

ФГБОУ ВО "Великолукская государственная сельскохозяйственная
академия"

На правах рукописи

ВОРОБЬЁВ
Вячеслав Анатольевич

УДК 631.416.4:631.445.24 (470.2)

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИРОДНО-
АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КАЛИЙНОГО
СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ
СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ**

Специальность - 06.01.04. - Агрохимия

Диссертация на соискание учёной степени
доктора сельскохозяйственных наук

Научный консультант:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Иванов Алексей Иванович

Великие Луки - 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	6
Основная часть.....	17
1 Условия, объекты и методика исследований.....	17
1.1 Природные условия Северо-Запада РФ как фактор формирования калийного состояния дерново-подзолистых почв.....	17
1.2 Агрогенетическая характеристика объектов исследования.....	24
1.2.1 Характеристика объектов сравнительно-генетического исследования.....	24
1.2.2 Характеристика объектов исследования в полевых опытах.....	33
1.3 Метеорологические условия в годы проведения исследований...	41
1.4 Методика проведения исследований.....	48
2 Трансформация калийного состояния дерново-подзолистых почв под влиянием антропогенного фактора.....	56
2.1 Агрогенетическая сущность окультуривания дерново-подзолистых почв.....	56
2.2 Изменение калийного состояния дерново-подзолистых почв в процессе окультуривания.....	60
2.2.1 Результаты исследований в условиях Псковской области.....	65
2.2.2 Изменение калийного состояния пахотных почв Северо-Западного района РФ за годы химизации сельского хозяйства.....	74
2.3 Деградация калийного состояния окультуренных дерново-подзолистых почв.....	77
2.4 Трансформация калийного состояния дерново-подзолистых почв в условиях полевых опытов.....	82

2.4.1	Трансформация калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы на фоне минеральной системы удобрения в полевом севообороте (опыт № 1).....	82
2.4.2	Трансформация калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы на фоне разных типов калийдефицитной системы удобрения (опыт № 2).....	99
2.4.3	Трансформация калийного состояния слабо- и хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы в овощном севообороте на фоне минеральной системы удобрения...	102
2.4.4	Трансформация калийного состояния среднеокультуренной дерново-подзолистой почвы в полевом севообороте на фоне минеральной системы удобрения.....	110
3	Агрономическая эффективность калийных удобрений в зависимости от калийного состояния почвы.....	115
3.1	Агрономическая эффективность калийного удобрения в полевом зернопропашном севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве.....	117
3.2	Агрономическая эффективность калия удобрений в полевом плодосменном севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве.....	128
3.3	Агрономическая эффективность калийного удобрения в овощном севообороте на слабо- и хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве.....	134
3.4	Агрономическая эффективность калийного удобрения в полевом севообороте на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве.....	141
4	Зависимость качества сельскохозяйственной продукции от условий	

калийного питания растений.....	151
4.1 Влияние калийного удобрения на качество растительной продукции в зернопропашном севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве.....	154
4.2 Влияние калийного удобрения на качество растительной продукции в плодосменном севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве.....	159
4.3 Влияние калийного удобрения на качество растительной продукции в овощном севообороте на дерново-подзолистой почве разной окультуренности.....	162
4.4 Влияние калийного удобрения на качество растительной продукции в полевом севообороте на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве.....	167
5 Экономические последствия использования систем удобрения с разным балансом калия.....	173
5.1 Экономические последствия применения калийдефицитных систем удобрения в полевых севооборотах на хорошо окультуренной почве.....	174
5.2 Экономическая эффективность калийного удобрения в овощном севообороте на почвах разной окультуренности.....	187
5.3 Экономическая эффективность калийного удобрения в звене полевого севооборота на среднеокультуренной почве.....	192
Заключение.....	197
Список использованной литературы.....	203
Приложения.....	246
1 Технологическая карта работ по использованию минеральных удобрений в дозе N120P60K90	
2 Технологическая карта по внесению навоза в дозе 40 т/га	

- 3 Технологическая карта работ по уборке и доработке прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в полевых опытах
- 4 Расчёт затрат на формирование прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в зернопропашном севообороте
- 5 Расчёт затрат на формирование прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в плодосменном севообороте
- 6 Расчёт затрат на формирование прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в овощном севообороте на дерново-подзолистой почве
- 7 Расчёт затрат на формирование прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в полевом севообороте на среднеокультуренной почве
- 8 Акт внедрения результатов научных исследований в ООО " Ветъ " Себежского района Псковской области
- 9 Акт внедрения результатов научных исследований в КХ "Прометей" Гдовского района Псковской области

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. По уровню потребления большинством сельскохозяйственных культур калию принадлежит первое место среди основных питательных элементов. С его участием связаны процесс фотосинтеза, углеводный и белковый обмен, ферментативная активность, обводнённость коллоидов протоплазмы. Оптимальное питание калием - одно из главных условий устойчивости растений к низким температурам, засухе, полеганию, грибным заболеваниям и, даже, повреждению вредителями (Пчёлкин В.У., 1966; Курсанов А.Л., 1967; Минеев В.Г., 1999; Прокошев В.В., Дерюгин И.П., 2000; Bruulsema T.e.a., 2010). А в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, это и основной барьер против накопления в сельскохозяйственной продукции изотопа ^{137}Cs (Алексахин Р.М., 1992; Nisbet A.F., 1994; Белоус Н.М., 2000; Драганская М.Г., 2008; Белоус Н.М. и др., 2012, 2015; Анисимов В.С., 2002). Калийное голодание растений негативно сказывается на эффективности азотных и фосфорных удобрений (Кук Д.У., 1970; Якименко В.Н., 2003).

Обеспеченность растений калием напрямую связана с калийным состоянием почвы. На чернозёмах и каштановых почвах, характеризующихся большими запасами валового и подвижного калия, потребность растений в этом элементе может полностью или почти полностью удовлетворяться за счёт почвы (хотя тоже не бесконечно). Дерново-подзолистые почвы значительно беднее калием. Применение на них калийсодержащих удобрений как с целью оптимизации питания растений, так и для улучшения или сохранения калийного состояния почвы становится объективной необходимостью (Петербургский А.В., 1973).

Но, вопреки научным требованиям, в последнюю четверть века произошёл почти полный отказ от применения этих удобрений, в том числе,

и на дерново-подзолистых почвах (Минеев В.Г., 2003; Кудеяров В.Н., Семёнов В.М.; 2004, Шафран С.А., 2004; Якименко В.Н., 2006). В результате этого наша страна ежегодно недополучает 1 млн. тонн зерна, 10 тыс. тонн льноволокна, 150 тыс. тонн сахарной свёклы, 300 тыс. тонн картофеля (Шафран С.А., Янишевский Ф.В., 1998; Лямцева Е.Г., 2008). Почти повсеместно в почвах сельскохозяйственных угодий регистрируется уменьшение содержания подвижного калия (Державин Л.М., 1998; Ефимов В.Н., Иванов А.И., 2001; Никитина Л.В., Володарская И.В., 2007). Неоправданность такой политики подтверждается устойчивостью импорта из России калийных удобрений странами Западной Европы, располагающими весьма плодородными, давно окультуренными почвами.

Не отрицая экономической природы возникшей проблемы, нельзя не видеть и причин, относящихся к сфере агрохимической науки. В частности, не найдено убедительного объяснения причин достаточно низкой эффективности калийных удобрений в годы их интенсивного применения (Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф., 1977; Иванов И.А., 1989; Прудников В.А., Шкель М.П., 1989; Белоус Н.М., 1996; Сычёв В.Г., Шафран С.А., 2012). Есть основание считать, что это стало следствием, в том числе, и недостаточности научной информации о калийном состоянии почв, равно как и пренебрежения ею агрохимической службой хозяйств.

Не способствовала повышению значимости калийных удобрений и противоречивость данных об их влиянии на калийное состояние почвы. Так, разными исследователями регистрировался разброс показателей затрат K_2O удобрений на увеличение содержания в почве подвижного калия на 10 мг/кг в диапазоне от 14 до 100 и, даже, 900 кг/га (Шафран С.А., 1984; Медведева О.П., 1987; Хлыстовский А.Д., 1989; Небольсин А.Н. и др., 1997; Лапа В.В. и др., 2000). Более того, немало данных о снижении запасов обменного калия при положительном балансе этого элемента в системах удобрения и об увеличении - при отрицательном (Прокошев В.В., 1985;

Бабарина Э.А. и др., 1990, 1991; Шильников И.А. и др., 2002; Мёрзлая Г.Е. и др., 2002). Отсюда и появление рекомендаций на правомерность использования калийдефицитных систем удобрения (Литвак Ш.И. и др., 1991; Якименко В.Н., 2006).

Возникшие неопределённости и противоречия не корректно объяснять недостаточностью внимания к проблеме и, тем более, ошибками учёных. Вероятнее, они являются следствием крайней сложности взаимосвязей в системе "почва - калий удобрения - растение". Даже при значительных общих запасах почвенного калия уровень калийного питания может лимитироваться его сорбционно-десорбционными процессами (Пчёлкин В.У., 1966; K. Mengel, 1976). А конкретнее, с одной стороны, образованием усвояемых растением форм за счёт фиксированных, с другой, - фиксацией подвижных катионов К. Характер этих процессов в каждом случае индивидуален, поскольку зависит от комплекса факторов: минералогического и гранулометрического составов материнских пород, реакции среды, гумусированности, ЕКО, ОВП, предшествующей удобренности, метеоусловий и других. Эти факторы не могут быть однородными даже в пределах одной почвенно-климатической зоны, не говоря о всей огромной территории России. А значит, имеющаяся научная информация по проблемам калия почвы и удобрений, полученная в условиях Центрального Нечерноземья (В.У. Пчёлкин, 1941, 1966; Н.И. Горбунов, 1963 - 1974; В.В. Прокошев, 1975 - 2004 и др.), Волго-Вятского района (И.Г. Важенин, 1950 - 1959; В.Н. Прокошев, 1952), Западной Сибири (В.Н. Якименко, 1993 - 2009), Дальнего Востока (Е.А. Жарикова, 2001 - 2007) и, тем более, Центрального Черноземья (П.Г. Адерихин, 1970 - 1974) не может быть механически перенесённой на дерново-подзолистые почвы Северо - Западного района. К тому же, познание сорбционно - десорбционных процессов невозможно без учёта положений химической термодинамики (Гибс Дж.У., 1950).

Почвенно - климатические условия Северо - Западного района специфичны. Его целинные дерново-подзолистые почвы характеризуются низким плодородием, поскольку это молодые образования, сформировавшиеся на бедных основаниях, зачастую лёгких по гранулометрическому составу материнских породах. На фоне промывного водного режима широко развиты такие элементарные почвообразовательные процессы, как элювирование, лессиваж, илонакопление. Процесс окультуривания этих почв имеет недолгую историю. Всё названное имеет прямое отношение к калийному состоянию почв и эффективности калия удобрений.

Выполненные в условиях района научные исследования, в основном, ориентировались на решение частных задач общей проблемы калия почвы и удобрений (об этом подробнее ниже). Поэтому комплексное исследование по заявленной нами тематике является весьма актуальным.

Степень разработанности темы. Наиболее обширная информация о калийном состоянии почв сельскохозяйственных угодий (по показателю содержания подвижного калия) получена государственной агрохимической службой района. Продолжительность исследования (с 1964 года) и строгое соблюдение методических требований гарантирует её объективность. Правда, при использовании этой информации сегодня необходимы соответствующие корректировки с учётом обвального сокращения обследуемой площади. Более конкретно это рассматривается в диссертационной работе.

К числу ранних работ следует отнести и исследования учёных ЛГУ (СПбГУ), ЛСХИ (СПбГАУ) и Центрального музея почвоведения им В.В. Докучаева. Учёными СПбГУ Э.И. Гагариной, Н.Н. Матинян и др. (1995), на основе материалов почвенных экспедиций установлены генетические особенности химического состава дерново-подзолистых почв, включающие и профильное распределение калия. А.А. Коротковым (1970, 1977, 1990) и его

учениками собран значительный объём информации о накоплении и выносе калия в целинных и пахотных почвах. В.К. Пестряковым (1974, 1977) выполнена оценка влияния окультуривания на содержание в почве валового и подвижного калия. Объектами сравнения при этом избраны целинные дерново-подзолистые и окультуренные почвы сортоучастков Северо - Западной зоны.

Значительный вклад в решение ряда вопросов проблемы внесён отделом агрохимии Северо - Западного НИИСХ и лично его руководителем А.Н. Небольсиным (1997). На основе собранного банка данных полевых опытов с удобрениями он пришёл к заключению, что для устойчивого повышения содержания в почве подвижного калия на 10 мг/кг требуется не 40 - 90, а до 900 кг/га K_2O удобрений. Были уточнены оптимальные уровни обеспеченности почв подвижным калием и нормативы окупаемости калийных удобрений.

С 1986 года в исследования по оценке свойств и режимов дерново-подзолистых почв региона активно включились учёные Великолукского СХИ. В заложенных в эти годы стационарных опытах было предусмотрено изучение калийного состояния почв по комплексу ёмкостных и термодинамических показателей. Задействовался сравнительно-генетический метод изучения почв на основе почвенных экспедиций по районам Псковской области. Отслеживалась информация с трансформацией показателей плодородия пахотных дерново-подзолистых почв.

И.А. Ивановым (1989) впервые в условиях района начато изучение низкой эффективности калийных удобрений и кратного превышения норматива затрат этих удобрений на увеличение содержания в почве подвижного калия.

А.И. Ивановым (2000) в совместных исследованиях со станцией агрохимслужбы "Великолукская" установлена неоправданность упрощенной трактовки показателей 6-й классификационной группы обеспеченности почв

подвижным калием (понятием "более 250 мг K_2O в 1 кг почвы"). Было доказано, что разброс абсолютных показателей содержания в пределах этой группы превышает параметры пяти остальных групп. На этом основании рекомендовались изменения в классификации и в методике химического анализа почвенных образцов.

Е.Г. Лямцевой (2007) установлены закономерности в зависимости калийного состояния лёгких дерново-подзолистых почв от гидротермических условий.

Автор настоящей работы был тоже участником этих исследований - на первом этапе как исполнитель, в последующем - как руководитель и исполнитель.

(Примечание: детальный анализ разработанности темы даётся в начале каждого подраздела диссертации).

Цель и задачи исследования. Целью исследования была комплексная оценка калийного состояния дерново-подзолистых почв разного генезиса и окультуренности и установление агроэкологических последствий его изменения под влиянием антропогенного фактора в условиях Северо-Запада РФ. В этом направлении решались следующие основные задачи:

- изучение характера зависимости калийного состояния дерново-подзолистых почв от их генезиса и степени окультуренности;
- установление закономерностей в системе "калий удобрения - калийное состояние почвы" при разных уровнях интенсивности баланса калия в применяемых системах удобрения;
- оценка агрономической эффективности калийных удобрений в зависимости от калийного состояния почвы, её водно-физических свойств, биологических особенностей сельскохозяйственных культур и фактора времени;
- определение экологических последствий длительного использования дефицитных по калию систем удобрения (изменение пула подвижных и

неподвижных форм почвенного калия, минералогического состава почвы и качества получаемой сельскохозяйственной продукции);

- экономическая оценка систем удобрения в полевых и овощном севооборотах.

Научная новизна исследования состоит в том, что в нём:

- впервые в условиях Северо-Западного района России получена комплексная информация о зависимости калийного состояния дерново-подзолистых почв от их генезиса и степени окультуренности;

- установлены отдельные закономерности в трансформации форм почвенного калия (в том числе с использованием энергетических характеристик);

- получена научная информация о зависимости агроэкологической эффективности калия удобрений от калийного состояния, её водно-физических свойств почвы, биологических особенностей сельскохозяйственных растений и фактора времени;

- обоснованы параметры экономического ущерба от длительного использования калийдефицитных систем удобрения.

Теоретическая значимость работы заключается:

- в значительном углублении научных представлений о калийном состоянии дерново-подзолистых почв Северо-Западного района РФ;

- в теоретическом обосновании особенностей применения калийсодержащих удобрений в полевых и овощных севооборотах;

- в конкретизации агроэкологических рисков, возникающих при отказе от калийных удобрений;

- в обосновании долговременных экономических последствий современного деградационного процесса в дерново-подзолистых почвах района.

Практическая значимость работы определяется уточнением зональных рекомендаций по применению калийных удобрений, отражённом

в монографии "Почвы Псковской области и их сельскохозяйственное использование" (Великие Луки: Изд. ВГСХА, 1998) и учебные пособия "Научно-производственные основы систем удобрения в Нечернозёмной зоне" (Великие Луки: Изд. ВГСХА, 2002) и "Основы почвоведения, агрохимии и земледелия" (СПб.: Изд. АФИ, 2010). Использование рекомендаций в КФХ "Прометей" Гдовского района Псковской области обеспечивает годовой экономический эффект в сумме 220 тыс. рублей, в

Методология и методы исследования. Методология исследования, в содержательной её части, состояла в рациональном сочетании принципов ресурсосбережения и охраны природной среды (с учётом требований основных законов земледелия). В структурном отношении методология выражалась использованием дополняющих друг друга методов исследования:

- длительные стационарные полевые опыты общим объёмом 35 опыто-лет, в том числе опыт 1 Географической Сети опытов ВИУА (Реестор аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации. М.: Агроконсалт, 2002. С. 131 - 132);

- сравнительно-генетический метод изучения почв (Никитин Б.А., 1976, 1986);

- статистический анализ (по данным агрохимической службы района);

- химический, гранулометрический и минералогический анализ растительной продукции по соответствующим методическим руководствам.

(Примечание: подробная характеристика методов и условий проведения исследования дана в разделе 1 диссертации).

Положения, выносимые на защиту:

- степень зависимости отдельных показателей калийного состояния дерново-подзолистых почв Северо-Запада РФ от генезиса и окультуренности последних;

- параметры трансформации калийного состояния дерново-подзолистых почв на фоне систем удобрения с положительным и отрицательным балансом калия;

- параметры агрономической эффективности калия удобрений в зависимости от калийного состояния и водно-физических свойств почвы, биологических особенностей сельскохозяйственных растений и фактора времени;

- необходимые условия для рентабельного применения калийсодержащих удобрений в современном сельском хозяйстве района;

- экологические и экономические последствия длительного отказа от использования калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах района.

Степень достоверности. Достоверность полученной информации и сделанных на её основе выводов и рекомендаций достигнута за счёт значительной продолжительности исследования на базе разных типов и видов севооборотов; строгим соблюдением методических требований к многолетним стационарным опытам и методик химических и других анализов; статистической обработкой данных учёта урожайности и показателей важнейших анализов; методическим контролем со стороны научно-технического совета вуза.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научно-производственных конференциях в Великолукской ГСХА в 1998 - 2016 гг., в Санкт-Петербургском ГАУ в 1998 - 2006 гг., в Псковском ГПИ в 2002 г., в Ульяновской ГСХА в 2004 - 2005 гг., в Смоленском СХИ в 2004 г., в Костромской ГСХА в 2005 - 2009 гг., во ВНИИА в 2006 г., в Башкирском ГАУ в 2006 г., в Белорусской ГСХА в 2007 - 2014 гг., в Ставропольском ГАУ в 2007, 2013 гг., в Нижегородской ГСХА в 2008 г., в Чувашской ГСХА в 2008 и 2010 гг., в Курской ГСХА в 2009 г., в АФИ РАСХН в 2009 - 2015 гг.

Организация исследований и личный вклад соискателя. Научные исследования выполнялись на кафедре агрохимии и почвоведения

Великолукской ГСХА и являлись составной частью общей темы по научному обоснованию зональной системы удобрения с учётом свойств и режимов дерново-подзолистых почв Северо-Западного района, разрабатываемой под руководством академика РАСХН В.Н. Ефимова и профессора А.И. Иванова. В рамках научно-исследовательских работ ВГСХА они являлись основой региональной программы "Изучение почвенного покрова Псковской области и разработка мероприятий по воспроизводству его плодородия".

Планирование, закладка и выполнение программы наблюдений, учётов и химических анализов в этих опытах осуществлялись автором лично. Исключением является многолетний стационарный опыт №1, в котором, помимо соискателя, исследования велись докторами с.-х. наук И.А. Ивановым и Н.А. Цыгановой (гумусное состояние почвы) и кандидатами с.-х. наук В.В. Ильющенковым (фосфатное состояние почвы) и О.В. Назаровой (азотное состояние почвы). Частично полученная ими научная информация использована в диссертационной работе (главным образом исходные свойства почвы) и в совместных публикациях. Всем им, а также кандидатам с.-х. наук Е.Г. Лямцевой и Г.В. Гавриловой выражаю искреннюю благодарность. Особая благодарность за всестороннюю помощь научному консультанту, доктору с.-х. наук, профессору А.И. Иванову.

В целом личный вклад соискателя в объём диссертационных исследований составляет не менее 80%. Доля участия в опубликованных научных трудах - 71%, в том числе в статьях из журналов, рекомендованных ВАК - 52%.

