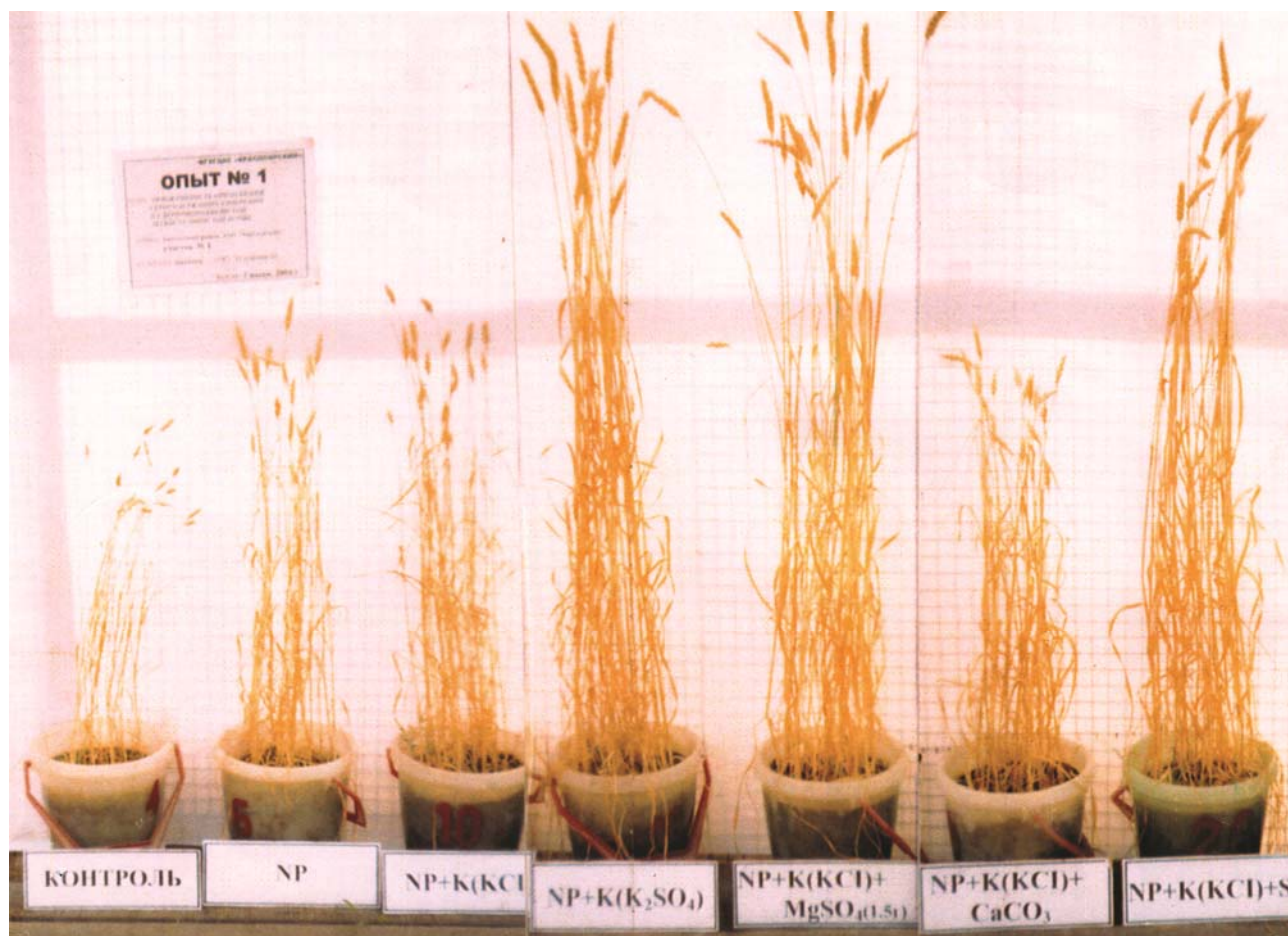


Влияние серосодержащих удобрений на рост и развитие растений (слева направо сосуд № 5).



Вегетационный опыт с пшеницей. Общий вид

Слева направо сосуды № 4,5,7 с серосодержащими удобрениями.
Сосуд № 7, удобренный элементарной серой.