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 78 печатных работ, в том числе 14 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа включает введение, 5 разделов, заключение, рекомендации производству, список литературы и приложения. Данные исследования представлены 9 рисунками,

49 таблицами в основном тексте и 7 в приложениях. Список использованной литературы включает 390 наименований, из них - 43 на иностранных языках. Общий объём работы 272 стр. печатного текста.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ГЛАВА 1. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Северо-Западный природно-экономический район Российской Федерации, включающий Ленинградскую, Новгородскую и Псковскую области*, располагается в таёжно-лесной зоне и отличается крайне пёстрым сравнительно молодым почвенным покровом (Ильющенков В.В., 2000). Формирование последнего началось всего 10 - 12 тысяч лет назад с отступлением Валдайского ледника. Среди более десятка типов почв, господствующими в нём являются дерново-подзолистые (Благовидов Н.Л., 1962; Пестряков В.К., 1977; Гагарина Э.И. с соавт., 1995; Иванов И.А. с соавт., 1998). Эти почвы и были одним из объектов нашего исследования.

1.1. Природные условия Северо-Запада РФ как фактор формирования калийного состояния дерново-подзолистых почв

Одним из главных факторов не только почвообразования, но и формирования калийного состояния зональных почв является весьма специфический климат Северо-Западного района. В целом он может быть охарактеризован как умеренно-континентальный, но с ощутимым влиянием, особенно в западной части, Атлантического океана.

Обилие осадков (560 - 645 мм в год) на фоне невысоких среднегодовых температур (3,8 - 4,4*С) (табл. 1) - предпосылка к формированию промывного водного режима, в свою очередь, одного из основных условий подзолообразовательного процесса. А на грунтах с низкой водопроницаемостью параллельно протекают и процессы заболачивания. Находящийся в составе мелкодисперсных фракций и растворимых соединений калий почвы и удобрений вовлекается в инфильтрационный поток, особенно активно у лёгких по гранулометрическому составу почв - по

*Соответствующий федеральный округ включает ряд других областей и автономных республик.

Таблица 1 - Метеорологические условия Северо-Западного района РФ

Показатели	Среднемноголетние данные по областям		
	Ленинградская	Новгородская	Псковская
Годовая температура воздуха, °С	3,8	4,1	4,4
Сумма эффективных температур, °С	1660	1820	1936
Дни с температурой выше 10°С	116	122	131
Безморозный период, дней	119	123	132
Годовая сумма осадков, мм	625	560	645
Осадки за период с температурой выше 10°С, мм	263	287	282
Гидротермический коэффициент	1,6	1,7	1,5

данным М.А. Бобрицкой и Н.Н. Москаленко (1966), А.А. Короткова (1970, 1972, 1990), А.Н. Небольсина и др. (1997), С.А. Шафрана (1997), до 60 кг/га K_2O в год. Этому способствует повышенная кислотность почв и обогащённость их ионами водорода и алюминия (Шафран С.А., Янишевский Ф.В., 1998). Кроме того, свойственная дерново-подзолистым почвам района неустойчивость окислительно-восстановительных условий служит предпосылкой расщатывания и разрушения кристаллической решётки калийсодержащих минералов (Зайдельман Ф. Р., 1997).

Поскольку почти весь калий почвы содержится в минеральных соединениях, его валовые запасы определяются в основном химическим составом первичных и вторичных минералов почвообразующей породы. Преобладающая часть дерново-подзолистых почв Северо-Запада РФ сформировалась на ледниковых отложениях Валдайского горизонта. Это пёстрые по гранулометрическому составу моренные, озёрно- и водноледниковые породы. Лишь в восточной части Новгородской области, лежащей вне пределов Валдайского оледенения, распространены более

древние отложения Днепровского ледника - безвалунные покровные суглинки и глины. О распределении материнских пород по гранулометрическому составу можно судить по структуре почвенного покрова. По данным Н.Л. Благовидова (1962, 1968), в районе преобладают лёгкие почвы: песчаные, супесчаные, легкосуглинистые (56% площади). Из-за обогащённости кремнезёмом они беднее тяжёлых почв калием на 20 - 30% (Роде А.А., 1984). Относительно зональных дерново-подзолистых почв эта зависимость может быть проиллюстрирована данными В.К. Пестрякова (1977) (табл. 2).

Таблица 2 - Запасы калия в профиле целинных дерново-подзолистых почв Северо-Запада РФ

Угодье	Запасы K_2O по слоям почвы, т/га					
	0 - 30 см		0 - 50 см		0 - 100 см	
	валовые	подвижные	валовые	подвижные	валовые	подвижные
Песчаная почва на озёрноледниковом песке						
Лес	63,310	0,091	109,259	0,134	218,540	Не опр.
Луг	67,646	0,123	113,279	0,166	216,655	Не опр.
Легкосуглинистая почва на покровном суглинке						
Лес	95,979	0,217	178,115	0,550	370,624	1,427
Луг	100,413	0,225	167,147	0,591	368,107	1,493
Глинистая почва на безвалунной моренной глине						
Лес	97,900	0,232	199,722	0,468	446,744	1,315
Луг	93,502	0,154	182,538	0,286	419,842	0,778

С другой стороны, калий лёгких почв отличается большей подвижностью, а значит, и доступностью для растений (Карпинский Н.П.,

1965; Nemeht K., 1972; Кулаковская Т.Н., 1978; Иванов И.А., 1989; Носов В.В., 1997; Якименко В.Н., 2005). Как считали S.A. Barber e.a. (1963), чем тяжелее почва, то есть, чем больше в ней дисперсных частиц, тем большая часть обменного калия находится на селективных к нему позициях кристаллитов (e- и i - позициях) и меньшая - на позициях со слабой энергией связи (p - позициях).

Кроме того, лёгкие почвы слабо фиксируют и калий удобрений (Дерюгин И.П., 1995; Сычёв В.Г., 2000). Этим, в частности, С.А. Шафран объясняет меньшие на них затраты калийных удобрений на увеличение почвенных запасов подвижного (обменного) калия.

Помимо гранулометрического состава, большие различия почв как по общему содержанию калия, так и по интенсивности сорбционно-десорбционных процессов его форм определяется их минералогическим составом и емкостью катионного обмена (ЕКО).

Среди первичных минералов почвы наибольшим содержанием калия выделяются полевые шпаты (ортоклаз, микроклин) - 10 -12% и слюды (биотит, мусковит) - 8 - 10% (Пчёлкин В.У., 1966; Горбунов Н.И., 1974; Ониани О.Г., 1981). Большинство отечественных учёных придерживаются мнения, что калий этих минералов приобретает доступность для растений лишь после измельчения до частиц размером менее 0,001 мм. Происходит это в результате процессов физического, химического и биологического выветривания с образованием вторичных минералов: гидрослюд, монтмориллонита, бейделита, каолинита и смешаннослойных их разновидностей. Освободившиеся при разрушении первичных минералов химические элементы, в том числе и калий, поступают в почвенный раствор (Воробьёв В.А., 2001).

Скорость выветривания минералов зависит от их вида, строения кристаллической решётки и условий среды. В частности, важнейшими факторами химического выветривания будут вода, органические и

минеральные кислоты. А основными реакциями при этом - гидратация, гидролиз и окисление - восстановление (Возбуцкая А.Е., 1964).

Наиболее устойчивы к процессам выветривания полевые шпаты, обладающие высокой механической прочностью. Вследствие этого они продолжительное время сохраняются в составе сравнительно крупных песчаных и пылеватых фракций почвы (Лукашов К.И., Петухова Н.Н., 1970; Кауричев И.С. и др., 1982). Продуктами выветривания полевых шпатов становятся серицит, гидрослюды, монтмориллонит, каолинит и другие вторичные минералы (Горбунов Н.И., 1963, 1974).

Менее устойчивы к разрушению кристаллической решётки слюды, особенно в кислых условиях среды (Нарокова Р.П., 1990). В последнем случае скорость выветривания в 4 - 5 раз больше, а в почвенный раствор переходят в основном ионы калия и железа (Мурашкина М.А. и др., 2004). Целинные дерново-подзолистые почвы в преобладающей массе и характеризуются кислой реакцией среды. Продуктом выветривания слюд являются гидрослюды, в последующем переходящие в каолинит (Петров В.П., 1948; Горбунов Н.И., 1974). Гидрослюды содержатся преимущественно в дисперсных фракциях почвы и принадлежат к основным источникам питания растений.

Степень подвижности калия вторичных минералов неодинакова. Объясняется это тем, что катионы K^+ занимают в твёрдой фазе почвы разнородные по энергии связи позиции обменной и необменной сорбции. В минералах выделяется несколько видов центров сорбции катионов - на внешних плоскостях, в расширенных (клиновидных) зонах и в межслойном пространстве кристаллической решётки. Ионы, сорбированные на внешних плоскостях отличаются большей подвижностью. Напротив, центры сорбции, расположенные в клиновидных зонах и в межслойном пространстве, обладают высокой селективностью относительно катионов калия (Bolt G.H. e.a., 1963; Cremers A.A., Pleysier J., 1973; Cremers A.A. e.a, 1988). С учётом

особенностей строения кристаллической решётки калий, сорбированный монтмориллонитом и вермикулитом, менее подвижен в сравнении с таковым в составе каолинита и хлорита (Bolt G.H. e.a., 1963; Cremers A.A., 1973; Горбунов Н.И., 1974).

Большое значение имеет и ёмкость поглощения почвы в части, обусловленной содержанием гумуса в составе илистой фракции, поскольку органические коллоиды характеризуются менее прочной фиксацией катионов (Mac Lean A.J., Brydon J.E., 1971; Якименко В.Н., 1995).

Относительно значения степени дисперсности минерала единого мнения не сложилось. Если А.В. Петербургский (1979) полагал, что чем она выше, тем легче из минерала десорбируется калий, то H.G. Reichenbach, C.I. Rich, 1969, C.D. Carson, I.B. Dixon, 1972, D.W. James, W.H. Weaver, 1975, D.A. Munk, 1976 указывали на участие в питании растений значительного количества калия из пылеватых и даже песчаных фракций.

Не менее противоречивы и данные о распределении калийсодержащих минералов по профилю дерново-подзолистых почв. Так, Э.И. Гагарина (1995) относила тип профильного распределения калия к элювиальному, имея в виду увеличение концентрации этого элемента с глубиной. Однако, вероятно, это справедливо лишь для суглинистых и глинистых разновидностей, у которых имеет место утяжеление гранулометрического состава от гумусового горизонта к материнской породе. У песчаных и супесчаных почв, сформировавшихся на песчаных породах, как установлено А.А. Коротковым (1990), характер распределения будет противоположным. К тому же, зависимость валового содержания калия от размера почвенных фракций не столь определённа. По данным Е.М. Лабинец (1968), фракции крупнее 0,005 мм легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы содержали в пределах гумусового горизонта 11,68% обогащённых калием полевых шпатов, а с глубиной их участие в составе снижалось до 4,45%. Поэтому, как считал В.К. Пестряков (1977), концентрация калия в илистой фракции

возрастает незначительно, а в коллоидах даже уменьшается, за исключением гумусовых горизонтов хорошо окультуренных почв, обогащённых обменным калием. С учётом названных обстоятельств профильное распределение калия может существенно различаться даже у одной и той же разновидности дерново-подзолистых почв.

Определённое влияние на калийное состояние дерново-подзолистых почв Северо - Западного района оказывает и его неоднородный рельеф. Д.Б. Малаховский (1978) выделял в нём несколько геоморфологических областей. На севере район ограничен полосой плосковершинных гряд-сельгов, сложенных массивно-кристаллическими породами. Восточная часть занимает полоса грядово-холмистых моренных образований: Вепсовская, Тихвинская и Валдайская возвышенности. Западнее к ним примыкает обширная заболоченная Волхов - Ильмень - Ловатская низменность, сложенная озёрноледниковыми породами. Самый запад района занимает тоже весьма обширная, но более дренированная Псковская низменность. Две эти низменности разделяются полосой меридионально расположенных моренных возвышенностей: Лужской, Судомской и Бежаницкой.

Зависимость калийного состояния почв от рельефа связана, с одной стороны, с приуроченностью к его отдельным формам различных по гранулометрическому и минералогическому составу материнских пород, с другой, - с перераспределением атмосферных осадков и развитием болотообразовательного и эрозионного процессов. На всех низменностях района, наряду с болотными, широко распространены дерново-подзолистые глееватые почвы, в которых процессы трансформации калийсодержащих минералов активируются восстановительными условиями (Зайдельман Ф.Р., 1994). Для возвышенностей характерна латеральная дифференциация состава почвы, то есть обогащение её элементами - органогенами (в том числе и

калием) в понижениях рельефа до 1,5 - 2 раз относительно вершин склонов (Глазовская М.А. и др., 2004).

1.2. Агрогенетическая характеристика объектов исследования

Все полевые исследования выполнялись в разных частях Псковской области, расположенной на юго-западе Северо-Западного природно-экономического района. Её общая площадь - 5,5 млн. га. По площади пашни и сельскохозяйственных угодий это наиболее крупное территориально - административное подразделение района. Объект изучения - дерново-подзолистые почвы, занимают 47% территории области, в том числе на пашне - 90% (Иванов И.А. и др., 1998).

1.2.1. Характеристика объектов сравнительно - генетического исследования

Для оценки параметров трансформации калийного состояния дерново-подзолистых почв в процессе окультуривания был использован предложенный Б.А. Никитиным (1976, 1986) сравнительно - генетический метод исследования. Согласно ему получение необходимой информации обеспечивается изучением серии почвенных разрезов, закладываемых в близких геоморфологических условиях. Ниже приводится несколько сокращённое описание морфологического строения профиля четырёх почвенных разновидностей обычных и остаточно-карбонатных почв.

Разрез №1. Великолукский район Псковской области, учхоз "Удрайское" Великолукской ГСХА, 800 м западнее д. Сопки. Слабовсхолмленная озёрноледниковая равнина Тулубьевского увала в

пределах Ловатской низменности. Молодой вторичный мелколиственный лес с преобладанием берёзы и осины; встречаются отдельные сосны.

A₀ 0 - 2 см - лесная подстилка, бурая, среднеразложившаяся, уплотнённая, переход резкий, ровный.

A₁ 2 - 18 см - желтоватосерый, бесструктурный, рыхлопесчаный, пронизан корнями растений, переход ясный, ровный.

A₂B 18 - 56 см - жёлтый с белёсым оттенком, бесструктурный, рыхлопесчаный, корни деревьев, узкие полосы ортзандов, переход заметный.

B 56 - 130 см - жёлтый, бесструктурный, слабоуплотнённый, рыхлопесчаный, узкие полосы ортзандов, переход постепенный.

C 130 - 150 см - пестроцветный с преобладанием жёлтых и коричневых тонов, бесструктурный, несколько уплотнённый, рыхлопесчаный.

Почва: дерново-слабоподзолистая песчаная на озёрноледниковом песке.

Разрез №1а. Великолукский район Псковской области, учхоз "Удрайское" Великолукской ГСХА, 720 м западнее д. Сопки. Слабовсхолмленная озёрноледниковая равнина Тулубьевского увала в пределах Ловатской низменности. Пашня - поле №3 полевого севооборота. Среднегодовое внесение удобрений за период 1962 - 2000 гг. составляло: навоз - 3 т/га, известь - 0,4 т/га, д.в. минеральных удобрений - 85 кг/га.

Апах. 0 - 20 см - палево-серый, бесструктурный, рыхлый, связнопесчаный, корни растений, переход заметен по цвету.

A₂B 20 - 60 см - оранжево-жёлтый с белёсыми пятнами, бесструктурный, слабоуплотнённый, рыхлопесчаный, редкие корни растений, мелкие ортзанды, переход заметный.

B 60 - 125 см - жёлтый, бесструктурный, слабоуплотнённый, связнопесчаный, редкие ортзанды, переход постепенный.

С 125 - 150 см - пестроцветный с преобладанием жёлтых и коричневых тонов, бесструктурный, слабоуплотнённый, рыхлопесчаный.

Почва: дерново-слабоподзолистая песчаная на озёрноледниковом песке (слабоокультуренная).

Разрез № 16. Великолукский район Псковской области, учхоз "Удрайское" Великолукской ГСХА, 530 м западнее д. Сопки. Слабовсхолмленная озёрноледниковая равнина Тулубьевского увала в пределах Ловатской низменности. Пашня - поле №1 прифермского севооборота. Среднегодовое внесение удобрений за период 1962 - 2000 гг. составляло: торфо-навозный компост - 18 т/га, известь - 0,9 т/га, д.в. минеральных удобрений - 140 кг/га.

Апах. 0 - 24 см - серый, бесструктурный, связнопесчаный, рыхлый, корни растений, переход заметен по сложению.

А₁ 24 - 34 см - серый, бесструктурный, несколько плотнее Апах., рыхлопесчаный, корни растений, переход отчётливый.

А₂В 34 - 88 см - белёсый, бесструктурный, слабоуплотнённый, рыхлопесчаный, присутствуют ортзанды, переход постепенный.

В 88 - 132 см - жёлтый, бесструктурный, уплотнённый, рыхлопесчаный, редкие ортзанды, переход постепенный.

С 132 - 150 см - пестроцветный с преобладанием жёлтых и коричневых тонов, бесструктурный, уплотнённый, рыхлопесчаный.

Почва: дерново-слабоподзолистая песчаная на озёрноледниковом песке (хорошо окультуренная).

Разрез № 2. Великолукский район, АОЗТ "Авангард", 200 м северо-западнее д. Покарёво. Всхолмленная моренная равнина. Злаково-разнотравный луг с преобладанием тимофеевки и мятлика лугового.

Ад 0 - 3 см - дернина, тёмно-бурая, слаборазложившаяся, уплотнённая, переход резкий, ровный.

A₁ 3 - 12 см - светло-серый, бесструктурный, рыхлопесчаный, корни в обилии, мелкие камни, переход ясный.

A₂B 12 - 30 см - жёлтый с белёсыми пятнами, бесструктурный, рыхлопесчаный, корни растений, мелкие камни, переход постепенный.

B 30 - 70 см - жёлтый, бесструктурный, уплотнённый, связнопесчаный, в верхней части единичные корни растений, узкие полосы ортзандов, камни, переход постепенный.

C_{Ca} 70 - 120 см - светло-жёлтый, бесструктурный, уплотнённый, связнопесчаный, камни, слабо вскипает от HCl с глубины 101 см

Почва: дерново-слабоподзолистая (остаточно-карбонатная) песчаная на карбонатном моренном песке.

Разрез № 2а. Великолукский район, АОЗТ "Авангард", 50 м северо-западнее д. Покарёво. Всколмленная моренная равнина. Пашня - поле №1 полевого севооборота. Среднегодовое внесение удобрений за период 1963 - 2000 гг.: навоз - 3 т/га, известь - 0,1 т/га, д.в. минеральных удобрений - 80 кг/га.

Апах. 0 - 16 см - светло-серый, бесструктурный, рыхлый, связнопесчаный, корни растений, мелкие камни, переход ясный.

A₂B 16 - 42 см - жёлтый с белёсыми пятнами, бесструктурный, рыхлопесчаный, редкие корни, мелкие камни, переход постепенный.

B 42 - 85 см - жёлтый, бесструктурный, слабоуплотнённый, супесчаный, узкие полосы ортзандов, камни, переход постепенный.

C_{Ca} 85 - 120 см - светло-жёлтый, бесструктурный, уплотнённый, связнопесчаный, камни, слабо вскипает от HCl с глубины 98 см.

Почва: дерново-слабоподзолистая (остаточно-карбонатная) песчаная на карбонатном моренном песке (слабоокультуренная).

Разрез №26. Великолукский район, АОЗТ "Авангард", д. Покарёво. Всколмленная моренная равнина. Пашня - приусадебный участок. Среднегодовое внесение удобрений за период 1959 - 2000 гг.: навоз - 20 т/га, известь - 0,4 т/га, д.в. минеральных удобрений - 20 кг/га.

Апах. 0 - 22 см - серый, бесструктурный, рыхлый, связнопесчаный, корни растений, мелкие камни, переход заметен по сложению.

А₁ 22 - 28 см - светло-серый, бесструктурный, плотнее Апах., связнопесчаный, корни растений, мелкие камни, переход ясный.

А₂В 28 - 64 см - белёсо - жёлтый, бесструктурный, слабоуплотнённый, рыхлопесчаный, камни, переход постепенный.

В 64 - 95 см - жёлтый, бесструктурный, уплотнённый, рыхлопесчаный, узкие полосы ортзандов, камни (частично полуразрушенные), переход постепенный.

С_{Ca} 95 - 120 см - светло-жёлтый, бесструктурный, уплотнённый, рыхлопесчаный, камни (частично полуразрушенные), слабо вскипает от НС1.

Почва: дерново-слабоподзолистая (остаточно-карбонатная) песчаная на карбонатном моренном песке (хорошо окультуренная).

Разрез № 3. Гдовский район Псковской области, совхоз "Гдовский", 350 м западнее д. Трутнево. Плоская моренная равнина в пределах Псковской низменности. Лес елово - мелколиственный.

А₀ 0 - 3 см - подстилка буровато - чёрного цвета, плохо разложившаяся, рыхлая, переход резкий ровный.

А₁ 3 - 18 см - тёмно-серый, пылевато-комковатый, весьма рыхлый, легкосуглинистый, корни растений, камни, переход языковатый.

А₂ 18 - 41 см - жёлто-белёсый, неяснолистоватый, рыхлый, легкосуглинистый, мелкие ортштейны, корни, валуны, переход языковатый.

A₂V 41 - 54 см - красно-коричневый, крупноореховатый, плотноватый, легкосуглинистый, корни деревьев, валуны, белёсые затёки, переход постепенный.

V 54 - 112 см - светло-красный, крупноореховатый, плотный, среднесуглинистый, отдельные корни деревьев, камни (частично полуразрушенные), переход постепенный.

C 112 - 140 см - красный, глыбисто-бесструктурный, плотный, тяжелосуглинистый, камни (частично полуразрушенные), с глубины 115 см сизые пятна оглеения.

Почва: дерново-сильноподзолистая легкосуглинистая на тяжёлом моренном суглинке.

Разрез № 3а. Гдовский район Псковской области, совхоз "Гдовский", 350 м западне д. Трутнево. Плоская моренная равнина в пределах Псковской низменности. Пашня - поле №2 полевого севооборота. Среднегодовое внесение удобрений за период 1963 - 1990 гг.: навоз - 1,5 т/га, известь - 0,3 т/га, д.в. минеральных удобрений - 95 кг/га.

Апах. 0 - 22 см - светло-серый с желтоватыми пятнами припаханного подзолистого горизонта, комковато-пылеватый, рыхлый, легкосуглинистый, корни растений, камни, переход резкий по цвету и плотности.

A₂ 22 - 36 см - желтовато - белёсый, неяснолистоватый, плотноватый, легкосуглинистый, валуны, ортштейны, переход ясный.

A₂V 36 - 49 см - желтовато-красно-бурый, плитчатоореховатый, плотноватый, среднесуглинистый, корневища хвоща, камни, переход плавный.

V 49 - 101 см - красно-бурый, крупноореховатый, плотный, тяжелосуглинистый, корневища хвоща, камни, переход плавный.

C 101 - 140 см - красно-бурый, глыбисто-бесструктурный, плотный, тяжелосуглинистый, камни, с глубины 109 см сизые пятна оглеения.

Почва: дерново-сильнопodzолистая легкосуглинистая на тяжёлом моренном суглинке (слабоокультуренная).

Разрез №3б. Гдовский район Псковской области, совхоз "Гдовский", 280 м западне д. Трутнево. Плоская моренная равнина в пределах Псковской низменности. Пашня - поле №3 овощекормового севооборота. Среднегодовое внесение удобрений за период 1963 - 1990 гг.: навоз - 25 т/га, известь - 0,35 т/га, д.в. минеральных удобрений - 137 кг/га.

Апах. 0 - 24 см - тёмно-серый, комковато-пылеватый, рыхлый, легкосуглинистый, корни, червоточины, мелкие камни, переход чёткий.

А₁ 24 - 34 см - тёмно-серый, комковато-пылеватый, рыхлый, легкосуглинистый, корни, червоточины, мелкие камни, переход резкий.

А₂ 34 - 53 см - желтовато-белёсый, плитчато-бесструктурный, рыхлый, легкосуглинистый, камни, ортштейны, переход языковатый.

А₂В 53 - 66 см - красно-бурый, крупноореховатый, плотноватый, легкосуглинистый, камни, белёсые затёки, переход постепенный.

В 66 - 112 см - светло-красный, крупноореховатый, плотный, среднесуглинистый, камни (частично полуразрушенные), переход постепенный.

С 112 - 140 см - красно-бурый, глыбисто-бесструктурный, плотный, тяжелосуглинистый, камни, сизые пятна оглеения.

Почва: дерново-среднеpodzолистая легкосуглинистая на тяжёлом моренном суглинке (хорошо окультуренная).

Разрез № 4. Великолукский район, учхоз "Удрайское", 120 м юго-западнее д. Иваново. Пологая равнина Ивановского увала в пределах Ловатской низменности. Луг разнотравно-злаковый.

Ад 0 - 3 см - дернина тёмно-серая, среднеразложившаяся, уплотнённая, переход резкий, ровный.

A₁ 3 - 16 см - серый, пылевато-комковатый, рыхлый, легкосуглинистый, корни растений, червоточины, мелкие камни, переход плавный.

A₁A₂ 16 - 26 см - светло-серый с белёсыми прожилками, комковато-пылеватый, рыхлый, легкосуглинистый, корни растений, червоточины, мелкие камни, переход плавный.

A₂B 26 - 50 см - пестроцветный с преобладанием палевых тонов, белёдые пятна, бесструктурный, рыхлый, опесчаненный суглинок, отдельные корни, мелкие камни, железисто-марганцевые дробинки, переход языковатый.

B 50 - 93 см - красно-коричневый, крупноореховатый, плотный, среднесуглинистый, отдельные сизые пятна, переход малозаметный.

C_{ca} 93 - 140 см - красно-коричневый, крупноореховатоглыбистый, очень плотный, тяжелосуглинистый, местами опесчаненный, встречаются сизые пятна оглеения, слабо вскипает от HCl.

Почва: дерново-слабоподзолистая остаточно-карбонатная легкосуглинистая на тяжёлом моренном суглинке.

Разрез №4а. Великолукский район, учхоз "Удрайское", 120 м юго-западнее д. Иваново. Пологая равнина Ивановского увала в пределах Ловатской низменности. Пашня бывшего полевого севооборота (переданная под опытное поле). Среднегодовое внесение удобрений за период 1962 - 2000 гг.: навоз - 5 т/га, известь - 0,4 т/га, д.в. минеральных удобрений - 115 кг/га.

Апах 0 - 20 см - светло-серый, комковато-пылеватый, рыхлый, легкосуглинистый, корни, червоточины, палевые пятна припаханного горизонта A₂B, переход ясный.

A₂B 20 - 61 см - пестроцветный с преобладанием палевых тонов, бесструктурный, рыхлый, опесчаненный суглинок, корни, червоточины, белёсые пятна, железисто-марганцевые дробинки, переход постепенный.

B 61 - 101 см - желтовато-буро-красный, крупноореховатый, среднесуглинистый, мелкие камни, переход постепенный.

C_{ca} 101 - 140 см - красно - бурый, крупноореховатоглыбистый, плотный, тяжелосуглинистый, мелкие камни, встречаются сизые пятна оглеения, слабо вскипает от HCl.

Почва: дерново-слабоподзолистая остаточно-карбонатная легкосуглинистая на тяжёлом моренном суглинке (слабоокультуренная).

Разрез № 4б. Великолукский район, учхоз "Удрайское", 120 м юго-западнее д. Иваново. Пологая равнина Ивановского увала в пределах Ловатской низменности. Пашня - опытное поле ВГСХА. Среднегодовое внесение удобрений за период 1962 - 2000 гг.: навоз - 24 т/га, известь - 0,4 т/га, д.в. минеральных удобрений - 160 кг/га.

Апах. 0 - 22 см - тёмно-серый, комковато-пылеватый, рыхлый, легкосуглинистый, корни, червоточины, редкие мелкие камни и гравий, переход заметен по сложению и окраске.

A₁A₂ 22 - 30 см - серый, комковато-пылеватый, рыхлый, легкосуглинистый, корни, мелкие камни, переход языковатый.

A₂B 30 - 79 см - пестроцветный с преобладанием палевых тонов, бесструктурный, опесчаненный суглинок, рыхлый, отдельные корни, мелкие камни и гравий, редкие железисто-марганцевые дробинки, переход заметный по сложению и окраске.

B 79 - 102 см - красно-коричневый, ореховатый, уплотнённый, среднесуглинистый опесчаненный, мелкие камни, переход заметный по сложению, окраске и гранулометрическому составу.

S_{Ca} 102 - 140 см - красно-бурый с сизыми пятнами, крупноореховатоглыбистый, плотный, тяжелосуглинистый, местами опесчаненный, мелкие камни, слабо вскипает от HCl.

Почва: дерново-слабоподзолистая остаточно-карбонатная легкосуглинистая на тяжёлом моренном суглинке (хорошо окультуренная).

Краткая характеристика ряда физических и агрохимических свойств указанных почв отражена в таблицах 3 и 4. Она свидетельствует, что на процесс окультуривания менее всего реагировал гранулометрический состав почвы. Агрохимические же свойства всех почвенных разновидностей претерпевали благоприятные изменения. При этом нижние горизонты окультуренных почв морфологически мало отличались от целинных аналогов.

1.2.2. Характеристика объектов исследования

в полевых опытах

Полевые опыты проводились на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности и разного гранулометрического состава на опытных полях Великолукской ГСХА "Удрайское" и "Майкино" и в АОЗТ "Авангард" Великолукского района Псковской области.

Многолетний полевой стационарный опыт на базе зернопропашного севооборота был заложен в 1987 году в учхозе "Удрайское" и в последующем включён в Географическую сеть опытов ВИУА. Территория опытного поля расположена на пологом моренном поднятии, т.н. увале. Почва на ней сформирована моренным суглинком, подстилаемым с разной глубины озёрноледниковым песком.

Таблица 3 - Гранулометрический состав почвы гумусового (пахотного) горизонтов в сравнительно - генетических исследованиях

№ разрезов	Содержание фракций (размер частиц, мм), %						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	менее 0,001	менее 0,01
1	27,5	65,5	2,1	1,5	0,6	2,8	4,9
1a	27,5	64,0	2,7	1,8	1,1	2,9	5,8
1б	26,9	63,0	3,1	2,2	1,7	3,1	7,0
2	19,0	60,2	11,9	3,0	2,5	3,4	8,9
2a	20,1	58,2	11,3	2,9	2,5	3,0	8,4
2б	19,5	60,4	11,0	3,2	2,6	3,3	9,1
3	10,9	41,7	20,4	8,8	8,7	9,5	27,0
3a	11,0	45,8	18,9	7,2	8,2	8,9	24,3
3б	10,7	42,9	20,2	8,3	8,5	9,4	26,2
4	16,7	32,9	24,7	8,8	10,5	6,4	25,7
4a	16,9	32,5	23,8	9,2	11,0	6,6	26,8
4б	14,9	31,3	27,5	9,8	10,2	6,3	26,3

Морфологическое строение почвы характеризует описание разреза, выполненного перед закладкой опыта (Иванов А.И., 2000; Воробьёв В.А., 2001; Назарова О.В., 2004; Дымова Е.А., 2006).

Апах 0 - 22 см - тёмно-серый, комковато-пылеватый, рыхлый, легкосуглинистый, корни в обилии, мелкие камни, следы землероев, переход ясный.

А₁А₂ 22 - 27 см - светло-серый, пылеватый, рыхлый, легкосуглинистый, встречаются корни, белёсые пятна кремнезёма, переход постепенный.

А₂В 27 - 83 см - светло-красный с белёсыми затёками, плитчатый, плотноватый, среднесуглинистый, мелкие камни, переход постепенный

Таблица 4 - Агрохимические свойства почвы гумусового (пахотного) горизонтов в сравнительно - генетических исследованиях

№ разрез	Гумус, %	pH _{KCl}	Нг	S	V, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мМ/100г			мг/кг	
1	0,70	3,74	2,91	1,10	27	90	45
1a	0,54	5,08	1,82	1,80	50	105	75
1б	1,64	6,55	1,40	6,10	81	2350	310
2	1,65	5,21	1,40	5,94	81	254	49
2a	1,18	5,44	0,88	11,0	93	226	100
2б	1,96	6,94	0,45	9,90	96	1000	220
3	2,14	4,52	4,16	3,01	42	78	53
3a	1,86	5,07	3,18	5,07	61	87	82
3б	2,43	5,40	2,46	6,18	72	293	184
4	2,69	5,83	1,30	5,30	80	216	71
4a	1,66	6,01	0,44	8,92	95	227	64
4б	3,12	6,31	1,10	17,0	94	594	293

BC 83 - 110 см - красный, плитчатый, плотноватый, среднесуглинистый, в нижней части опесчанен, мелкие камни, с глубины 100 см слабо вскипает от HCl, переход резкий.

Д 110 - 140 см - белёсый, рыхлый, слоистый, озёрноледниковый песок с сизыми пятнами оглеения, слабо вскипает от HCl.

Почва: дерново-слабоподзолистая остаточно-карбонатная легкосуглинистая на маломощном моренном суглинке, подстилаемом озёрноледниковым песком.

Гранулометрический состав почвы характеризовался утяжелением в направлении материнской породы (табл. 5).

Таблица 5 - Гранулометрический состав почвы многолетнего стационарного опыта

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций (размер частиц, мм), %						
		1-0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	менее 0,001	менее 0,01
Апах	0 - 10	14,4	38,7	18,1	10,7	8,0	10,1	28,8
А ₂ В	30 - 40	14,1	32,1	18,6	13,0	8,8	13,4	35,2
ВС	90 - 100	13,3	28,2	17,9	13,0	9,7	17,9	40,6

Агрохимические свойства почвы в пределах пахотного горизонта соответствовали оптимальным параметрам и определялись как деятельностью человека, так и влиянием состава и свойств материнской породы (табл. 6).

Второй стационарный полевой опыт был заложен в 2002 году на том же поле, но на базе полевого плодосменного севооборота. Агрохимические и агрофизические свойства почвы этих опытов изучались индивидуально по вариантам, а их средние показатели отражены в таблице 7.

Таблица 6 - Агрохимические свойства почвы стационарного опыта

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Гумус, %	рН _{KCl}	Нг	S	V, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
				мМ/100г			мг/кг	
Апах	0-10	2,37	6,2	1,36	9,83	88	464	358
А ₂ В	30-40	0,83	5,8	1,48	4,31	74	221	190
ВС	90-100	0,17	6,3	0,31	7,90	96	348	71
Д	120-130	0	6,0	0,88	3,10	78	306	57

Таблица 7 - Агрохимические и агрофизические свойства почвы пахотного горизонта стационарных опытов №№ 1-2

Свойства, единицы измерения	Опыты	
	№1	№2
Гумус,%	2,71	2,46
pH _{KCl}	6,2	6,6
Обменная кислотность, мМ/100 г	0,10	0,11
Подвижный алюминий, мг/100 г	0,80	0,34
Гидролитическая кислотность, мМ/100 г	1,89	1,11
Сумма обменных оснований, мМ/100 г	8,45	11,9
Степень насыщенности основаниями,%	82	91
P ₂ O ₅ (по Кирсанову), мг/кг	599	402
K ₂ O (по Кирсанову), мг/кг	456	227
Плотность сложения (после посева), г/см ³	1,23	1,21
Плотность твёрдой фазы, г/см ³	2,57	2,50
Пористость,%	52,1	51,6

В микрополевом опыте, заложенном в 1995 году в АОЗТ "Авангард" Великолукского района, использовалась среднесуглинистая дерново-подзолистая почва слабой и хорошей окультуренности.

Апах. 0 - 17 см - серый, комковато-пылеватый, уплотнённый, среднесуглинистый, корни растений, мелкие камни, переход отчётливый

A₁A₂ 17 - 25 см - светло-серый с мучнистой присыпкой кремнезёма, пылеватый, уплотнённый, среднесуглинистый, корни растений, мелкие камни, переход постепенный.

A₂B 25 - 68 см - красно-бурый с белёсыми затёками, ореховато-призматический, среднесуглинистый, в верхней части отдельные корни, мелкие камни, переход постепенный.

В 68 - 112 см - красно- бурый с отдельными сизыми пятнами, ореховато-призматический, плотный, тяжелосуглинистый, мелкие камни, переход постепенный.

С 112 - 140 см - красно-бурый тяжёлый суглинок с прослоями песка охристого цвета, ореховато-призматический, плотный, мелкие камни.

Почва: дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на тяжёлом моренном суглинке (слабоокультуренная).

Апах 0 - 24 см -тёмно-серый, пылевато-комковатый, рыхлый, среднесуглинистый, корни в обилии, мелкие камни, ходы землероев, переход заметен по окраске и плотности сложения.

А₁ 24 - 34 - серый, пылевато-комковатый, несколько плотнее Апах., среднесуглинистый, корни растений, мелкие камни, ходы землероев, переход языковатый.

А₂В 34 - 55 см - палевый с белёсыми пятнами, пылеватый, уплотнённый, легкосуглинистый, отдельные корни растений, ходы землероев, встречается галька, переход заметный.

В 55 - 118 см - красно-бурый, комковато-ореховатый, уплотнённый, тяжелосуглинистый, опесчаненный, камни, переход заметный.

С 118 - 140 см - красно-бурый, тяжелосуглинистый с прослоями песка охристой окраски, ореховато-призматический, плотный, мелкие камни.

Почва: дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на тяжёлом моренном суглинке (хорошо окультуренная).

Гранулометрический состав почв этого опыта характеризовался определённой облегчённостью верхней (элювиальной) толщи, особенно у хорошо окультуренного вида (табл. 8).

Таблица 8 - Гранулометрический состав почв микрополевого опыта

Гори- зонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций (размер частиц, мм), %						
		1- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	менее 0,001	менее 0,01
Слабоокультуренная почва								
Апах	0 - 10	10,8	26,3	26,0	12,8	12,1	12,0	36,9
А ₂ В	35 - 45	12,2	28,0	21,6	12,1	13,4	12,7	38,2
С	110 - 120	14,7	25,4	15,4	15,7	12,3	16,5	45,4
Хорошо окультуренная почва								
Апах	0 - 10	13,8	26,4	24,9	13,6	10,0	11,3	34,9
А ₂ В	35 - 45	17,1	27,0	26,2	12,3	8,7	8,7	29,7
С	110 - 120	18,8	26,9	11,9	17,7	12,6	12,1	42,4

Агрохимические и агрофизические свойства полностью соответствовали степени окультуренности использованных почв (табл. 9).

Полевой стационарный опыт на опытном поле "Майкино" Великолукской ГСХА был заложен в 1998 году на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве супесчаного гранулометрического состава.

Апах 0 - 21 см - тёмно-серый, бесструктурный, рыхлый, супесчаный, корни в обилии, мелкие камни, включения кремнезёмистой присыпки, переход постепенный.

А₁А₂ 21 - 38 см - серый, бесструктурный, уплотнённый, супесчаный, корни растений, камни мелкие и средние, охристые и белёдые пятна, переход ясный.

А₂В 38 - 52 см - жёлто-бурый, бесструктурный, уплотнённый, песчаный, белёдые и охристые пятна, переход постепенный.

Таблица 9 - Агрохимические и агрофизические свойства почв
микрополевого опыта

Свойства, единицы измерения	Слабоокультуренная почва		Хорошо окультуренная почва	
	Апах	А ₂ В	Апах	А ₂ В
Гумус, %	1,90	0,29	3,53	0,94
pH _{KCl}	5,50	4,90	6,15	5,14
Обменная кислотность, мМ/100 г	0,43	0,82	0,15	0,10
Подвижный алюминий, мг/100 г	1,90	3,80	0,90	0,36
Гидролитическая кислотность, мМ/100 г	5,43	6,03	2,92	2,40
Сумма обменных оснований, мМ/100 г	6,37	4,18	12,31	5,35
Степень насыщенности основаниями, %	54	41	81	69
P ₂ O ₅ (по Кирсанову), мг/кг	75	72	455	288
K ₂ O (по Кирсанову), мг/кг	78	67	524	187
Плотность сложения (после посева), г/см ³	1,22	не опр.	1,01	не опр.
Плотность твёрдой фазы, г/см ³	2,60	не опр.	2,46	не опр.
Пористость, %	53	не опр.	59	не опр.

В 52 - 78 см - серо-бурый, в нижней части ржаво-бурый, бесструктурный, плотный, песчаный, мелкие камни, железисто-марганцевые дробинки, переход выражен отчётливо.

С 78 - 130 см - серый, бесструктурный, уплотнённый, песок тонкозернистый, с глубины 105 см грунтовые воды.

Почва: дерново-слабоподзолистая супесчаная на водноледниковом песке (среднеокультуренная).

Гранулометрический состав характеризовался облегченностью нижних горизонтов почвенного профиля и, особенно, материнской породы (табл. 10).

Таблица 10 - Гранулометрический состав почвы опытного поля
"Майкино"

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций (размер частиц, мм), %						
		1-0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	менее 0,001	менее 0,01
Апах	0 - 10	39,5	28,6	17,4	4,5	5,7	4,3	14,5
А ₂ В	40 - 50	53,2	21,1	20,5	1,4	1,6	2,2	5,2
С	90 - 100	61,1	26,4	9,5	0,9	1,5	0,6	3,0

Большинство изученных свойств характеризуемой почвы соответствовали показателям средней окультуренности и были следствием использования в предшествующие годы невысоких доз всех видов удобрений (табл.11).