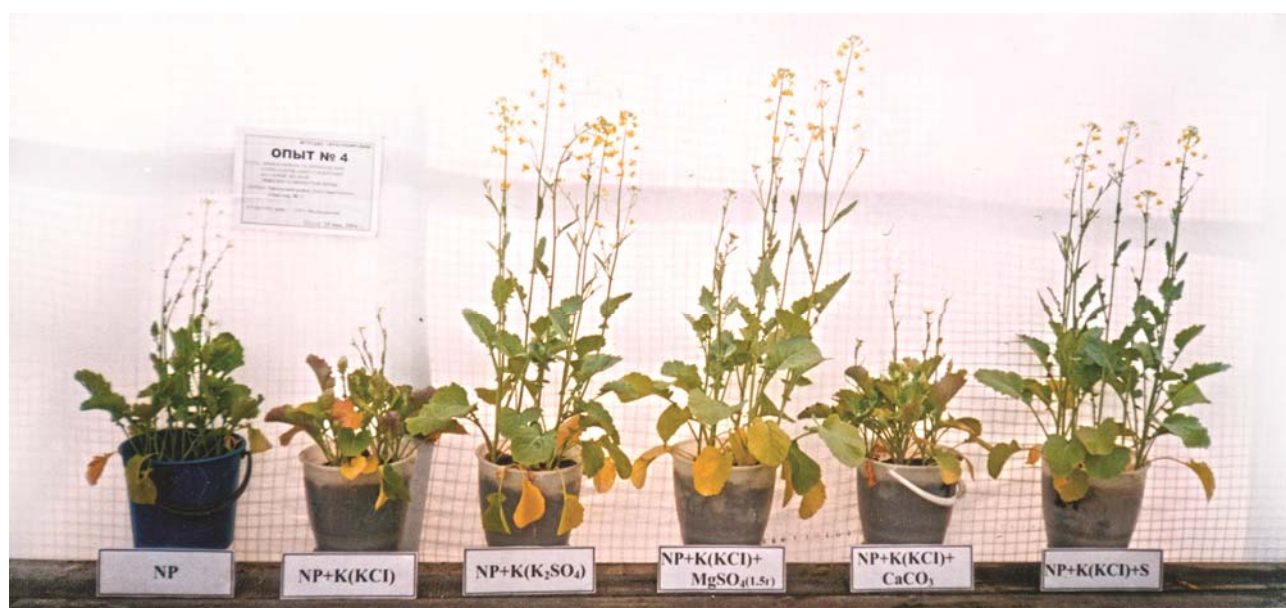


Вегетационный опыт с рапсом на кислых дерново-подзолистых и серых почвах

Общий вид: влияние серосодержащих удобрений (K_2SO_4 , $MgSO_4$) на рост и развитие рапса.



Влияние серосодержащих удобрений K_2SO_4 , $MgSO_4$ и элементарной серы (слева направо сосуд № 6).



ЛИТЕРАТУРА

Авдонин Н.С. Алюминий в дерново-подзолистых почвах. //Агрохимия. – 1971. – № 7. – С. 94–103.

Авдонин Н.С. Научные основы применения удобрений. – М.: Колос, 1972. – 320 с.

Авдонин Н.С. Повышение плодородия кислых почв. – М.: Колос, 1969. – 303 с.

Авдонин Н.С. Свойства почвы и урожай. – М.: Колос, 1965. – 271 с.

Антонова О.И., Дымова Л.В. Эффективность известкования черноземов выщелоченных Средней лесостепи Алтайского края //Агрохим. вестн. – 2005. – № 1. – С. 5–8.

Арнаутова Н.И. Изменение агрохимических свойств серой лесной почвы под влиянием длительного применения азотных удобрений /ИТР Рязанского СХИ. – Горький, 1974. – Т. 36. – С. 93–99.

Аскинази Д.Л. Методы определения нуждаемости почв в известковании // Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975.

Аскинази Д.Л. Фосфатный режим и известкование почв с кислой реакцией. – М.: АН СССР, 1999. – 217 с.

Барсуков П.А., Макарикова Р.П. Зависимость продуктивности культур от параметров кислотности супесчаной дерново-подзолистой почвы в Западной Сибири // Агрохимия. – 1999. – № 1. – С. 28–35.

Басистый В.П., Беляков Л.И. Влияние удобрений на минеральное питание и урожай яровой пшеницы // Наука – сельскому хозяйству: зерновые и крупяные культуры, соя. – Хабаровск, 1968. – С. 33–38.

Биологическое земледелие и минеральные удобрения / *В.Г. Минеев* [и др.]. – М.: Колос, 1993. – 411 с.

Бисовецкий Т.Я., Зинченко П.С. Дозы и соотношения минеральных удобрений под сахарную свеклу в зоне Белоцерковской опытно-селекционной станции // Агрохимия. – 1967. – № 3. – С. 73–75.

Бровкин В.И. Влияние удобрений на продуктивность культур и свойства почвы в третьей ротации зернового севооборота на выщелоченных черноземах Тульской области // *Агрохимия*. – 1996. – № 11. – С. 61–68.

Бровкина Е.А. Известкование почв в лесостепи УССР и в центрально-черноземной полосе РСФСР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Киев: ВНИИС, 1967. – 40 с.

Бровкина Е.А. Известкование почвы в свекличном севообороте // *Вопросы агротехники сахарной свеклы*. – Киев, 1959. – С. 93–110.

Бугаков П.С., Чупрова В.В. Агрономическая характеристика почв земледельческой зоны Красноярского края. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 1995.

Бугаков П.С., Шугалей Л.С. Передвижение влаги в выщелоченном черноземе Красноярской лесостепи // *Биологические науки*. – 1968. – № 1. – С. 85.

Быстрова М.С., Танделов Ю.П. Эффективность применения серосодержащих удобрений на кислых почвах Красноярского края // *Молодежь Сибири – науке России: мат-лы межрегион. науч.-практ. конф.* – Красноярск, 2009.

Васильев И.С., Роде А.А. Опыт "мечения" почвенной влаги ионом хлора с целью изучения закономерностей ее передвижения в полевых условиях // *Почвоведение*. – 1982. – № 9. – С. 35–39.

Васильева С.П. Применение удобрений и известкование почв // *Агрохим. вестн.* – 1992. – № 4. – С. 10–11.

Верещенко Ю.П. Агрохимические свойства серых лесных почв // *Агрофизическая характеристика почв центральной части Красноярского края*. – М.: АН СССР, 1961. – С. 175.

Вильямс В.Р. Почвоведение: земледелие с основами почвоведения. – М.: Сельхозгиз, 1939. – 447 с.

Влияние длительного применения удобрений на плодородие выщелоченного чернозема и урожай сельскохозяйственных культур / *А.И. Столяров* [и др.] // *Научное обеспечение и совершенствование методологии агрохимического обслуживания земледелия России*. – М.: ЦИНАО, 1999. – С. 220–229.

Возбуцкая А.Е. Химия почвы. – М.: Высшая школа 1964. – С. 389, 392, 394.

Волынская У.М. Удобрения на кислых почвах // Сахарная свекла. – 1974. – № 1. – С. 35.

Ганжа Б.А. К вопросу о действии Al на растения // Почвоведение. – 1941. – № 11. – С. 22.

Гарднер Г. Известкование почв в Англии. – М.: Иностранная литература, 1954. – 226 с.

Герасимов И.П. Структурные черты рельефа земной поверхности на территории СССР и их происхождение. – М.: АН СССР, 1959.

Горшенин К.П. Почвы южной части Сибири. – М.: АН СССР, 1954.

Градобоев Н.Д., Коляго С.А. Объяснительная записка к атласу районных почвенных карт северного левобережья и правобережной части Минусинской впадины. – М.: АН СССР, 1958. – 170 с.

Гранитова Т.С. Роль серы в устойчивости растений к заморозкам: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Иркутск, 1972.

Дерягин Б.В., Мельникова М.К. К определению закономерностей передвижения почвенной влаги // Вопросы агрономической физики. – Л.: Сельхозгиз, 1957. – С. 45.

Диви Э.Н. Круговорот минеральных веществ и биосфера. – М.: Мир, 1972. – С. 120.

Дилу В.М., Роде А.А. Полевой и водный режим почв СССР. – М., 1968.