1.3. Метеорологические условия в годы проведения исследований

Погодные условия являются одним из основных факторов эффективности удобрений (Иванов И.А., 1989; Ефимов В.Н. и др., 2003; Лапа В.В. и др., 2003). Усредненно принято считать, что климатические условия Северо-Западного района относятся к наиболее благоприятным для проявления высокой эффективности всех видов удобрений. Однако, метеоусловия этого района могут сильно изменятся не только по годам, но и в течение вегетационного периода (Королёв А.В., 1982; Иванов И.А., 1989, 1993; Дымова Е.А., 2006). Отсюда и необходимость соответствующей трактовки результатов

Таблица 11 - Агрохимические и агрофизические свойства почвы
опытного поля "Майкино"

Свойства, единицы измерения	Показатель
Гумус, %	1,35
pH _{KCl}	5,86
Обменная кислотность, мМ/100 г	0,36
Подвижный алюминий, мг/100 г	1,71
Гидролитическая кислотность, мМ/100 г	2,14
Сумма обменных оснований, мМ/100 г	1,47
Степень насыщенности основаниями, %	41
P ₂ O ₅ (по Кирсанову), мг/кг	256
K ₂ O (по Кирсанову), мг/кг	108
Плотность сложения (после посева), г/см ³	1,42
Плотность твёрдой фазы, г/см ³	2,69
Пористость, %	47

исследований по проблемам питательного режима почв и эффективности удобрений.

За период проведения полевых опытов наиболее существенным варьированием отличалось количество выпавших в вегетационные месяцы осадков и менее значительным - условия теплообеспеченности (табл. 12, рис. 1 - 2).

По результатам обобщения многолетних опытных и производственных данных в условиях Псковской области И.А. Иванов (1989) пришёл к заключению, что получению высоких урожаев и максимальных прибавок от удобрений способствуют метеоусловия, близкие к среднемноголетним

показателям, или при небольшом отклонении от них в сторону засушливости. С учётом этого, наиболее благоприятными для земледелия были вегетационные периоды 1989, 1991, 1993, 1996, 1997, 2004 (Цыганова Н.А., 2007) и 2007 годов. Вегетационные периоды 1987, 1988, 1990, 1998, 2003 и 2005 годов характеризовались избыточностью осадков (в частности, за пять месяцев 1987 года выпала годовая норма осадков). Напротив, 1992, 1994, 1995, 1999, 2001 и 2002 годы были относительно засушливыми (за вегетацию выпадало 230 - 280 мм осадков). В общей сложности число лет с осадками, соответствующими климатической норме, не составило и половины.

Приход тепла в анализируемые годы чаще превышал среднемноголетние показатели, что не противоречит распространённому мнению о потеплении климата. Пониженными температурами отличались вегетационные периоды лишь четырёх лет - 1987, 1990, 1993 и 2000 гг.

Полевая влажность почвы хотя и находилась в сильной зависимости от физических свойств последней, в условиях полевого стационарного опыта в учхозе "Удрайское" устойчиво коррелировала с гидротермическим коэффициентом соответствующего временного периода (табл. 13). При этом диапазон её изменения был чрезвычайно широким - от 6,9% (август 1995 года) до 34,8% (май 2005 года). Такие колебания оказывают сильное влияние

Таблица 12 - Сумма осадков (мм), среднесуточные температуры воздуха (°С) и гидротермические коэффициенты вегетационных периодов 1987 - 2007 гг.

Годы	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			За 5 месяцев		
	Сум- ма осад- ков	t ⁰	ГТК	Сум- ма осад- ков	t ⁰	ГТК	Сум- ма осад- ков	t ⁰	ГТК	Сум- ма осад- ков	t ⁰	ГТК	Сум- ма осад- ков	t ⁰	ГТК	Сум- ма осад- ков	t ⁰	ГТК
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1987	72	11,5	2,0	180	15,4	3,9	83	15,6	1,8	204	13,8	4,8	60	9,7	2,7	605	13,2	3,1
1988	28	14,7	0,6	127	17,5	2,4	95	19,5	1,6	126	15,4	2,6	47	11,6	1,4	423	15,6	1,8
1989	19	12,9	0,5	114	17,4	2,1	59	17,5	1,1	127	15,7	2,6	44	11,2	1,3	363	15,0	1,5
1990	34	10,4	1,1	69	14,1	1,6	152	15,7	3,1	128	15,1	2,7	117	9,2	11,8	560	12,9	3,0
1991	65	10,3	3,0	142	15,6	3,0	84	17,5	1,6	5	16,3	0,1	68	11,5	2,0	364	14,2	1,7
1992	68	12,2	1,8	47	15,7	1,0	14	17,3	0,3	49	17,8	0,9	53	12,4	1,4	231	15,1	1,0
1993	24	14,8	0,5	29	13,3	0,7	114	16,1	2,3	80	14,6	1,8	113	7,0	11,3	360	13,6	1,8
1994	83	10,3	3,6	57	14,2	1,3	21	19,3	0,4	47	16,0	0,9	42	13,3	1,1	250	14,6	1,2
1995	48	12,4	1,5	66	18,9	1,2	51	17,0	1,0	23	16,9	0,4	97	11,4	6,4	285	15,3	1,4
1996	32	14,3	0,7	93	15,5	2,0	72	16,4	1,4	5	16,9	0,1	98	8,9	7,3	300	14,4	1,4
1997	52	10,3	4,0	158	16,4	3,2	23	18,3	0,4	6	17,4	0,1	84	9,4	3,7	323	14,4	1,6

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1998	25	13,0	0,6	80	17,8	1,5	121	17,4	2,2	154	14,6	3,4	93	11,1	3,8	473	14,8	2,2
1999	33	8,8	1,9	70	20,7	1,1	37	20,3	0,6	86	15,7	1,8	19	12,2	0,7	245	15,5	1,2
2000	44	11,3	1,0	55	15,2	1,2	130	16,5	2,4	91	15,9	1,8	16	9,4	1,1	336	13,7	1,5
2001	40	11,5	1,2	31	15,6	0,7	99	22,1	1,4	69	16,9	1,3	25	11,5	0,7	264	15,5	1,1
2002	16	13,2	0,4	104	16,3	2,1	30	20,3	0,5	39	17,5	0,7	47	10,4	1,5	236	15,5	0,9
2003	126	14,4	2,8	75	13,7	1,8	88	19,9	1,4	142	15,9	2,9	11	11,0	0,3	442	15,0	1,9
2004	44	10,8	1,3	67	14,8	1,5	80	17,9	1,4	73	17,5	1,3	67	12,4	1,7	331	14,7	1,5
2005	90	12,5	2,3	126	15,0	2,8	97	18,7	1,7	41	16,7	0,8	23	13,1	0,6	377	15,2	1,7
2006	76	11,8	2,1	52	16,6	1,0	37	18,7	0,6	163	16,8	3,1	88	13,5	2,2	416	15,5	1,8
2007	40	13,8	1,1	28	16,9	0,6	154	17,3	2,9	76	18,6	1,3	28	11,4	1,1	326	15,6	1,4



Рисунок 1 – Сумма осадков за вегетационные периоды 1987-2007 годов

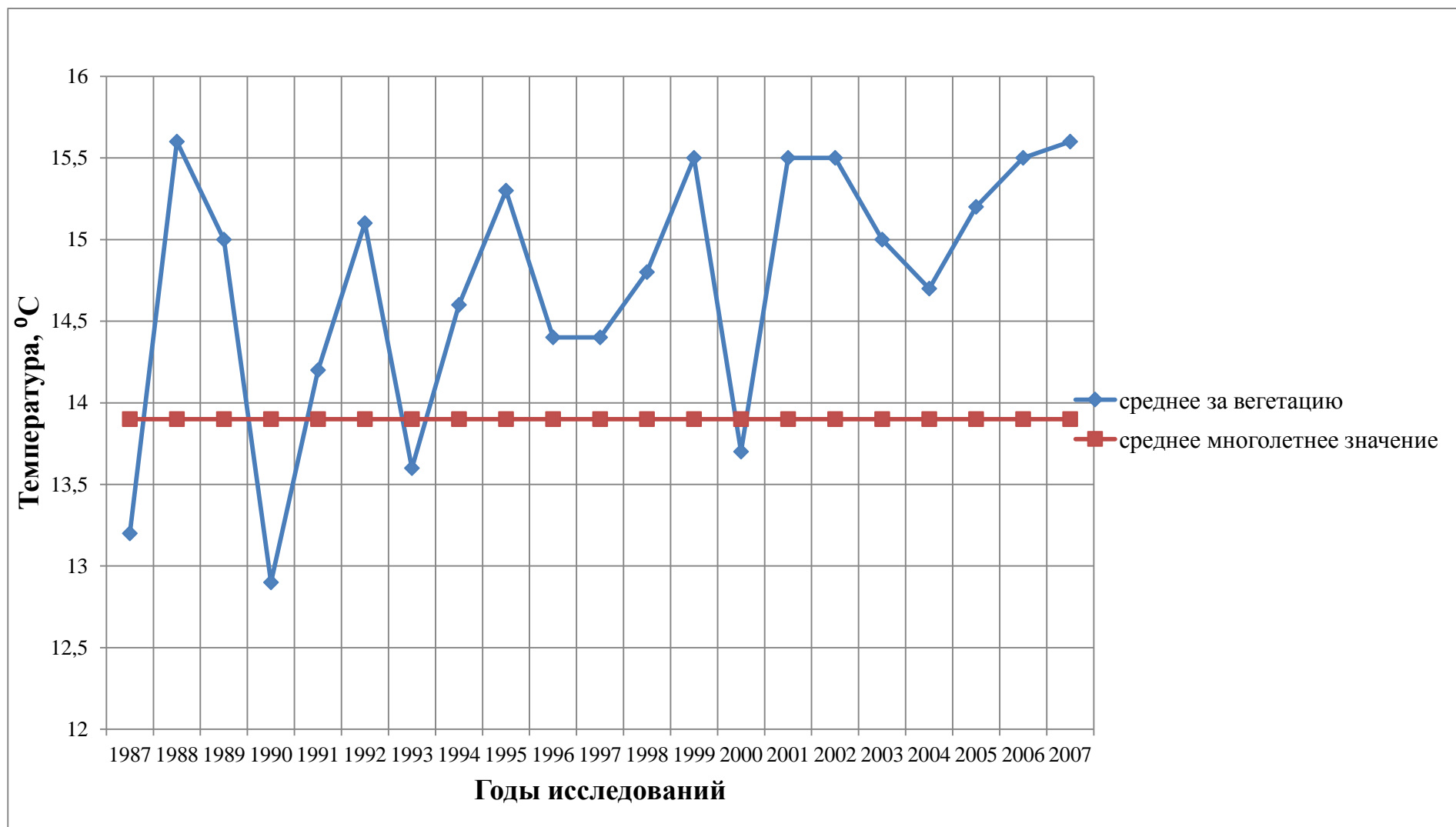


Рисунок 2 – Среднесуточные температуры воздуха за вегетационные периоды 1987-2007 годы

на окислительно-восстановительные условия, а значит, и на калийный режим почвы.

Что касается непосредственного влияния метеоусловий на урожайность сельскохозяйственных культур, то здесь многое зависело от биологических особенностей последних. Для яровых зерновых и льна большое значение имели осадки весны и раннего лета. Кукуруза и кормовые корнеплоды хорошо отзывались на более поздние осадки. Картофель положительно реагировал на благоприятные условия увлажнения в июле. В основном по этой причине его урожайность в 1993 году была на 6,4 т/га выше, чем в засушливом 1999 году. В тоже время эта культура абсолютно не устойчива к длительному переувлажнению почвы, что отчётливо проявилось в 2005 году. Холодное сырое лето 1990 года негативно отразилось на урожайности овса, а у ячменя в условиях тёплого влажного лета 2003 года наблюдалось сильное развитие корневых гнилей. Погодные аномалии отражались и на эффективности удобрений, что будет обсуждаться позднее.

1.4. Методика проведения исследований

Для решения поставленных задач использовался комплекс методических подходов, в котором основная роль отводилась полевому опыту. Определённое внимание уделялось также сравнительно-генетическому методу изучения почв (Никитин Б.А., 1976, 1986) и анализу статистических данных агрохимической службы.

Выявление закономерностей в трансформации калийного состояния дерново-подзолистых почв в процессе окультуривания предполагало закладку нескольких серий почвенных разрезов на севере и юго-востоке Псковской области (в непосредственной близости с территориями Ленинградской и Новгородской областей). Расстояние между разрезами сравниваемых почвенных аналогов, как правило, не превышало 150 м.

Таблица 13 - Изменение влажности почвы в течение вегетационных периодов 1987 - 2007 гг. в стационарном опыте

Годы	Полевая влажность почвы, %							
	1.05	15.05	1.06	15.06	1.07	15.07	1.08	15.08
1987	не опр.	26,0	23,6	24,0	25,8	26,3	23,7	26,2
1988	25,5	24,0	20,1	22,9	20,7	20,1	21,5	22,7
1989	24,8	23,6	20,4	20,8	23,2	22,6	21,8	24,6
1990	22,0	24,4	23,5	22,1	24,1	24,7	25,2	28,9
1991	не опр.	29,3	26,5	29,5	24,0	21,8	24,8	21,6
1992	26,5	27,1	24,2	23,2	18,3	17,5	8,4	10,2
1993	24,4	21,9	18,3	16,5	20,8	22,1	19,2	17,6
1994	22,3	17,4	16,5	15,7	15,3	14,2	15,0	16,4
1995	21,3	18,5	18,1	17,0	11,8	10,6	8,3	6,9
1996	22,0	18,3	17,4	16,9	20,4	19,5	19,3	10,4
1997	21,1	21,0	19,8	28,8	24,0	22,1	16,5	12,4
1998	22,0	20,7	18,1	15,9	16,2	25,6	23,0	22,7
1999	23,1	16,7	19,2	16,0	23,1	17,6	13,3	16,2
2000	22,4	16,6	14,2	8,1	15,4	15,8	16,6	20,9
2001	20,7	27,3	16,9	19,7	8,6	8,6	11,5	13,8
2002	22,5	21,3	23,4	19,5	24,0	19,9	18,0	14,1
2003	24,1	21,0	27,1	22,2	27,3	30,8	23,5	22,0
2004	24,3	25,8	22,6	24,4	22,0	20,8	20,3	19,8
2005	не опр.	34,8	23,7	28,6	28,7	19,6	19,2	23,3
2006	21,0	20,5	20,3	19,8	21,6	18,4	22,5	26,3
2007	23,5	23,0	15,6	15,0	14,7	25,7	25,3	23,9

Почвенные образцы для химических анализов отбирались из горизонтов A_1 и Апх в 10 точках в радиусе 5 м от разреза, а из низлежащих горизонтов - в 5 точках по стенке разреза.

Максимальный объём исследовательской работы выполнен на базе стационарного полевого опыта №1, включённого в Географическую сеть опытов ВИУА. Опыт был заложен в 1987 году на хорошо окультуренной высокообеспеченной калием дерново-подзолистой почве опытного поля учхоза "Удрайское" Великолукской ГСХА. Проведение исследования осуществлялось на базе развёрнутого во времени полевого зернопропашного севооборота "картофель ранний - рожь озимая - свёкла кормовая - овёс - кукуруза - ячмень (начиная с третьей ротации севооборота из-за невозможности предотвращения повреждения посевов кукурузы грачами эта культура была заменена кормовой брюквой).

Схема опыта по минеральной системе удобрения была ориентирована на ресурсосбережение через мобилизацию накопленных в процессе окультуривания запасов подвижных соединений фосфора и калия (599 и 456 мг/кг соответственно) и включала 5 вариантов:

- 1) контроль (без удобрений),
- 2) N_{90-120} ,
- 3) $N_{90-120}P_{60}$,
- 4) $N_{90-120}K_{60}$,
- 5) $N_{90-120}P_{60}K_{60}$.

Удобрения (аммиачная селитра, двойной суперфосфат и хлористый калий) вносились весной, под пропашные культуры под перепашку зяби, под зерновые - под предпосевную культивацию (половина дозы азота выделялась для подкормки озимой ржи). В первые две ротации севооборота азотное удобрение применялось подо все культуры в дозе 120 кг/га, в последующем - под зерновые - 90, под пропашные - 120 кг/га.

Общая площадь опытной делянки 112 м², учётная - 50 - 70 м²; повторность опыта трёхкратная.

Стационарный полевой опыт №2 закладывался в 2002 году на базе полевого зернотравянопропашного (плодосменного) севооборота "картофель - ячмень + клевер - клевер 1 года пользования - клевер 2 года пользования - свёкла кормовая - овёс". В его задачу входила сравнительная оценка органической (навозной) и минеральной систем удобрения, а также изучение реакции сельскохозяйственных растений на повышение доз калийного удобрения на высокообеспеченной калием почве.

Схема опыта и распределение удобрений по её вариантам в течение ротации севооборота показаны в таблице 14.

Как видно, навоз вносился дважды за ротацию - под картофель и кормовую свёклу (среднегодовая доза - 13 т/га). Эквивалентная содержащейся в навозе дозе фосфора доза суперфосфата вносилась тоже однократно, а эквивалентные дозы азота и калия распределялись между первыми (картофель, свёкла) и вторыми (ячмень, овёс) культурами. Клевер возделывался по последствию удобрений.

Таблица 14 - Распределение удобрений по вариантам опыта № 2 в течение ротации севооборота

Наименование варианта	Распределение удобрений по культурам (навоз в т/га, минеральные удобрения в кг д.в./га)					Среднегодовая доза		
	картофель	ячмень	клевер	свёкла	овёс	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль (без удобрений)	0	0	0	0	0	0	0	0
Навоз, 40 т/га	40	0	0	40	0	67	53	93
NP _{эКВ} 40 т/га навоза + K ₉₀	N ₁₀₀ P ₁₆₀ K ₉₀	N ₁₀₀	0	N ₁₀₀ P ₁₆₀ K ₉₀	N ₁₀₀	67	53	30
NP _{эКВ} 40 т/га навоза + K ₁₁₅	N ₁₀₀ P ₁₆₀ K ₁₁₅	N ₁₀₀	0	N ₁₀₀ P ₁₆₀ K ₁₁₅	N ₁₀₀	67	53	38
NPК _{эКВ} 40 т/га навоза	N ₁₀₀ P ₁₆₀ K ₁₄₀	N ₁₀₀ K ₁₄₀	0	N ₁₀₀ P ₁₆₀ K ₁₄₀	N ₁₀₀ K ₁₄₀	67	53	93

Площадь опытной делянки 42 м², учётной - 28 м²; повторность в опыте трёхкратная.

Краткосрочный полевой опыт (1998 - 2000 гг.) на опытном поле "Майкино" Великолукской ГСХА был заложен на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве со значительно более низким исходным содержанием подвижного калия (Воробьёв В.А., 2001). Схема опыта, развёрнутого на базе звена полевого севооборота "ячмень - свёкла кормовая - лён-долгунец", включала 6 вариантов минеральной системы удобрения:

- 1) контроль (без удобрений),
- 2) N₆₀₋₁₂₀,
- 3) N₆₀₋₁₂₀P₆₀,
- 4) N₆₀₋₁₂₀ P₆₀K₆₀,
- 5) N₆₀₋₁₂₀P₆₀K₉₀,
- 6) N₆₀₋₁₂₀P₆₀K₁₂₀.

Примечание: под лён - N₆₀, под ячмень и свёклу - N₁₂₀.

Удобрения вносились: под кормовую свёклу перед весенней перепахкой зяби, под ячмень и лён - перед предпосевной культивацией.

Общая площадь опытной делянки 91 м², учётная - 50 м²; повторность трёхкратная.

Микрополевой опыт, заложенный в 1995 году в АОЗТ "Авангард" Великолукского района, был ориентирован на изучение трансформации калийного состояния дерново-подзолистых суглинистых почв слабой и хорошей окультуренности под влиянием минеральной системы удобрения, а также разных уровней водного режима. Опыт выполнялся на базе овощного севооборота "свёкла столовая - морковь столовая - горохо-овсяная смесь - репа" в трёхкратной повторности в полиэтиленовых сосудах без дна площадью 0,25 м² (0,5 м · 0,5 м) и глубиной 0,5 м. Горизонт 0 - 50 см формировался из двух тщательно перемешанных слоёв почвы: 0 - 24 см из

горизонта Апах. и 24 - 50 см - из горизонта А₂В хорошо и слабоокультуренных почв.

Два уровня полевой влажности почвы: благоприятный (от 75 до 60 % НВ) и засушливый (от 50 до 40 % НВ) обеспечивались поливами расчётной нормой воды. От атмосферных осадков опыт защищался крышей из полиэтиленовой плёнки.

Схема опыта по системе удобрения включала 4 варианта:

- 1) N₁₂₀P₉₀ - фон,
- 2) Фон + K₉₀,
- 3) Фон + K₁₈₀,
- 4) Фон + K₂₇₀.

Удобрения вносились весной перед посевом культур путём перемешивания с пахотным слоем почвы.