Динамика почвенной кислотности и содержание подвижных форм марганца и железа в почве при известковании конвексионным мелом / *А.В. Литвинович* [и др.] // Агрохимия. – 2000. – № 6. – С. 10–15.

Ерохина А.А., Кириллов М.В. Почвы лесостепи и зоны травяных лесов Ачинского округа // Природное районирование центральной части Красноярского края. – М.: АН СССР, 1962. – С. 62.

Известкование кислых почв нечерноземной полосы СССР / *М.Ф. Корнилов* [и др.]. – Л.: Колос, 1971. – 256 с.

Изучение баланса кальция в опытах с изотопной меткой / *А.Н. Небольсин* [и др.] // Свойства почв, их изменение при окультуривании и влияние на урожай в северо-западной зоне РСФСР. – Л., 1984. – С. 55.

Интерпретация изменения видового разнообразия сообщества почвенных беспозвоночных при загрязнении почвы индустриальными кальцийсодержащими выбросами // *И.М. Лапиня* [и др.] // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. – Пущино: ИЭМЭЖ, 1984. – С. 114–117.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

Каличкин В.К. Система химической мелиорации кислых почв Западной Сибири // Адаптивный подход в земледелии, селекции и семеноводстве сельскохозяйственных культур в Сибири. – Новосибирск, 1996. – С. 137–139.

Каличкин В.К., Ким С.А. Безотвальная и комбинированная обработка почвы Западной Сибири // Земледелие. – 1996. – № 6. – С. 14–16.

Карнаухов Н.И., Танделов Ю.П. О причинах возникновения известкового хлороза у растений на юге Красноярского края // Микроэлементы в Сибири. – 1970. – Вып. 7. – С. 52–56.

Климашевский Э.Л. Влияние реакции среды на развитие и рост кукурузы // Тр. УралНИИСХ. – Свердловск, 1960. – Т. 2. – С. 125.

Климашевский Э.Л., Чернышева Н.Ф. Агрохимическая перспективность сорта // Химия в сельском хозяйстве. – 1980. – № 3. – С. 28.

Коляго С.А. Лесостепь и степь Минусинской впадины. Почвы и их агрохимическая характеристика // Агрохимическая характеристика почв ССР. Средняя Сибирь. – М.: Наука, 1971. – С. 139–181.

Коляго С.А. Почвы Минусинской впадины. – М.: АН СССР, 1954.

Корнилов М.Ф. Известкование кислых почв Ленинградской области // Тр. ЛО ВИУА. – 1987. – Вып. 52.

Корнилов М.Ф., Благовидов Н.Л. Известкование кислых почв северо-западной зоны нечерноземной полосы СССР. – М.; Л.: Сельхозгиз, 1955. – 219 с.

Коровин А.И. Роль температуры в минеральном питании растений. – М.: Гидрометеиздат, 1972.

Костычев С.П. Физиология растений. – М.: Сельхозгиз, 1933. – 296 с.

Крупкин П.И. Канская лесостепь. Агрохимическая характеристика почв // Агрохимическая характеристика почв СССР. Средняя Сибирь. – М.: Наука, 1971. – С. 69–95.

Крупкин П.И. Пути воспроизводства плодородия черноземов Красноярского края: рекомендации. – Красноярск: Гротеск, 2000. – 126 с.

Кузьмина Н.А. Формирование продуктивности твердой пшеницы в зависимости от условий возделывания // Естественные науки и экология. – Омск: ОмГПИ, 1996. – С. 12–16.

Кушниренко Ю.Д., Брагин В.Н. Фосфатный режим выщелоченного чернозема и продуктивность севооборота при длительном применении удобрений // Агрохим. вестн. – 2005. – № 2. – С. 16–18.

Макаренко Л.Н. Применение удобрений в интенсивном земледелии Германии. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1991. – С. 50.

Мальцев В.Г., Мошкарёв В.Н. Влияние систематического применения удобрений на агрохимические свойства серых лесных почв и продуктивность севооборотов // Агрохимия. – 2000. – № 4. – С. 5–11.

Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. – М.: ЦНТИПР Минсельхозпрода РФ, 1994. – С. 96.

Методические указания по проведению контроля качества анализа почв в лабораториях единой специализированной агрохимической службы. – М.: ЦИНАО, 1985. – С. 28.

Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 669 с.

Моделирование агрохимических свойств почв/ *Б.С. Носко* [и др.] // Бюл. ВИУА. – 1998. – № 90. – С. 3–14.

Мосиенко Н.А. Промерзание и оттаивание почвы в условиях Кулундинской степи // Почвоведение. – 1957. – № 1. – С. 35.

Наумов И.В. Эффективность белитовой муки на слабокислых почвах Ачинско-Боготольской лесостепи // Повышение эффективности использования мелиорируемых земель: тез. краевой науч.-практ. конф. – Красноярск, 1985.

Научная концепция известкования почв при современном уровне знаний / *А.Н. Небольсин* [и др.] // Вопросы известкования почв. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 132–134.

Небольсин А.Н. Вопросы известкования. – Пермь, 1976. – С. 127.

Небольсин А.Н. Известкование – средство коренного улучшения кислых почв. – Л.: Лениздат, 1974. – С. 134.

Небольсин А.Н. Научные основы и технология использования удобрений и извести: метод. рекомендации. – СПб., 1997. – С. 40.

Небольсин А.Н. Теоретическое обоснование известкования почв северо-запада нечерноземной зоны РСФСР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Л., 1983.

Небольсин А.Н. Токсичность алюминия, марганца и железа при различных уровнях фосфорного питания растений и реакции почв // Повышение плодородия дерново-подзолистых почв. – Л., 1977. – С. 3.

Небольсин А.Н., Небольсина З.П. О факторах, влияющих на оптимальный интервал реакции почвы для роста растений // Науч. тр. СЗ НИИСХ. – Л., 1974. – Вып. 29. – С. 66.

Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Определение оптимальных доз извести по комплексу показателей // Агрохимия. – 1997. – № 9. – С. 29.

Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Оптимальные для растений параметры кислотности дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. – 1997. – № 6. – С. 19–26.

Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Роль органических веществ в снижении вредного действия кислотности на растения // Органические удобрения: мат-лы совещания стран-участниц СЭВ. – М., 1972. – С. 27.

Никитишен В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. – М.: Наука, 1984. – С. 212.

Нуриев С.И. Состояние кислотности почв в Республике Татарстан // Агрохим. вестн. – 2000. – № 1. – С. 9–11.

Оптимизация доз минеральных удобрений под лен на дерново-подзолистых почвах северо-запада России / *А.Н. Небольсин* [и др.] // Агрохимия. – 1999. – № 6. – С. 67.

Опыт повышения эффективности производства зерновых культур в зоне тайги, подтайги / *В.Н. Лисунов* [и др.] // Информационный листок. – Красноярск, 1990. – № 162. – С. 5.

Островская Л.К. Физиологические причины возникновения известкового хлороза и принципиальные пути его излечения // Комплексоны как средство против известкового хлороза растений. – Киев: Наукова думка, 1965.

Павленко И.А. Лесостепные почвы нагорных дубрав правобережья реки Ворсклы и их происхождение // Тр. Почвенного ин-та АН СССР. – 1955. – Т. 56. – С. 135.

Пенкина Е.В. Влияние мелиорантов и минеральных удобрений на продуктивность ярового ячменя на черноземе обыкновенном Саратовского правобережья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Саратов, 2004. – 22 с.

Петербургский А.В. Агрохимия и физиология питания растений. – М., 1971. – С. 323.

Проблемы известкования кислых почв в Республике Татарстан / *Ш.А. Алиев* [и др.] // Вопросы известкования почв: сб. тр. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 21–22.

Просянкикова О.И. Агрохимические параметры деградации почв Кемеровской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Кемерово, 2004. – 22 с.

Пчелкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения. – М.: Колос, 1966. – С. 5–48.

Рекомендации по известкованию кислых почв Красноярского края / *Т.М. Андропова* [и др.]. – Красноярск, 1974.

Рекомендации по известкованию кислых почв / *И.А. Шильников* [и др.]. – М.: Колос, 1982.

Ринкись Т.Я. Об оптимальных соотношениях и концентрациях микроэлементов в питании растений // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине: тез. докл. 1-го Всесоюз. совещания. – Улан-Удэ, 1966.