Во всех опытах возделывались районированные в Псковской области сорта сельскохозяйственных культур на основе типовых зональных технологий (в полевых крупноделяночных опытах с использованием средств механизации).

В течение вегетации велись наблюдения за факторами внешней среды: метеонаблюдения, контроль динамики влажности почвы в слоях 0 - 20 и 20 - 40 см, контроль сезонной динамики калийного режима, а также наблюдения за посевами: фенология, густота стояния, засорённость, фотосинтетический потенциал и др.

Учёт урожая проводился путём сплошной уборки учётной площади делянки с помощью соответствующих сельскохозяйственных машин: зерноуборочного комбайна "Сампо", моторизованной косилки, картофелекопателя, а в микрополевым опыте - после ручной уборки. Урожай зерна учитывался в пересчёте на 100 % чистоту и 14 % влажность, соломы зерновых - на 16% влажность, картофель и корнеплоды - на 100 % чистоту (после определения загрязнённости землёй).

Данные учёта урожая обрабатывались статистически дисперсионным методом с использованием ЭВМ.

Почвенные образцы для изучения состава и свойств почвы отбирались с двух повторений опыта, а сами анализы выполнялись в 2 - 3 кратной повторности по следующим методическим руководствам:

- гумус - по Тюрину в модификации Симакова;
- pH_{H_2O} и pH_{KCl} - потенциометрически;
- обменная кислотность и подвижный алюминий - по Соколову;
- гидролитическая кислотность - по Каппену;
- сумма обменных оснований - по Каппену - Гильковицу;
- валовое содержание азота и фосфора - по Гинзбург - Щегловой;
- валовое содержание калия - пламеннофотометрически после спекания по Смитту;
- необменный калий - по Пчёлкину;
- подвижный калий и фосфор - по Кирсанову в модификации ЦИНАО;
- обменный калий - по Масловой;
- водорастворимый калий - по Дашевскому;
- калийный потенциал и потенциальная буферная способность почвы в отношении калия (ПБС^к) - по Беккету. Для этого к 6 навескам исследуемого образца почвы массой по 5 г приливали по 50 мл 0,002 м раствора $CaCl_2$ с содержанием калия 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; и 1 мМ/мл. После получасового встряхивания в суспензиях определяли активность ионов K^+ и Ca^{2+} на иономере "Анион - 4100". Содержание в растворе калия и кальция определяли пламеннофотометрически. Для расчёта показателя ПБС^к строился график зависимости количества калия (ΔK), перешедшего в раствор из почвы (или, наоборот, поглощённого почвой) от соотношения активностей ионов K^+ и Ca^{2+} в растворе (AR).

Общее количество доступного растениям калия (ΔK_i) устанавливалось экстраполяцией нижней изогнутой части изотермы ПБС^к. Величину

легкообменного калия (ΔK_0), соответствующую фактору ёмкости (Q), определяли проведением касательной в точке AR_0 (AR_0 соответствует состоянию системы, при котором калий раствора находится в равновесии с почвой). $\Delta K_1 - \Delta K_0 = \Delta K_x$ (ΔK_x - труднообменный калий, то есть калий, занимающий специфические позиции в ППК).

-плотность сложения почвы - почвенным буром Качинского;

-плотность твёрдой фазы - пикнометрически;

-пористость - расчётным путём;

-полевая влагоёмкость - методом заливки площадок;

-полевая влажность - весовым методом;

-минералогический состав - рентген - дифрактометрическим методом на рентген-дифрактометре ДРОН - 3М.

Растительные пробы отбирались с двух или трёх повторений анализируемых вариантов опыта. В них определяли общее содержание азота, фосфора и калия из одной навески после ускоренного озоления по Гинзбург - Щегловой - Вульфius, сырой протеин - умножением содержания общего азота на соответствующий культуре переводной коэффициент (5,83 - 6,25), крахмал и сахара - поляриметрически по Эверсу, сырую клетчатку - методом отмывания по Петербургскому, нитраты - на нитратомере.

ГЛАВА 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА

В главе 1 показано наличие тесной связи между калийным состоянием почвы и природными факторами почвообразования. Связь эта достаточно сложна и пока ещё до конца не изучена. Деятельность человека тоже является одним из факторов почвообразования и тоже существенно влияет на калийный режим почвы. Но, в отличие от природных факторов, антропогенный вполне управляем. А задача агрономической науки - указать правильный вектор направленности этого фактора. Для дерново-подзолистых почв такое направление характеризуется понятием "окультуривание".

2.1. Агрогенетическая сущность окультуривания дерново-подзолистых почв

В почвоведении под окультуриванием понимается процесс улучшения почвы как среды обитания культурных растений (Благовидов Н.Л., 1954; Коновалова А.С., 1967; Никитин Б.А., 1976, 1986; Пестряков В.К., 1977; Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф., 1977; Смяян Н.И., Цитрон Г.С., 1997). При этом И.П. Герасимов (1986) не рассматривал окультуренные пахотные почвы как объекты, не отвечающие понятию "почва - природное тело". Просто в них естественное течение почвообразовательного процесса в той или иной степени изменено механической обработкой, посевом сельскохозяйственных растений, мелиорацией, внесением удобрений (Копысов И.Я. и др., 2010).

Низкое естественное плодородие дерново-подзолистых почв Северо-Западного района определено их генезисом. Это довольно молодые природные образования, сформированные на обеднённых основаниями материнских породах под травянистыми лесами, имеющими невысокую

зольность растительного опада. Процессы гумификации такого опада шли с образованием, по преимуществу, агрессивных перегнойных веществ - фульвокислот. Под их влиянием в условиях промывного водного режима происходило выщелачивание оснований из и без того не богатых ими почвообразующих пород. Как следствие - малая мощность гумусового горизонта, присутствие в профиле бесплодного подзолистого, повышенная кислотность, бедность элементами - органогенами, неудовлетворительные физические и биологические свойства (Тюрин И.В., 1956; Кононова М.М., 1963; Пономарёва В.В., 1964; Александрова Л.Н., 1980; Роде А.А., 1984).

Комплекс агрогенных воздействий затрагивает большинство природных факторов почвообразования. А началом всего является распашка почвы с заменой естественной растительности на агроценоз. При этом происходят принципиальные изменения в биологическом круговороте веществ и в водно-тепловом режиме почвы.

Хотя масса опада культурных фитоценозов близка или даже уступает массе лесного опада (Левин Ф.И., 1972, 1983; Вайтекунас И.И. и др., 1982), но остатки культурных растений богаче азотом и зольными элементами (в том числе и калием) (Караваева Н.А., 1985 - 2005). В то же время и потребление питательных веществ за вегетационный период у культурных растений в несколько раз больше по сравнению с лесной растительностью (Левин Ф.И., 1983). Если лесной опад почти полностью остаётся на дневной поверхности и образующиеся из него растворимые вещества в существенной части смываются в гидрографическую сеть, то пожнивно - корневые остатки более или менее равномерно распределяются в пахотном слое. Вследствие названных обстоятельств в процессе гумификации опада культурных растений образуются меньше сильноокислых не нейтрализованных перегнойных веществ, способных разрушать минералы почвы (Никитин Б.А., 1976). В составе гумуса, по мере окультуривания, возрастает доля гуминовых кислот (Коротков А.А., 1970, 1972; Иванов И.А. и др., 2000).

Обработка целинной дерново-подзолистой почвы ведёт к перестройке верхней части её профиля. Вместо горизонтов A_0 , A_1 и A_2 образуется специфичный по свойствам пахотный слой, морфологические признаки которого весьма объективно отражают степень окультуренности почвы (Благовидов Н.Л., 1954). По данным Ф.И. Левина (1972), при этом существенно улучшаются физические свойства почвы: средняя плотность снижалась на $0,23 \text{ г/см}^3$, возрастала общая (на 8,6%) и некапиллярная (на 6,6%) пористость. Создаются предпосылки для лучшего развития корневой системы растений, оптимизации воздушного, водного и теплового режимов. Трёх-пятикратное повышение водопроницаемости сокращает почти вдвое период переувлажнения почвы (Никитин Б.А., 1976). В результате ослабляются подзолообразовательный и глеевый процессы и связанное с ними накопление фитотоксичных соединений алюминия, марганца и железа.

Внесение органических, известковых и минеральных удобрений оказывает огромное влияние на все почвенные режимы и, в том числе, на сорбционно-десорбционные процессы калийных соединений почвы (Липкина Г.С., 1979; Коротков А.А., 1990; Иванов А.И., 1993; Носов В.В., 1997; Сычѳв В.Г., 2000; Федотова Л.С., 2003; Иванов А.И. и др., 2009).

В то же время естественное течение подзолообразовательного процесса не прекращается и в окультуренных почвах (Кононова М.М., 1968; Пестряков В.К., 1977; Иванов А.И., 2000). Его составляющие - элювирование, лессиваж, илонакопление, служат одной из причин динамичности калийного режима дерново-подзолистых почв (Кирюшин В.И., 1996; Козловский Ф.В. и др., 1996; Чижикова Н.П., 1994; 2002).

В зависимости от продолжительности и интенсивности антропогенного воздействия на почву степень её отличия от целинного аналога может быть кратной, что принято рассматривать как уровень окультуренности. В

почвоведении известно значительное число методических подходов к классификации пахотных почв по степени окультуренности (Егоров М.А., 1929; Карпинский Н.П., 1933; Франценссон В.А., 1934; Захаров С.А., 1936; Гаркуша И.Ф., 1956; Григорьев Г.И., 1975, 1980; Никитин Б.А., 1976; 1986 и др.).

В настоящей работе мы придерживаемся классификации Н.Л. Благовидова (1954, 1962), рекомендованной автором для условий Северо - Западного района. Согласно этой классификации, в составе выделенного Н.Л. Благовидовым самостоятельного типа культурно-аккумулятивных почв различают пять видов, характеризующихся разной выраженностью реликтовых признаков исходных целинных аналогов: высокоокультуренные, хорошо окультуренные, среднеокультуренные, слабоокультуренные и выпаханые. В частности, объекты нашего исследования должны обладать следующими диагностическими признаками:

- хорошо окультуренные почвы - имеют реликтовые признаки подзолистого горизонта, мощные и среднемошные, удовлетворительно оструктуренные, вторично насыщенные, биологически активные ($A_{\text{пах.}}$ - 20 - 30 см, гумус - 2,2 - 3,8%, $pH_{\text{ксл}}$ - 5,4 - 6,8, P_2O_5 по Кирсанову - 120 - 250 мг/кг, K_2O по Кирсанову - 100 - 250 мг/кг).

- среднеокультуренные почвы - с заметными признаками подзолистого горизонта, среднемошные или мощные, недостаточно оструктуренные, в основном среднеобогатённые ($A_{\text{пах.}}$ - 15 - 22 см, гумус - 0,8 - 2,5%, $pH_{\text{ксл}}$ - 4,5 - 6,0, P_2O_5 по Кирсанову - 80 - 120 мг/кг, K_2O по Кирсанову - 80 - 150 мг/кг).

- слабоокультуренные почвы - с подзолистым профилем, но несколько ослабленным элювиальным процессом, маломощные среднеобогатённые, бесструктурные, слабонасыщенные или ненасыщенные ($A_{\text{пах.}}$ - 12 - 20 см, гумус - 0,6 - 2,2%, $pH_{\text{ксл}}$ - 3,6 - 5,4, P_2O_5 по Кирсанову - до 80 мг/кг, K_2O по Кирсанову - до 120 мг/кг).

Дерново-подзолистые почвы принадлежат к высокозатратным объектам окультуривания (Небольсин А.Н. и др., 1997; Иванов А.И., 2000; Иванов А.И., Воробьёв В.А., 2016). К 50-м годам XX века площадь хорошо окультуренных почв в пахотном фонде Северо-Западного района не превышала 3 - 5%; к середине 70-х годов она увеличилась до 13% (Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф., 1977), а к началу XXI века - до 17% (Иванов И.А., Иванов А.И., 2006). В настоящее время вследствие затяжного экономического кризиса в сельском хозяйстве ранее окультуренные почвы подвержены деградационным процессам, в том числе и относительно их калийного состояния (Литвинович А.В. и др., 2006). Если по данным А.И. Иванова (2000), в конце прошлого века среднее содержание подвижного калия в хорошо окультуренных почвах Псковской области составляло 310 мг/кг, то сегодня такие показатели регистрируются агрохимической службой лишь в единичных почвенных образцах.

2.2. Изменение калийного состояния дерново-подзолистых почв в процессе окультуривания

Проблема трансформации соединений почвенного калия в научной литературе освещена весьма подробно. Но, наряду с обширностью, имеющаяся информация не лишена многочисленных противоречий. Вероятными причинами последних могут быть и несопоставимость объектов исследования, и использование неодинаковых методических подходов, и отсутствие достоверных данных об истории процесса окультуривания. К тому же, в ряде случаев любое сельскохозяйственное использование почвы расценивается как окультуривание, что неверно в принципе. В частности, относительно калийного состояния почвы нельзя признать окультуривающим приёмом систему удобрения с отрицательным балансом калия.

Обобщение значительного числа литературных источников позволяет сделать заключение о несущественном влиянии окультуривания на общие запасы калия в дерново-подзолистых и близких им почвах (Поддубный Н.Н., 1973; Никитин Б.А., 1976, 1986; Коротков А.А. и др., 1990; Johnston A.E., Goulding K.W.T., 1990; Переверзев В.Н., Иваненко Н.К., 1995, 1997; Иванов А.И., 2000; Якименко В.Н., 2000, 2003). Хотя ряд учёных (Гаркуша И.Ф., 1970; Пестряков В.К., 1977) считали возможным ощутимое накопление валового калия у хорошо и высокоокультуренных почв. В.У. Пчёлкин (1966) и Н.И. Горбунов (1969) отмечали его накопление в процессе окультуривания в составе илистой фракции почвы, предположительно, вследствие необменной фиксации калия удобрений.

Не лишена противоречий и информация об изменении пула мобильных форм почвенного калия, хотя, по мнению большинства исследователей, их содержание заметно возрастает относительно целинных аналогов, начиная со среднеокультуренного вида (Важенин И.Г., 1950, 1959; Горбунов Н.И., 1965; Пчёлкин В.У., 1966; Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф., 1977; Панников В.Д., Минеев В.Г., 1987; Шафран С.А. и др., 1993, 1997; Носов В.В., 1997; Дёмин В.А., 2002, 2003; Гомонова Н.Ф., Минеев В.Г., 2003; Никитина Л.В. и др., 2014). Наличие взаимосвязи между дозами применяемых в сельском хозяйстве калийсодержащих удобрений и содержанием в почве обменного (подвижного) калия подтверждено и многолетними данными агрохимической службы страны.

Тем не менее, не единичной является и информация о снижении запасов обменного калия при положительном балансе этого элемента в системе удобрения и, наоборот, об увеличении при отрицательном (Прокошев В.В., 1985; Хлыстовский А.Д. и др., 1989; Бабарина Э.А. и др., 1990, 1991; Сычёв В.Г., 2000; Шильников И.А. и др., 2002; Мёрзлая Г.Е. и др., 2002).

Отсюда и большой разброс в данных о затратах остаточного калия удобрений на единицу повышения содержания его подвижных соединений - от 14 до 100 кг K_2O на 10 мг/кг (Шафран С.А., 1984; Хлыстовский А.Д. и др., 1989; Лапа В.В. и др., 2000) и даже до 900 кг/га (Небольсин А.Н. и др., 1997). Такие различия невозможно объяснить влиянием только гранулометрического состава почв. Хотя у песчаных и супесчаных разновидностей действительно меньше выражено необменное поглощение иона K^+ (Сычѳв В.Г., 2000), но у них, в отличие от суглинистых, несравнимо больше и инфильтрационные потери (Петербургский А.В., 1959, 1960; Забавская К.М. и др., 1974, 1981; Коротков А.А., 1977; Духанин А.А. и др., 1996; Переверзев В.Н. и др., 1997).

Более логичным видится возрастание затрат по мере насыщения почвы остаточным калием удобрений. По данным В.В. Прокошева (1984), при ежегодном внесении в дерново-подзолистую суглинистую почву по 100 кг/га K_2O увеличение обменного калия в 1-й, 2-й, 3-й и 4-й годы составило 4,7; 2,6; 1,8 и 1,3 мг/100 г почвы. Почти такую же закономерность подтвердило и обобщение О.П. Медведевой (1987) данных по ряду районов Нечернозѳмной зоны: при положительном балансе в 28, 104, 232 и 520 кг/га K_2O расход удобрений на прирост запасов подвижного калия на 1 мг/100 г составлял 14, 26, 61 и 93 кг/га K_2O соответственно. Подобные данные получены и в исследованиях на дерново-подзолистой супесчаной почве в Белоруссии (Шугля З.М., 1991). Такая динамика может объясняться возрастанием конкуренции за обменные позиции ППК, вследствие чего вся большая часть остаточного калия удобрений фиксируется необменно, а на лёгких почвах и мигрирует вниз по профилю. Вероятно, в подобных ситуациях не последнюю роль играет и минералогический состав почвы. К примеру, в США обращают внимание на фиксирующую способность вермикулита, сильно осложняющую проблему питания растений калием (Pettygrove S. e.a., 2011).

Не сложилось единого мнения и по поводу зависимости от окультуренности почвы потенциального резерва доступного растениям калия - его необменных форм. На отсутствие такой зависимости указывалось в работах В.У. Пчёлкина (1966), В.Д. Панникова и В.Г. Минеева (1987), В.Н. Переверзева и Н.К. Иваненко (1995). Напротив, Б.А. Никитин (1986) считал возрастание содержания необменного калия одним из показателей процесса окультуривания дерново-подзолистых почв. В его сравнительно - генетических исследованиях регистрировались следующие показатели содержания необменного калия: целинные почвы - 230 мг/кг, слабо-, средне- и хорошо окультуренные - 280, 365 и 1120 мг/кг соответственно. Такой же позиции придерживались Н.И. Горбунов (1965), И.Г. Важенин (1965), А.Е. Johnston (1971,1973), В.В. Носов (1997), С.А. Шафран (1997). По мнению В.Н. Якименко (2006), уже просто распашка целинной почвы ведёт к повышению содержания и обменного, и необменного калия за счёт частичной распаковки почвенных агрегатов и усиления гидролитических процессов.

Признавая факт накопления необменного калия в процессе окультуривания почв, нельзя отрицать обоснованности мнения о неоднородности этой формы почвенного калия, то есть о наличии в его составе и природного калия, и необменно фиксированного калия удобрений. Причём последний более доступен растениям (Медведева О.П., 1987).

Положительное влияние окультуривания почвы проявляется не только на ёмкостных, но и на термодинамических показателях калийного состояния. В работах А.Г. Корзун с соавт. (1988), М.П. Самойлович и С.А. Касьянчик (1993), Н.В. Клебанович с соавт. (1993) отмечается снижение при этом калийного потенциала и энергетических затрат на перевод калия из твёрдой фазы в раствор, повышение активности ионов K^+ .

Интенсивное окультуривание дерново-подзолистых почв, связанное с применением высоких доз калийсодержащих удобрений, может иметь и пока

мало изученные экологические последствия в виде изменения минералогического состава. В частности, Т.С. Зверевой (1972, 1976), В.В. Прокошевым (1979), E. Niederbudde (1980), В.Д. Мухой (2004) отмечается увеличение содержания монтмориллонита в суглинистых и каолинита в лёгких почвах.

Трансформацию калийного состояния почвы нельзя связывать только с интенсивностью баланса калия, поскольку существенное значение имеют и другие приёмы окультуривания: мелиорация, обработка почвы, обогащение её органическим веществом, известкование. Все они имеют прямое отношение к оптимизации водно-воздушного и теплового режимов, а значит, и к интенсивности потребления растениями калия почвы и удобрений. Коренное изменение окислительно-восстановительных условий ведёт к высвобождению ионов марганца и железа и разрушению кристаллической решётки первичных минералов (Зайдельман Ф.Р., 1977).

Известкование почвы, особенно на первых стадиях окультуривания, уменьшает активность ионов K^+ в почвенном растворе и их поступление в растения (Прокошев В.В., 1975; Гринченко Т.А., 1985; Слободницкая Г.В., 1991). Причиной этому считается насыщение ППК ионами Ca^{2+} и растворением защитных прослоек гидроксида алюминия в минералах, что сопровождается усилением необменной фиксации калия (Соколова Т.А., 1987; Аристархов А.Н., 2000; Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф., 2005). В целом же нейтральная и слабощелочная среда повышает устойчивость калийсодержащих минералов к химическому выветриванию (Нарокова Р.П., 1990).

Внесение органических удобрений - одно из обязательных условий окультуривания дерново-подзолистых почв. В 70 - 80-е годы прошлого века на их долю приходилось до 50% и более поступающего в почву калия удобрений (Иванов И.А., 1989; Небольсин А.Н. и др., 1997). Действие этих удобрений на калийное состояние почвы определяется не только

увеличением интенсивности баланса калия. Органические, и в первую очередь гумусовые, кислоты участвуют в комплексообразовательных и восстановительных процессах, связанных с вытеснением в почвенный раствор железа (Линик П.Н., Набиванец Б.И., 1986; Зайдельман Ф.Р., 1994, 1997; Водяницкий Ю.Н., 2003). Высвобождение же железа служит одной из предпосылок расшатывания и разрушения кристаллической решётки калийсодержащих минералов (Боул С. и др., 1977).

2.2.1. Результаты исследований в условиях Псковской области

Для выявления закономерностей в трансформации калийного состояния дерново-подзолистых почв в процессе их окультуривания был использован сравнительно-генетический метод исследования (Никитин Б.А., 1976, 1986). Серии почвенных разрезов закладывались в Гдовском и Великолукском районах Псковской области (разд. 1.2.1 и 1.4). Результаты оценки калийного состояния изученных почв в зависимости от генезиса и степени окультуренности отражены в таблице 15.

Несмотря на пространственную и вертикальную неоднородность моренных отложений, зависимость калийного статуса почв от указанных факторов прослеживается достаточно отчётливо.

Так, валовое содержание калия в верхнем горизонте почв, сформированных на тяжелосуглинистой морене, было в 1,5 раза больше, в сравнении с почвами на рыхлых песках. Нашло подтверждение и представлениям И.Ф. Гаркуши (1970) и В.К. Пестрякова (1977) о возможности увеличения общих почвенных запасов калия на стадии хорошей окультуренности. Такая закономерность прослеживалась по всем сериям разрезов, а в среднем содержание K_2O в пахотном горизонте хорошо окультуренных почв

превышало показатель целинных аналогов на 9, а слабоокультуренных - на 11%.

Профильное распределение валовых запасов почвенного калия чаще удовлетворительно коррелировало с содержанием в соответствующем горизонте физической глины. То есть у суглинистых почв содержание возрастало с 19627 мг/кг в пределах гумусовых (пахотных) горизонтов до 20592 мг/кг в составе материнской породы, а у песчаных - снижалось соответственно с 13448 до 10408 мг/кг. Тем не менее, можно говорить о весьма равномерном распределении калия по почвенному профилю, в отличие от фосфора и, тем более, азота.

В ряде почвенных исследований, в том числе и выполняемых нами в условиях Псковской области, встречались почвы с достаточно высоким содержанием подвижных форм калия в составе материнской породы. Почвообразующие породы объектов нашего исследования тоже имели различия: тяжелосуглинистые содержали 8 мг/кг легкорастворимого и 61 мг/кг подвижного, песчаные - 6 и 39 мг/кг соответственно. Но все же относительно этих, непосредственно участвующих в питании растений, форм калия решающее значение имел уровень окультуренности. Пахотный слой хорошо окультуренных видов дерново-подзолистых почв содержал водорастворимого калия в 5,4 раза больше, чем гумусовый горизонт целинных и пахотный слой слабоокультуренных аналогов. Практически такая же закономерность была свойственна и обменным формам почвенного калия. Правда, содержание обменного и подвижного калия превосходило показатели целинных почв и у слабоокультуренного вида, вероятно, по причине интенсивного применения калийных удобрений в годы проведения сравнительно-генетических исследований (конец 80-х годов прошлого века).

Таблица 15 - Групповой состав почвенного калия в зависимости от генезиса и окультуренности дерново-подзолистых почв

Горизонт	Глубина, см	Содержание K ₂ O, мг/кг						<u>K подв.</u> K вал.	<u>K легк.</u> K подв.
		валовой	легко-растворимый	обменный (по Масловой)	подвижный (по Кирсанову)	необменный (по Пчёлкину)	силикатов		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Целинная лесная легкосуглинистая почва									
A ₁	3-18	18970	8	61	53	689	18220	0,003	0,15
A ₂	31-41	17720	3	60	42	480	17180	0,002	0,07
B	70-80	21090	8	72	61	2768	18250	0,003	0,13
6C	120-130	20280	5	103	78	2657	17520	0,004	0,06
Слабоокультуренная легкосуглинистая почва полевого севооборота									
A _{пах.}	0-22	17930	11	107	82	693	17130	0,005	0,13
A ₂	25-35	15340	4	66	57	634	14640	0,004	0,07
B	70-80	18770	3	108	83	1782	16880	0,004	0,04
C	120-130	18980	4	144	101	2046	16820	0,005	0,04

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хорошо окультуренная легкосуглинистая почва овощно-кормового севооборота									
A _{пах.}	0-24	20630	51	207	184	1183	19240	0,009	0,28
A ₂	34-44	18740	16	110	101	970	17660	0,005	0,16
B	70-80	15640	7	107	83	1523	14010	0,005	0,08
C	120-130	19320	8	109	87	2901	16310	0,005	0,09
Целинная луговая остаточно-карбонатная легкосуглинистая почва									
A ₁	3-16	19630	35	130	71	920	18580	0,004	0,49
A ₂	30-40	20780	21	108	51	782	19890	0,002	0,41
B	70-80	21600	4	90	38	2820	18690	0,002	0,11
C	120-130	21240	13	77	38	2990	18173	0,002	0,34
Слабоокультуренная остаточно-карбонатная легкосуглинистая почва полевого севооборота									
A _{пах.}	0-20	19030	24	126	64	837	18067	0,003	0,38
A ₂	30-40	20950	7	104	40	759	20087	0,002	0,18
B	70-80	21020	6	80	22	1870	19070	0,001	0,27

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C _{Ca}	120-130	21240	6	66	16	2054	19120	0,001	0,38
Хорошо окультуренная остаточно-карбонатная легкосуглинистая почва опытного поля									
A _{пах.}	0-24	21570	161	410	293	1273	19887	0,014	0,55
A _{2B}	34-44	20830	48	136	112	1044	19650	0,005	0,43
B	70-80	21630	14	120	64	1283	20227	0,003	0,22
C _{Ca}	120-130	22420	10	90	45	2255	20145	0,002	0,22
Целинная лесная песчаная почва									
A ₁	2-18	13220	8	не опр.	45	174	13001	0,003	0,18
A _{2B}	30-40	12990	5	не опр.	30	170	12790	0,002	0,17
B	70-80	10810	4	не опр.	18	133	10659	0,002	0,22
C	130-140	10950	4	не опр.	18	128	10804	0,002	0,22
Слабоокультуренная песчаная почва полевого севооборота									
A _{пах.}	0-20	13310	10	не опр.	75	202	13033	0,006	0,13
A _{2B}	30-40	12840	7	не опр.	60	183	12597	0,005	0,12

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В	70-80	11050	5	не опр.	53	140	10857	0,005	0,09
С	130-140	10540	4	не опр.	56	142	10342	0,005	0,10
Хорошо окультуренная песчаная почва прифермского севооборота									
A _{пах.}	0-24	14070	82	не опр.	310	386	13374	0,022	0,26
A ₂ B	35-45	13110	22	не опр.	225	295	12590	0,017	0,10
В	90-100	11190	15	не опр.	174	154	10862	0,016	0,09
С	135-145	10800	10	не опр.	94	133	10573	0,009	0,08
Целинная лесная песчаная почва (остаточно-карбонатная)									
A ₁	3-12	12930	15	не опр.	49	155	12726	0,004	0,31
A ₂ B	15-25	11880	15	не опр.	58	145	11677	0,005	0,26
В	60-70	10740	6	не опр.	31	133	10576	0,003	0,20
С _{Са}	110-120	9990	5	не опр.	17	139	9834	0,002	0,29
Слабоокультуренная песчаная почва (остаточно-карбонатная) полевого севооборота									
A _{пах.}	0-16	13070	22	не опр.	100	160	12810	0,008	0,22

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A ₂ B	30-40	12050	12	не опр.	31	142	11877	0,003	0,39
B	70-80	11120	6	не опр.	31	140	10949	0,003	0,19
C	110-120	10010	6	не опр.	17	128	9865	0,002	0,35
Хорошо окультуренная песчаная (остаточно-карбонатная) почва приусадебного участка									
A _{пах.}	0-22	14090	73	не опр.	220	405	13465	0,016	0,33
A ₂ B	30-40	12960	20	не опр.	79	271	12610	0,007	0,25
B	70-80	11350	11	не опр.	62	166	11122	0,005	0,18
C	110-120	10160	7	не опр.	31	147	9982	0,003	0,23
Среднее по целинным почвам									
A ₁	3-16	16188	17	96*	55	485	15648	0,003	0,31
A ₂ (A ₂ B)	27-37	15843	11	84*	45	394	15404	0,003	0,24
B	68-78	16060	6	81*	37	1464	14559	0,002	0,16
C	120-130	15615	8	90*	38	1479	14098	0,002	0,21
Среднее по слабоокультуренным почвам									

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A _{пах}	0-20	15835	17	117*	80	473	15282	0,005	0,21
A _{2(A₂B)}	29-39	15295	8	85*	47	430	14818	0,003	0,17
B	70-80	15490	6	94*	47	983	14460	0,003	0,13
C	120-130	15193	5	90*	48	1093	14152	0,003	0,10
Среднее по хорошо окультуренным почвам									
A _{пах}	0-24	17590	92	309*	252	812	16526	0,014	0,37
A _{2(A₂B)}	33-43	16410	27	123*	125	645	15640	0,008	0,22
B	75-85	14953	12	114*	96	782	14075	0,006	0,13
C	121-131	15693	9	100*	64	1359	14270	0,004	0,14

* только по легкосуглинистым почвам

Степень подвижности калия в целинных почвах низкая - в среднем по изучаемым объектам она составляла 0,3%. При этом обвальное уменьшения этого показателя в подпахотных горизонтах не наблюдалось, что указывает на возможность их участия в калийном питании растений. Относительная доля подвижного калия в общих запасах элемента не имела устойчивой связи с гранулометрическим составом почвы и наличием или отсутствием карбонатов, но закономерно возрастала по мере окультуривания почвы - с 0,3% у целинных до 0,5% - у слабоокультуренных и до 1,4% - у хорошо окультуренных аналогов.

Доля водорастворимого калия в составе подвижного у слабоокультуренных почв относительно целинных снижалась на 32% (относительных), а у хорошо окультуренных - возрастала на 19%. Кроме того, этот показатель зависел и от степени насыщенности материнских пород основаниями. Остаточные - карбонатные почвы содержали в составе подвижного калия 38% водорастворимых соединений, а обычные дерново-подзолистые - вдвое меньше.

Положительное влияние окультуривания на обеспеченность почв подвижными формами калия регистрировалось и в подпахотных горизонтах (на глубине до 80 см).

В ряде работ по проблемам почвенного калия подвергался критике принятый агрохимслужбой РФ метод определения обменного калия в дерново-подзолистых почвах (метод А.Т. Кирсанова). Н.О. Авакян (1969), А.Н. Небольсин и др., (1991), В.Г. Сычёв (2000), В.Н. Якименко (2001), В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин (2008) высказывали мнение о получении при этом завышенных данных. В наших исследованиях, напротив, полученные этим методом показатели были меньше таковых при использовании методики Масловой. Особенно велика разница в нижних горизонтах остаточно-карбонатных почв, для которых метод Кирсанова, по-видимому, малопригоден.

Сложнее всего интерпретировать данные о трансформации необменной формы почвенного калия, хотя в пределах пахотного и подпахотного горизонтов положительная зависимость её от окультуренности почвы не вызывает сомнений. Столь же закономерна связь этой потенциально доступной растениям формы калия с гранулометрическим составом почвы. В верхнем горизонте легкосуглинистых почв в среднем содержалось 933 мг/кг K_2O в необменной (по Пчёлкину) форме, а песчаных - только 247 мг/кг. В то же время без выполнения минералогических анализов сложно обосновать кратное увеличение содержания обменного калия в горизонтах В и С суглинистых дерново-подзолистых почв.

2.2.2. Изменение калийного состояния пахотных почв Северо-Западного района РФ за годы химизации сельского хозяйства

Анализ статистических данных агрохимслужбы за период 1965 - 1995 гг. может быть также использованным для получения объективной информации относительно изменения калийного статуса пахотных дерново-подзолистых почв в процессе их окультуривания, ибо это время характеризовалось повсеместным внедрением зональных систем земледелия и относительно интенсивным применением удобрений (в том числе и калийсодержащих). В Псковской и Новгородской областях в эти годы на 1 га пашни вносилось 90 кг/га K_2O в составе органических и калийных удобрений, в то время как хозяйственный вынос этого элемента был всего 37 кг/га. В земледелии Ленинградской области интенсивность баланса калия была ещё выше (Небольсин А.Н. и др., 1997). На этой основе имело место хотя и медленное, но постоянное улучшение обеспеченности почв подвижным калием (табл. 16).

Таблица 16 - Динамика обеспеченности пахотных почв Северо-Западного района подвижным калием

Области	Годы	Площадь в % от обследованной с содержанием K_2O , мг/кг				Среднее содержание K_2O , мг/кг
		менее 80	81-170	171-250	более 250	
Ленинградская	1965-1970	34,5	48,6	12,6	4,3	111
	1981-1985	20,7	42,6	22,0	14,7	153
	1991-1995	13,5	44,8	20,0	21,7	168
Новгородская	1965-1970	29,2	53,7	12,6	4,5	117
	1981-1985	17,7	55,2	20,1	7,0	141
	1991-1995	33,2	52,3	12,6	1,9	113
Псковская	1965-1970	43,2	45,1	10,3	1,4	99
	1981-1985	24,2	46,1	19,8	9,9	128
	1991-1995	29,0	52,2	14,4	4,4	108
Северо-Западный район	1965-1970	37,6	48,2	11,4	2,8	110
	1981-1985	21,5	47,3	19,0	12,2	139
	1991-1995	28,4	49,4	14,6	7,6	129

Ко времени 1-го тура агрохимического обследования почв содержание в них подвижного калия определялось, главным образом, составом материнских пород и было минимальным в более лёгких по гранулометрическому составу почвах Псковской области (99 мг/кг). В последующем оно возрастало в соответствии с балансом калия в системах удобрения, но при постепенном замедлении темпов этого процесса.

Максимум содержания в почвах Новгородской и Псковской областей пришёлся на конец 80-х, а Ленинградской - на середину 90-х годов.

За эти годы почти вдвое сократилась площадь почв с неудовлетворительным калийным статусом. Согласно представлениям Н.Л. Благовидова (1954, 1962), хорошей окультуренности дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава должно отвечать содержание от 100 до 250 мг/кг подвижного калия. В первой половине 90-х

годов доля почв с таким содержанием K_2O достигла 47%. По данным В.Ф. Ивановой с соавт. (1991, 1997), А.И. Иванова (1993, 1994, 2000), среднее содержание подвижного калия в хорошо окультуренных почвах Псковской области составляло 310 мг/кг. Аналогичная ситуация складывалась и в целом по Нечернозёмной зоне (Шафран С.А., 1984, 1997, 2006).

Однако темпы улучшения калийного состояния почв района не соответствовали обоснованным учёными нормативам затрат удобрений на единицу повышения запасов подвижного калия. Вместо 40 - 100 кг K_2O в расчёте на 10 мг/100 г подвижного калия они доходили до 900 кг/га (Небольсин А.Н. и др., 1997). Часть причин такого несоответствия установлена. Как показали исследования И.А. Иванова (1989) в условиях Псковской области, весьма существенны потери калийных удобрений на пути "завод - поле". Кроме того, не всегда соответствовало усреднённым показателям фактическое содержание калия в используемых органических удобрениях. То есть статистические данные по внесению калия были заметно завышенными.

В числе ещё одной причины следует считать массовое нарушение агрохимических основ системы удобрения, а конкретно, внесение высоких доз калийсодержащих удобрений в уже фактически насыщенные обменным калием почвы. К концу 80-х годов пятая часть пахотных почв района продолжала оставаться слабообеспеченной калием. И в то же время площадь почв с очень высоким

содержанием подвижного калия превысила 200 тыс. га.

Даже в менее обеспеченной удобрениями Псковской области среднее содержание K_2O в почвах этой группы составляло 380 мг/кг, а максимальные показатели регистрировались на уровне 1000 мг/кг. Для привлечения внимания к проблеме А.И. Ивановым (1994) было предложено выделение в рамках 6-й агрохимической группы (более 250 мг K_2O в 1 кг почвы) трёх подгрупп: слабо-, средне- и сильнозакаленных почв. Учитывая ограниченные рамки участия иона K^+ в ЕКО почвы (Прокошев В.В., 1984; Медведева О.П., 1987; Канунникова Н.А., 1989), судьба значительной части внесённого в такие почвы калия удобрений - необменная фиксация, а на лёгких почвах - и вымывание. При этом не исключены и экологические издержки. Избыточное, т.н. "люкс - питание" калием (Медведева О.П., 1987) опасно превышением его санитарно допустимой нормы в составе растительной продукции (Анспок П.И., 1988; Небольсин А.Н. и др., 1997).

2.3. Дегградация калийного состояния окультуренных дерново-подзолистых почв

Как было показано выше, дерново-подзолистые почвы на стадии хорошей окультуренности обладают комплексом благоприятных агропроизводственных свойств и способны в условиях гумидного климата обеспечивать высокую продуктивность земледелия. Но поскольку эти свойства формировались в значительной мере искусственно и существенно оторваны от аналогичных свойств целинных аналогов, потенциальное плодородие окультуренных почв не может быть устойчивым. Его сохранение сопряжено с большими затратами и, как показала практика последнего времени, непосильными для большинства землепользователей. Поэтому постагрогенной эволюции окультуренных почв наука уделяет большое внимание (Баранова О.Ю., 1989; Караваева Н.А., 1996, 2000;

Иванов А.И., 2000; Ефимов В.Н., Иванов А.И., 2001; Герасимова М.И. и др., 2003; Литвинович А.В. и др., 2006; Воробьёв В.А. и др., 2006, 2007, 2013; Никитина Л.В., Володарская И.В., 2007; Иванов А.И. и др., 2009; 2010).

Установлено, что наиболее устойчивы к деградации физические показатели почвенного плодородия: мощность пахотного слоя, гранулометрический состав; менее устойчивы - структура, содержание и состав гумуса, а наиболее динамичны - кислотно-основные свойства и содержание подвижных соединений питательных элементов, в том числе и калия. Но относительно причин и скорости деградационных процессов существуют разные мнения.

Главной причиной ухудшения калийного состояния почвы признаётся отказ от применения калийных удобрений (Соколов А.В., 1964, 1967; Бабарина Э.А., 1991; Якименко В.Н., 1993; Милащенко Н.З., 1996; Соловьёв Г.А. и др., 1998; Державин Л.М., 1998). Хотя в большинстве случаев приводятся показатели весьма незначительных потерь подвижных соединений: по данным З.М. Шугля (1991) всего 26 мг/кг за 20 лет; столько же или даже меньше по данным ряда других учёных (Dubetz S., Dudas M.J., 1981; Johnston A.E., 1986; Небольсин А.Н. и др., 1997; Кобзаренко В.И., 1999; Прокошев В.В., 2004). Хотя в отдельных исследованиях на хорошо окультуренной почве наблюдались потери подвижного калия пахотным слоем до 100 мг/кг в год (Иванов А.И., 1998, 2000; Воробьёв В.А., Цыганова Н.А., 2006; Иванов А.И. и др., 2009; 2010). А по данным А.В. Литвиновича с соавторами (2006), даже залежное содержание в прошлом окультуренной дерново-подзолистой почвы лёгкого гранулометрического состава не предотвращало деградацию её калийного состояния. За 20 лет содержание водорастворимого калия уменьшилось с 51 до 7 мг/кг, подвижного - с 210 до 35 мг/кг.

В исследованиях Г.В. Слободницкой (1991) с выращиванием "истощающей" культуры регистрировалось ухудшение и термодинамических показателей калийного режима почвы: увеличение в два раза потенциальной буферной способности в отношении калия, уменьшение доли ионов K^+ в ЕКО и запасов легкоподвижных соединений этого элемента. То есть прослеживались признаки начинающегося калийного истощения почвы (Жарикова Е.А., 2001, 2004). Следствием последнего, по мнению В.Н. Якименко (2009), может быть и уменьшение содержания в пахотном слое почвы обменного аммония.

Немногочисленные пока минералогические исследования указывают на вероятность возникновения такой экологической проблемы, как преобразование ценных калийсодержащих минералов в условиях не восполнения потерь калия. Оно может быть следствием также усиления кислотного гидролиза минералов на фоне применения кислых форм минеральных удобрений (Чижикова Н.П., 1996, 1998, 2002). А в результате наблюдается резкое увеличение обменной фиксации калия (Соколова Т.А., 1999; Прокошев В.В., Дерюгин И.П., 2000). Кроме того, нарушается природный минерало-геохимический фон, контролирующий видовое многообразие организмов и условия их существования (Алексеенко В.А., 2000).

Представление о скорости деградиационных процессов в реальных условиях сельскохозяйственного производства даёт анализ статистических данных агрохимической службы за период с 1990 по 2010 гг., когда в таких областях, как Псковская, применение калийных удобрений практически прекратилось, а органических сведено к минимуму (табл. 17).