Рудой Н.Г. Исследование возможностей использования золы канско-ачинских углей для известкования кислых почв // Отчет о НИР КНИИСХ СО ВАСХНИЛ: рукопись. – 1985.

Рудой Н.Г., Лубите Я.И. Об использовании шламов Ачинского глиноземного комбината для мелиорации кислых почв // Совершенствование гидротехнического строительства и мелиорации в Сибири. – Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1976.

Савицкая В.А., Синицин С.С., Широков А.И. Твердая пшеница в Сибири. – М.: Колос, 1980. – 184 с.

Семина Е.В. Почвенный покров Красноярской лесостепи // Природное районирование центральной части Красноярского края. – М.: АН СССР, 1962.

Серебрянская П.И. Сезонное изменение и оттаивание почв Барабы // Тр. Почвенного ин-та АН СССР. – М., 1954. – Т. 42. – С. 95.

Состояние и перспективы повышения плодородия почв в центрально-черноземном экономическом районе РСФСР / *И.С. Шатилов* [и др.] // Повышение эффективности земледелия и агропромышленного производства Белгородской области. – М., 1990. – С. 33–44.

Схема природного районирования центральной части Красноярского края и некоторые вопросы пригородного хозяйства / *М.П. Брицына, Н.Н. Гаралов, Е.М. Любимова* [и др.]. – М.: АН СССР, 1962.

Танделов Ю.П. Внесение минеральных удобрений в Красноярском крае // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – № 3. – С. 8–16.

Танделов Ю.П. Динамика содержания некоторых микроэлементов в листьях хлорозных и здоровых яблок на юге Красноярского края // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока: тез. 3-й Сибир. конф. – Омск, 1969. – С. 10.

Танделов Ю.П. Известковый хлороз яблони и меры борьбы с ним: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Иркутск, 1969.

Танделов Ю.П. Научное обоснование повышения плодородия почв и эффективности удобрений Средней Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Красноярск, 1999.

Танделов Ю.П. Состояние садов при различной агротехнике в степной зоне Хакасии // Плодородие почв и удобрения в Красноярском крае. – Красноярск, 1967. – С. 467–469.

Танделов Ю.П. Эффективность минеральных удобрений и мелиорантов на кислых почвах Красноярского края // Химия в сельском хозяйстве. – 1997. – № 1. – С. 8–11.

Танделов Ю.П., Ерышова О.В. Влияние минеральных удобрений и белитовой муки на урожай сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах Красноярского края // Повышение плодородия кислых почв земледельческой части Красноярского края. – Красноярск, 1980. – С. 26–31.

Танделов Ю.П., Ерышова О.В. Эффективность минеральных удобрений на темно-серых лесных почвах Минусинской впадины // Повышение плодородия кислых почв земледельческой части Красноярского края. – Красноярск, 1980. – С. 48–51.

Танделов Ю.П., Ерышова О.В. Эффективность удобрений и известкования почв в Красноярском крае. – М.: МГУ, 1997. – С. 1–67.

Танделов Ю.П., Ерышова О.В., Потехин А.М. Влияние белитовой муки и систематического внесения минеральных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические свойства дерново-подзолистых почв // Применение химических мелиорантов на кислых почвах: тез. докл. – Красноярск, 1982. – С. 16–21.

Техногенез и трансформация ландшафтов / *В.Г. Волкова* [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1989. – 185 с.

Типовые рекомендации по известкованию кислых почв / *В.Н. Стрельников, И.Н. Шильников, В.Н. Величко* [и др.]. – М.: Колос, 1977.

Тютюнов И.А. Миграция воды в торфяно-глеевой почве в период замерзания и замерзшего ее состояния в условиях неглубокого залегания вечной мерзлоты. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – С. 67.

Удобрения и урожай / *П.И. Крупкин* [и др.]. – Красноярск, 1970.

Устюгов В.М. Эффективность минеральных удобрений на серых лесных оподзоленных почвах Канской и Ачинской лесостепи // Тр. КСХИ. – 1964. – Т. 18. – С. 80–95.