Если в 70 - 80-е годы прошлого века в области на гектар пашни вносилось 90 кг K_2O в составе минеральных и органических удобрений, а средний вынос урожаем составлял 37 кг/га, то в период 1990 - 2010 гг. поступление калия в почву сократилось до 8 кг/га (2 кг/га в составе

минеральных и 6 кг/га в составе органических удобрений). Отсюда и изменение на противоположное направление вектора динамики калийного состояния почв.

Как показано данными таблицы 16, период 1965 - 1990 гг. характеризовался положительной динамикой калийного статуса почв. За эти годы, даже в условиях недостаточно эффективного применения удобрений,

более 60% площади пахотных дерново-подзолистых почв стало соответствовать оптимальным параметрам по содержанию обменного калия (более 100 мг K_2O в 1 кг почвы). На 30% сократилась площадь бедных калием почв, а средневзвешенный показатель содержания подвижного калия увеличился с 99 до 122 - 128 мг/кг.

Напротив, данные таблицы 17 отражают, причём в несколько скрашенном виде, процесс деградации калийного состояния пашни региона.

По сути, всего за 20 лет на фоне острейшего дефицита баланса калия почвы практически возвратились к своему исходному естественному состоянию. В 60-е годы XX века (в начале периода химизации земледелия) на долю почв с очень низким и низким содержанием калия приходилось 43,2% площади пашни, а с высоким и очень высоким - 11,7%, в 2010 году - 46,2 и 12,3% соответственно. Таким образом, подтверждено мнение учёных ВНИИА (Никитина Л.В., Володарская И.В., 2007) о стабилизации содержания обменного калия на определяющемся гранулометрическим составом минимальном уровне, воспроизводимым почвой в условиях её калийного истощения.

При этом реальные потери запасов обменного калия каждым гектаром пахотных почв за период 1990 - 2010 гг. правильнее оценивать не в 24 мг/кг (122 - 98), а в 35 - 40 мг/кг или 26% к исходному уровню. Дело в том, что за эти годы обследуемая агрохимслужбой площадь пахотных угодий сократилась более чем вдвое. Естественно, что из хозяйственного оборота выводились в первую очередь слабокультуренные слабообеспеченные

Таблица 17 - Динамика обеспеченности пахотных почв Псковской области подвижным калием в 1985 - 2010 гг.

Годы	Обследованная площадь, тыс.га	Площадь в % к обследованной с содержанием K_2O , мг/кг						Среднее содержание K_2O
		менее 40	41-80	81-120	121-170	171-250	более 250	
1981-1985	935	3,9	20,3	24,4	21,7	19,8	9,9	128
1986-1990	923	3,8	19,3	24,2	23,2	19,8	9,7	122
1991-1995	795	3,6	25,4	29,3	22,9	14,4	4,4	108
1996-2000	763	3,4	31,0	31,4	19,2	12,9	2,1	104
2001-2005	700	6,3	30,7	28,4	19,2	13,7	1,7	103
2006-2010	435	9,4	36,8	26,4	15,1	11,8	0,5	98

калием почвы. А без их учёта средневзвешенный показатель содержания K_2O в 1990 году составлял не 122, а 147 мг/кг.

Как отмечалось выше, такие потери калия минералами почвы грозят ощутимыми последствиями не только сельскому хозяйству, но и в целом биосфере. Поэтому возврат к использованию калийных удобрений в научно обоснованных дозах должен рассматриваться в качестве общегосударственной задачи.

2.4. Трансформация калийного состояния дерново-подзолистых почв в условиях полевых опытов

Учитывая сложность трансформационных процессов форм почвенного калия, мы считали важным использование в их изучении разных методических подходов. У ранее проанализированной информации, полученной сравнительно-генетическим и статистическим методами исследования, есть свои плюсы, но и существенные недостатки в форме отсутствия наблюдений за факторами, определяющими эти процессы. Этих недостатков позволяет избежать методически обоснованный полевой опыт. Ниже анализируются данные четырёх таких опытов, в которых изучались системы удобрения и с положительным, и с отрицательным балансом калия.

2.4.1. Трансформация калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы на фоне минеральной системы удобрения в полевом севообороте (опыт №1)

Объектом изучения в данном опыте стала хорошо окультуренная дерново-подзолистая остаточно-карбонатная легкосуглинистая почва, сформировавшаяся на карбонатном тяжёлом суглинке. На момент закладки опыта в 1987 году она содержала 2,3% калия, в том числе 456 мг/кг подвижного и 188 мг/кг водорастворимого.

Одной из главных задач исследования было изучение темпов деградации калийного состояния окультуренной почвы на фоне ресурсосберегающих калийдефицитных минеральных систем удобрения, нацеленных на мобилизацию запасов почвенного калия. Продолжительность наблюдений составила 21 год, или три с половиной ротации интенсивного зернопропашного полевого севооборота. В таблице 18 приведены данные по трём основным вариантам этого опыта.

Согласно представлениям В.Н. Якименко (1995, 2004), трансформация форм почвенного калия (в том числе и внесённых в составе удобрений) направлена на сохранение генетически обусловленных пропорций. С этих позиций можно было прогнозировать неустойчивость калийного состояния объекта исследования. Ведь содержание обменного калия в пределах пахотного горизонта составляло 479 - 528 мг/кг, или 2,1 - 2,3% от общих запасов. В материнской же породе доля обменного калия была на порядок меньше (0,2%), да и в гумусовом горизонте целинного аналога - всего 0,4% (табл.15).

К тому же, вследствие повышенного содержания кальция, а значит, и высокой конкуренции за сорбционные позиции в ППК, а также в силу применения в процессе окультуривания высоких доз калийсодержащих удобрений, почва характеризовалась необычно высоким содержанием водорастворимых соединений калия. Не способствовала устойчивости калийного состояния и высокая доля ионов K^+ в общей ёмкости катионного обмена (Носов В.В. и др., 1997).

При дефиците баланса за 21 год опыта 2562 - 2646 (вариант без удобрений и с ежегодным внесением K_{60}) и 3623 кг/га (вариант с односторонним внесением азота) расчётные потери подвижного калия пахотным слоем должны были составить 854 - 1208 мг/кг. И это не считая инфильтрационных потерь (по данным Короткова А.А., 1972, около 20 кг/га в год). Фактически они оказались кратно меньшими - 254 - 339 мг/кг (по Кирсанову) и 324 - 362 мг/кг (по Масловой), или по 12 - 17 мг/кг в среднем за год. Снижение содержания подвижного калия на 10 мг/кг происходило при невозмещении продуктивных потерь (выноса) в 101 - 107 кг/га K_2O . Аналогичные результаты получены Г.Б. Кирилловой (2005) по данным многолетних исследований в условиях Вологодской области.

Уже сам факт больших различий между расчётными и фактическими потерями почвой обменного калия подтверждает обоснованность мнения об

участии в питании растений и необменной формы калия (Гедройц К.К., 1955; Mathews B., 1962; Кораблёва Л.И., 1972; Sing R., 1983; Romanathan K., 1983). В равной степени это касается и калия подпахотного слоя почвы. Объективными же показателями может считаться кратное уменьшение содержания обменного калия в пахотном слое и весьма значительное обоих форм в подпахотном. Причём, суммарные потери превзошли вынос калия урожаями, что невозможно без перестройки минералогического каркаса почвы

Таким образом, если использовать распространённый метод оценки деградации калийного состояния почв по убыли обменного калия, то и действительно допустимыми выглядят рекомендации на возможность использования систем удобрения с отрицательным балансом этого элемента (Прокошев В.В., 1985, 2004; Литвак Ш.И. и др., 1991; Якименко В.Н., 2006).

В частности, и изучаемая нами почва обладала высокой восстанавливающей способностью относительно обменного калия. Даже в отсутствие калийных удобрений в течение 21 года содержание последнего не вышло за пределы оптимальных параметров. Но, при этом надо иметь в виду, что калийный статус основной массы пахотных дерново-подзолистых почв района значительно уступает объекту нашего исследования.

При всесторонней оценке последствий длительного отказа от калийсодержащих удобрений (что возможно лишь на основе данных многолетних опытов) становятся очевидными недопустимо высокие темпы деградации калийного состояния хорошо окультуренной почвы. Они существенно превысили скорость ухудшения кислотно-основного, гумусного, азотного и фосфатного состояния этой почвы. За период исследования при среднегодовом дефиците баланса калия 122 - 173 кг/га его содержание только в пределах пахотного слоя уменьшилось: легкорастворимого в 5,8 - 8,5, подвижного - в 2,5 - 3,1, обменного - в 3,1 - 3,4,

Таблица 18 - Трансформация калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы в зернопропашном севообороте

Ва- риант опыта	Слой почвы, см	Баланс K ₂ O, кг/га	Содержание форм калия, мг K ₂ O в 1 кг почвы (над чертой - в 1987 г, под чертой - в 2007 г.)						Кподв. Квал.	Клегк. Кподв.
			валовой	легко- раство- римый	обмен- ный	подвиж- ный	необмен- ный	силика- тов		
Конт- роль-0	0 - 22	-2646	<u>23050±970</u>	<u>193±11</u>	<u>528±15</u>	<u>493±30</u>	<u>1752±126</u>	<u>20770</u>	<u>0,021</u>	<u>0,39</u>
			21270±700	33±2	162±10	198±9	570±42	20538	0,009	0,17
	22 - 40		<u>22070±830</u>	<u>72±5</u>	<u>244±10</u>	<u>196±12</u>	<u>1416±88</u>	<u>20410</u>	<u>0,009</u>	<u>0,37</u>
			21840±590	40±3	128±7	124±5	1115±81	20597	0,006	0,32
N ₉₀₋₁₂₀	0 - 22	-3623	<u>22960±950</u>	<u>195±15</u>	<u>512±19</u>	<u>499±31</u>	<u>1793±131</u>	<u>20655</u>	<u>0,022</u>	<u>0,39</u>
			21290±450	23±2	150±8	160±7	502±36	20644	0,008	0,14
	22 - 40		<u>21980±540</u>	<u>72±6</u>	<u>239±11</u>	<u>187±16</u>	<u>1391±85</u>	<u>20350</u>	<u>0,009</u>	<u>0,39</u>
			21630±510	29±4	117±6	123±3	1088±75	20425	0,006	0,24
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0 - 22	-2562	<u>22930±990</u>	<u>176±10</u>	<u>479±18</u>	<u>422±27</u>	<u>1671±130</u>	<u>20780</u>	<u>0,018</u>	<u>0,42</u>
			21240±610	24±2	155±9	168±8	601±42	20484	0,008	0,14
	22 - 40		<u>21710±480</u>	<u>70±5</u>	<u>237±10</u>	<u>180±15</u>	<u>1403±95</u>	<u>20070</u>	<u>0,008</u>	<u>0,39</u>
			21680±710	40±3	135±7	125±8	1288±83	20257	0,006	0,32

необменного - в 2,8 - 3,6 раза и даже валового - на 7 - 8%. В разы снизилась степень подвижности калия. Ухудшилось калийное состояние и подпахотного слоя почвы. Высокая скорость деградации этого показателя плодородия окультуренных почв регистрировалась и в более ранних исследованиях (Носов В.В. и др., 1997; Каменных Н.Л., 2002; Литвинович А.В. и др., 2006; Лямцева Е.Г., 2008).

Заслуживают внимания и данные об изменении соотношения между показателями содержания обменного калия, определёнными методами Масловой и Кирсанова. Если в начале опыта они были больше при первом методе исследования (отношение 1 : 0,9), то в конце пропорция стала противоположной - 1 : 1,2). Это может быть косвенным свидетельством изменения минералогического состава почвы, что с экологических позиций тоже нежелательно (Алексеев В.А., 2000). Наличие таких изменений подтверждается и минералогическими исследованиями на рентген - дифрактометре ДРОН-3М (табл. 19).

Рентген - дифрактометрический метод минералогического анализа почвы, хотя и не обеспечивает высокой точности абсолютных показателей содержания минералов, но позволяет установить их временную динамику и различия по вариантам опыта. Нами изучалась группа калийсодержащих минералов по интенсивности отражений рентгеновского излучения в областях с соответствующей минералу длине волны: полевые шпаты - 0,319 - 0,324, слюды - 0,5 - 0,99, хлориты - 0,47 - 0,7, каолинит - 0,74 нм.

Как отмечалось в разделе 1, валовые запасы калия в почве определяются в значительной мере содержанием полевых шпатов и слюд, а также продуктов их превращений.

Полевые шпаты (ортоклаз, микроклин, плагиоклазы) принадлежат группе весьма устойчивых к выветриванию каркасных силикатов. Это подтверждается и данными исследования. За 21 год содержание в почве пахотного слоя и калий-натриевых полевых шпатов, и плагиоклазов

Таблица 19 - Изменение минералогического состава почвы пахотного горизонта за 1987 - 2007 гг.

Вариант системы удобрения	Годы	Показатели рентген - дифрактограмм (интенсивность отражений в имп./сек)						
		полевые шпаты		слюды		хлориты		каолинит
		калий-натриевые	плагиоклазы	диоктаэдрические	триоктаэдрические	диоктаэдрические	триоктаэдрические	
Без удобрений	1987	248	230	183	83	208	100	95
	2007	240	213	150	68	234	108	88
N ₉₀₋₁₂₀	1987	260	216	175	87	205	96	110
	2007	250	198	132	55	228	112	98
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	1987	256	220	178	80	190	105	95
	2007	248	220	160	73	218	122	106

изменилось несущественно. Поэтому можно предположить, что их влияние на трансформацию других минералов в течение периода наблюдений было незначительным (продуктами превращений полевых шпатов являются слюды, гидрослюды, хлориты и глинистые минералы).

Слюды (мусковит, биотит) относятся к группе листовых (слоевых) силикатов, весьма податливых превращениям. По Н.И. Горбунову (1974), мусковит (минерал с диоктаэдрической кристаллической решёткой) превращается последовательно в гидромусковит и каолинит, а биотит (кристаллическая решётка триоктаэдрическая) - в триоктаэдрические гидрослюды и триоктаэдрический вермикулит. В условиях полевого опыта по всем вариантам системы удобрения имело место уменьшение содержания обеих групп слюд от 9 до 27% (максимально - в варианте с моноазотной системой удобрения).

Трансформация состава почвы относительно основных калийсодержащих минералов могла стать причиной изменения соотношения показателей содержания обменного калия по Масловой и Кирсанову. По данным Н.И. Горбунова (1974), за три года взаимодействия в уксусноаммонийную вытяжку перешло из полевого шпата, мусковита и биотита 0,86; 4,28 и 1,23% валового калия, а в 0,2 М солянокислую - 7,8; 12,2 и 74% соответственно.

Хлориты - минералы метаморфического происхождения с незначительным содержанием калия. Представляют продукт изменения ряда первичных минералов, включая вышеуказанные. В условиях полевого опыта содержание хлоритов практически не зависело от системы удобрения, а за годы исследования оно увеличилось в среднем на 13%.

Каолинит - вторичный почвообразующий минерал. Образуется путем синтеза из аморфных веществ после разрушения полевых шпатов, слюд и хлоритов. Калий в его составе присутствует в виде примесей, но, обладая высокой дисперсностью, минерал может служить источником обеспечения растений обменнопоглощённым калием. За период исследования закономерной временной динамики содержания в почве каолинита не установлено.

Полученная информация указывает на достаточно высокую устойчивость минералогического состава легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы. За 21 год наблюдений выявлена лишь тенденция к уменьшению содержания калиевых слюд, мало сопоставимая с уровнем снижения обеспеченности почвы доступными растениям формами калия.

Утрата пахотным горизонтом разных форм почвенного калия не происходила синхронно. В первую ротацию севооборота (1987 - 1992 гг.) содержание как легко-, так и потенциально доступных растениям форм калия снижалось постепенно и в основном коррелировало с балансом этого элемента (табл. 20). Так, за 6 лет содержание легкорастворимого калия

уменьшилось на 10 - 20%, обменного - на 15 - 21, подвижного - на 17 - 24, необменного - на 4 - 10, калия минерального скелета - несущественно. То есть на первом этапе в потреблении растениями были задействованы и обменные, и необменные формы. Калийная буферная система вполне удовлетворительно возмещала продуктивные и (возможно) непродуктивные потери подвижного калия. В результате к концу ротации содержание легкорастворимого и обменного калия продолжало оставаться очень высоким - 140 - 174 и 405 - 433 мг/кг соответственно.

Для второй ротации севооборота (1993 - 1998 гг.) была характерна быстрая утрата водорастворимых соединений калия (снижение содержания во всех вариантах опыта в три раза) и несколько меньшая - обменных форм (на 28 - 36%). Потеря запасов необменного калия тоже увеличилась, но не столь существенно (уменьшение содержания на 6 - 15%). Полученная информация может свидетельствовать о снижении восстановительной способности калийной буферной системы почвы.

В последние 9 лет исследования содержание водорастворимых соединений калия изменялось уже несущественно, но зато сильно возросли потери обменного (на 35 - 46%) и, особенно, необменного калия (более чем в два раза). Можно предположить, что на этом отрезке времени потребление растениями калия уже в значительной мере происходило за счёт трансформации его необменной формы.

При среднегодовом выносе калия сельскохозяйственными культурами около 170 кг/га внесение 60 кг/га K_2O в составе хлористого калия хотя и уменьшало дефицит баланса, но решающих изменений в трансформационный процесс не вносило. Напротив, роль азотного удобрения в мобилизации почвенных запасов проявилась отчётливо. За два десятилетия разница в выносе этого элемента сельскохозяйственными культурами в вариантах "без удобрений" и " N_{90-120} " составила около 1 т/га.

В последнее время всё чаще высказывается мнение о необходимости дополнения ёмкостных характеристик калийного состояния почв термодинамическими показателями последнего (Шаймухаметов М.Ш. и др., 1991; Мирошниченко Н.Н. и др., 2003; Жарикова Е.А. и др., 2007; Иванов А.И. и др., 2009). Основанием для этого служит положение о зависимости химической активности ионов K^+ в почвенном растворе не только от концентрации их в жидкой и твёрдой фазах, но и от содержания других элементов (особенно кальция). Показатели интенсивности калийного состояния почвы базируются на положениях химической термодинамики (Гибс Дж. У., 1950). Среди них принято выделять "калийный потенциал" (КП) и "потенциальную буферную способность в отношении калия" (ПБС^к). В составе последней выделяются: ΔK_0 – легкодоступная часть подвижного калия (ионы K^+ на «неспецифических» обменных позициях); ΔKX – труднодоступная часть калия (ионы K^+ на «специфических» сорбционных позициях); ΔKL – общие запасы подвижного калия; AR_0 – относительная активность ионов (отношение активностей ионов калия и кальция); ΔG^- – показатель энергетических затрат на перевод калия в раствор (кал.). Калийный потенциал определяется по формуле: $KП = pK - 0,5pCa$, а потенциальная буферная способность – по методу Беккета (Beckett P.H., 1973).

Определение показателей интенсивности калийного состояния почвы в пределах пахотного слоя проводилось в год закладки опыта и в 2007 году. Результаты исследования отражены на рисунках 3 – 6 и в таблице 21.