Уфимцева К.А. Материалы к районированию северной части дерново-подзолистой подзоны Европейской территории СССР // Тр. Почвенного ин-та АН СССР. – М., 1955. – Т. 56.

Федоров А.А., Басистый В.П. Теория и практика известкования кислых почв юга российского Дальнего Востока: монография / ПГСХА. – Уссурийск, 2001. – 164 с.

Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам: энцикл. справ. – М.: Протектор, 2000. – 848 с.

Фрид А.С., Гребенников А.М. Устойчивость почв России к деградации по плодородию при кислотных и щелочных воздействиях //Агрохимия. – 1992. – № 2. – С. 11.

Хассинк Д. Обмен оснований в почве // Почвоведение. – 1937. – № 7. – С. 15–25.

Чернавина И.А. Физиология и биохимия микроэлементов. – М.: Высшая школа, 1970. – С. 281.

Чижигов В.В. Агрофизическая характеристика и элементы водного, температурного и пищевого режимов основных почв Канской лесостепи: автореф. ... канд. с.-х. наук. – Иркутск, 1968. – 22 с.

Шильников И.А. Известкование кислых почв при интенсивном применении удобрений // Основные условия эффективного применения удобрений. – М.: Колос, 1983. – С. 89–101.

Шильников И.А. Потери кальция и магния из пахотных почв// Химия в сельском хозяйстве. – 1977. – № 6. – С. 23–29.

Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. – Л.: Наука, 1974. – С. 323.

Школьник М.Я., Макарова Н.А. Микроэлементы в сельском хозяйстве. – М.: АН СССР, 1957. – С. 212.

Шоков М.Р., Виноградова Р.И. Результаты испытаний известково-аммиачной селитры //Агрохим. вестн. – 2002. – № 6. – С. 31–32.

Юмашев Н.П., Логашина Т.П. Известкование кислых почв в Тамбовской области //Плодородие. – 2005. – № 2. – 30 с.

Якушкин И.В. Известковые удобрения в свекловичной культуре //Руководство по применению удобрений под сахарную свеклу. – М., 1933. – 72 с.

Янцен Е.Г., Заруднев Ю.И. Эффективность удобрений и дефеката в севооборотах с короткой ротацией //Агрохим. вестн. – 2000. – № 6. – С. 9–11.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Районирование и структура почвенного покрова кислых почв	5
Глава 2. Водно-температурный режим кислых почв Красноярского края.....	18
Глава 3. Агрохимическая характеристика кислых почв Красноярского края	21
Глава 4. Эффективность минеральных удобрений и мелиорантов.....	61
4.1. Эффективность минеральных удобрений и мелиорантов на дерново-подзолистых почвах.....	65
4.2. Изменение агрохимических свойств кислых почв при си- стематическом внесении минеральных удобрений и мелиорантов.....	72
4.3. Результаты вегетационных опытов.....	82
4.4. Эффективность минеральных удобрений и мелиорантов на серых лесных почвах Казачинского и Пировского районов.....	90
4.5. Влияние минеральных удобрений и белитовой муки на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические свойства почв в Канском природном округе.....	92
4.6. Влияние минеральных удобрений и белитовой муки на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические свойства почв в правобережье Минусинской впадины.....	96
4.7. Эффективность калийных удобрений на кислых почвах Красноярского края.....	98
4.8. Об оптимальном уровне обеспеченности почв подвиж- ным фосфором.....	108
Глава 5. Отношение возделываемых культур и сортов к кислой реакции среды.....	116
Глава 6. Агротехнические мероприятия по повышению плодородия кислых почв	122
Глава 7. Состояние кислотности черноземных почв Красно- ярского края и проблема известкования.....	127
Заключение.....	144
Приложения.....	147
Литература	150

Научное издание

Плодородие кислых почв земледельческой территории Красноярского края

ТАНДЕЛОВ Юрий Павлович

Редактор Н.А. Семенова
Компьютерная верстка А.А. Иванов
Дизайн обложки Д.В. Семенов

Подписано в печать 02.04.2012. Усл. печ. л. 10,25. Тираж 500 экз.
Отпечатано в Красноярской городской типографии,
г. Красноярск, ул. Бограда, 93а. Тел.: (83912) 21-76-76,
e-mail: gortip@mail.ru.