Согласно представлениям С.М. Woodruff (1955), калийный потенциал почвы в пределах 1,8 – 2,2 соответствует оптимальным условиям питания растений, 2,5 – 2,9 – недостатку, а 1,5 и ниже – избытку калия в почве. Как видно из данных таблицы 21, исходно почва опытного поля

Таблица 20 - Трансформация калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы по ротациям 6 - полевого зернопропашного севооборота

Вариант опыта	Баланс K_2O за ротацию, кг/га	Содержание K_2O , мг/кг			
		легкораст-воримый	обменный	подвижный	необменный
Начало 1-й ротации (1987 г.)					
Контроль-0	-899	193	528	493	1752
N_{90-120}	-1270	195	512	499	1793
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	-805	176	479	422	1671
Начало 2-й ротации (1993 г.)					
Контроль-0	-790	174	433	410	1685
N_{90-120}	-1028	160	405	380	1614
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	-702	140	405	348	1516
Начало 3-й ротации (1999 г.)					
Контроль-0	-757	54	296	290	1514
N_{90-120}	-1005	52	260	255	1365
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	-765	48	290	265	1440
Начало 4-й ротации (2005 г.)					
Контроль-0	-200	50	160	206	580
N_{90-120}	-320	36	168	195	532
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	-242	44	168	209	632
Конец опыта (2007)					
Контроль-0	-	33	162	198	570
N_{90-120}	-	23	150	160	502
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	-	24	155	168	601

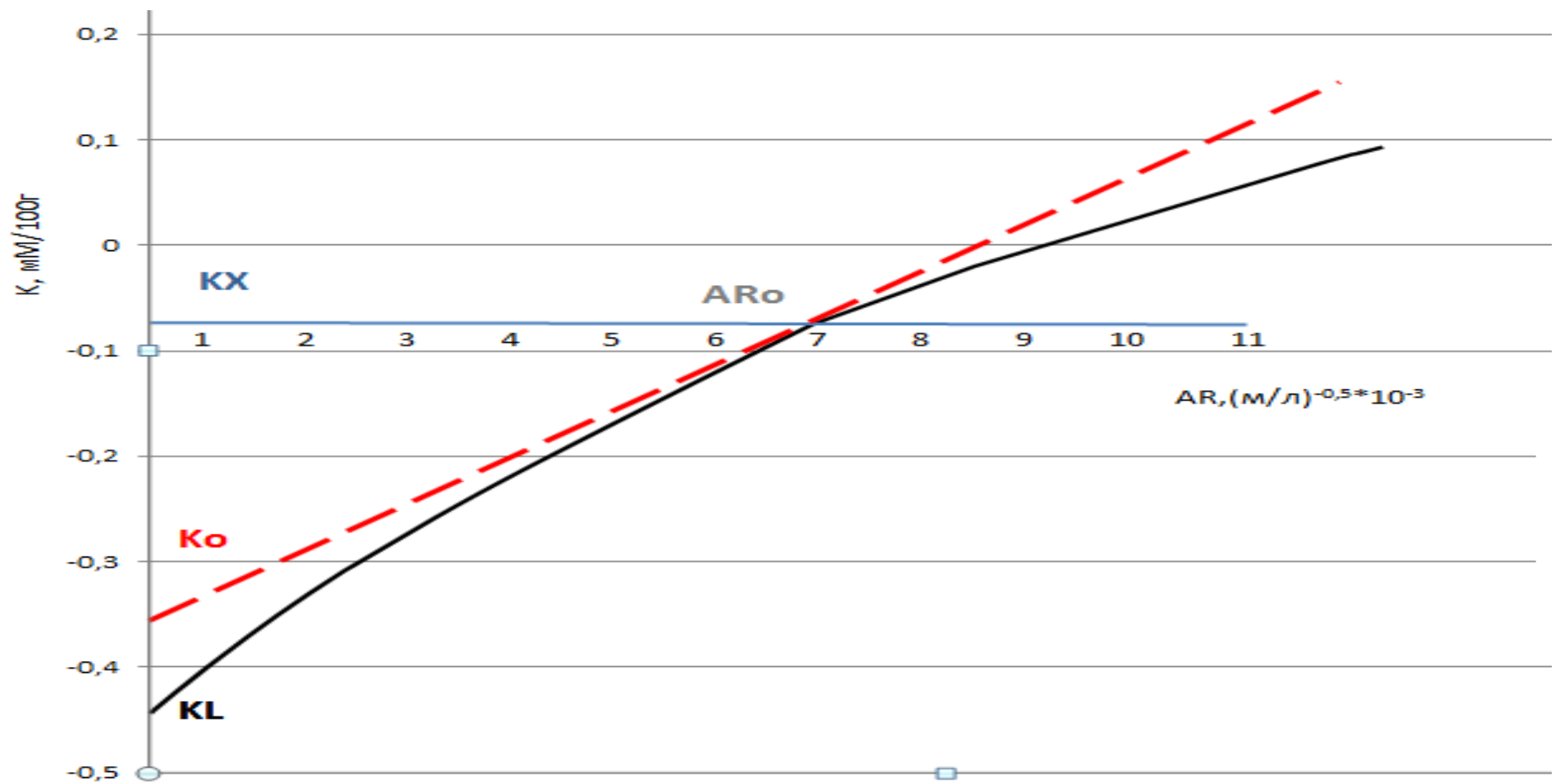


Рисунок 3 – Изотерма сорбции калия в начале опыта

KL – весь подвижный калий; Ko – легкообменный калий; KX – труднообменный калий; ARo – отношение активностей ионов K^+ и Ca^{2+} , при котором калий раствора находится в равновесной с твердой фазой.

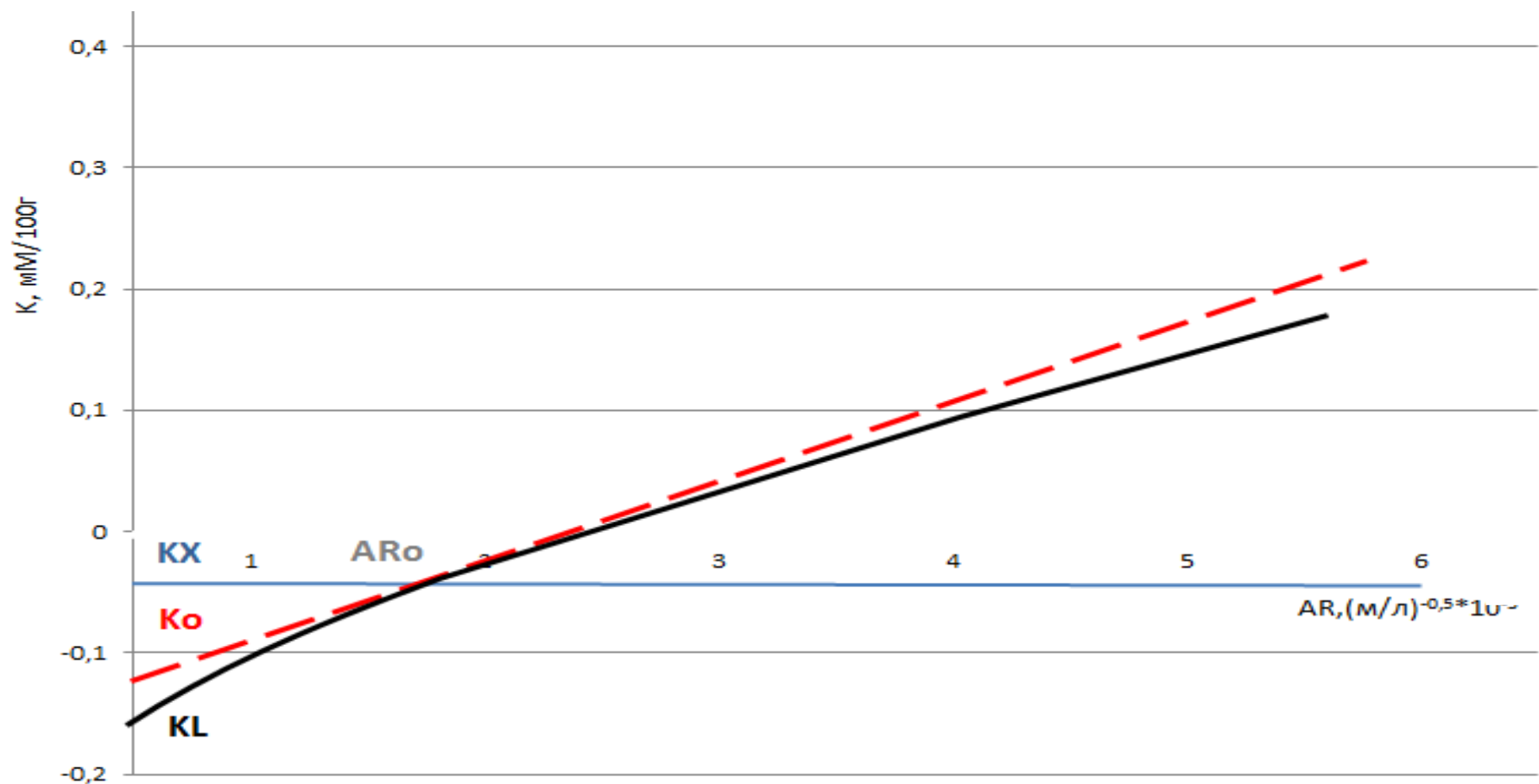


Рисунок 4 – Изотерма сорбции калия в конце опыта
(вариант «Контроль – 0»)

KL – весь подвижный калий; Ko – легкообменный калий; KX – труднообменный калий; ARo – отношение активностей ионов K^+ и Ca^{2+} , при котором калий раствора находится в равновесной с твердой фазой.

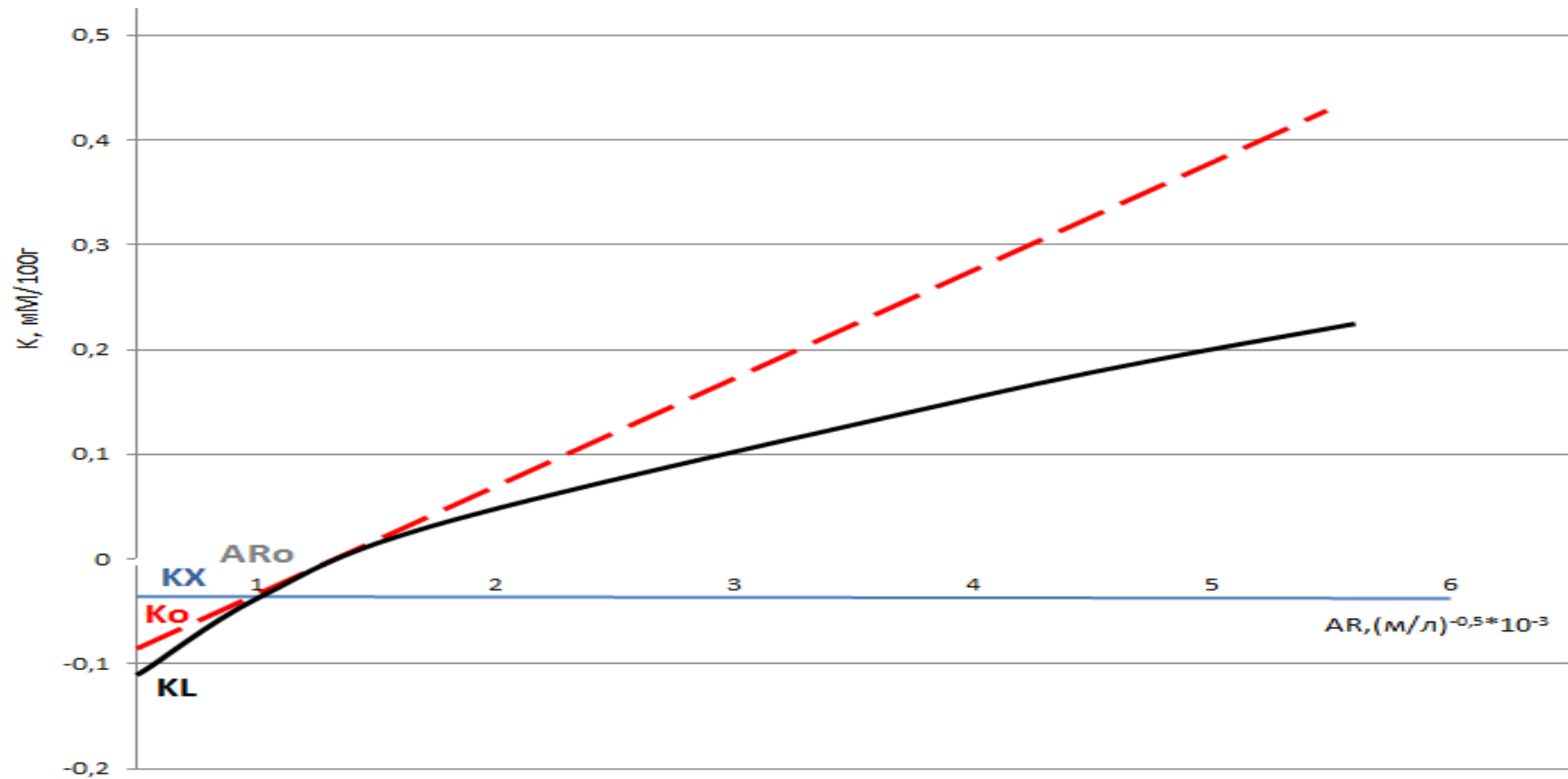


Рисунок 5 – Изотерма сорбции калия в конце опыта
(вариант N₉₀₋₁₂₀)

KL – весь подвижный калий; Ko – легкообменный калий; KX – труднообменный калий; ARo – отношение активностей ионов K⁺ и Ca²⁺, при котором калий раствора находится в равновесной с твердой фазой.

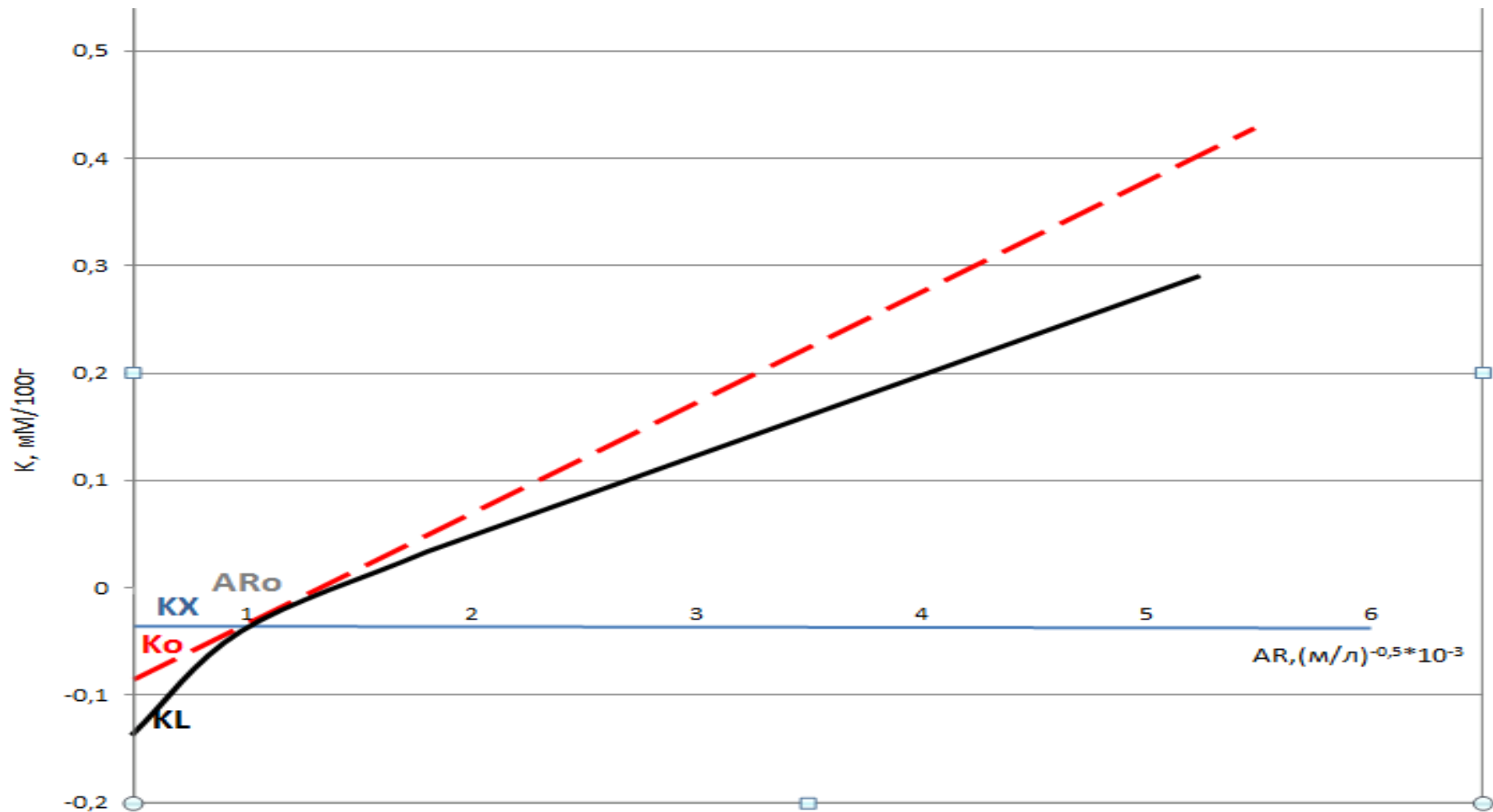


Рисунок 6 – Изотерма сорбции калия в конце опыта
(вариант «N₉₀₋₁₂₀; P₆₀; K₆₀)

KL – весь подвижный калий; Ko – легкообменный калий; KX – труднообменный калий; ARo – отношение активностей ионов K⁺ и Ca²⁺, при котором калий раствора находится в равновесной с твердой фазой.

Таблица 21 – Динамика интенсивности калийного состояния
хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы
(над чертой – 1987 г., под чертой – 2007 г.) (Лямцева Е.Г., 2008)

Вариант опыта	КП	ΔK_0	ΔK_L	ΔK_X	AR_0 , (М/л) ^{0,5*103}	ПБС ^к , мм/100г (М/л) ^{0,5}	ΔG , кал
		мм/100 г					
Контроль-0	<u>2,0</u>	<u>0,36</u>	<u>0,45</u>	<u>0,09</u>	<u>7,0</u>	<u>51,6</u>	<u>-2728</u>
	2,7	0,11	0,16	0,05	1,8	63,8	-3540
N ₉₀₋₁₂₀	<u>2,0</u>	<u>0,35</u>	<u>0,43</u>	<u>0,08</u>	<u>6,9</u>	<u>50,7</u>	<u>-2728</u>
	2,6	0,08	0,11	0,03	1,2	70,0	-3586
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	<u>2,0</u>	<u>0,33</u>	<u>0,41</u>	<u>0,08</u>	<u>6,8</u>	<u>48,5</u>	<u>-2728</u>
	2,3	0,09	0,13	0,04	1,3	69,9	-3247

характеризовалась благоприятным калийным потенциалом (2,0). Показатель энергетических затрат на реакции замещения обменного кальция ионами калия составлял -2728 кал., что тоже соответствовало оптимуму (по Вудроффу от -2500 до -3000 кал.).

Длительное использование в севобороте, насыщенном калиефильными культурами, калийдефицитных систем удобрения негативно отразилось на изучаемых термодинамических показателях. Калийный потенциал в вариантах "без удобрений" и "N₉₀₋₁₂₀" увеличился до 2,6 - 2,7, в варианте "N₉₀₋₁₂₀P₆₀K₆₀" - до 2,3. Энергозатраты реакций обмена тоже возросли с -2728 до -(3247 - 3585) кал. Все это указывает на усиление поглощения калия твердой фазой почвы и уменьшение способности десорбции ионов K⁺ в почвенный раствор.

Показатель потенциальной буферной способности почвы по отношению калия (ПБС^к) отражает возможность почвы противостоять

изменению калийного потенциала и степень участия в питании растений обменного калия. О его динамике можно судить по форме изотерм ПБС^к, отображённых на рисунках 3 - 6.

Как правило, значительная часть вторичных минералов илистой фракции дерново-подзолистых почв представлена гидрослюдами - носителями и "неспецифических", и "специфических" обменных позиций. Самый нижний, прямолинейный участок изотермы соответствует реакции обмена на "неспецифических" позициях (легкообменный калий - ΔK_0); следующий, криволинейный участок - реакции на "специфических" позициях (труднообменный калий - ΔK_X). Как видно, в начале опыта почва содержала 0,35 мМ/100 г легкообменного калия, или 165 мг/кг K_2O . Этот показатель лишь незначительно отличался от содержания легкорастворимого (водорастворимого) калия, установленного методом химического анализа по Дашевскому (188 мг/кг K_2O).

На долю легкообменного калия приходилось 80% общих запасов доступного калия (ΔKL), что, как и в варианте химического анализа, подтверждает высокую степень подвижности этого элемента в исследуемой почве.

Исходное содержание труднообменного калия "специфических" позиций было незначительным - 0,08 мМ/100 г, или 38 мг/кг K_2O . Соответственно, общее содержание доступного калия составляло 226 мг/кг, что, хотя и характеризует почву как высокообеспеченную им, но вдвое уступает показателю, установленному методом Кирсанова (471 мг/кг).

По сути, оба метода оценки калийного состояния почвы дают объективные характеристики, то есть характеризуют последнее как благоприятное для калийного питания растений. Это подтверждено и результатами опыта, выявившими низкую эффективность калийного удобрения.

Тем не менее, даже большие запасы доступного калия хорошо окультуренной почвы не безграничны. Факт деградации её калийного состояния в случае длительного невосполнения продуктивных и непродуктивных потерь калия подтверждён и с использованием метода Беккета. Ухудшение всех составляющих потенциальной буферной способности относительно калия происходило в основном в соответствии с дефицитом его баланса (максимальный в варианте " N₉₀₋₁₂₀"). Так, показатель ПБС^к увеличился на 24 - 44%, запас легкообменного калия уменьшился в 3,3 - 4,4, труднообменного - в 1,8 - 2,7, доступного - в 2,8 - 3,9 раза. Еще значительнее уменьшение равновесной активности ионов - в 3,9 - 5,8 раза.

Снижение общего содержания доступного (обменного) калия до 0,11 - 0,16 мМ/100 г (52 - 75 мг/кг K₂O) является, вероятно, следствием не только не возмещённых его потерь, но и сокращением возможностей пополнения за счёт необменной формы (выше указывалось на более чем двухкратное уменьшение содержания необменного калия к концу опыта).

Признавая решающее значение в трансформационных процессах баланса калия, тем не менее, нельзя упускать из виду весь комплекс воздействия системы удобрения на почву. Ведь калийное состояние зависит от физических свойств почвы и связанных с ними окислительно-восстановительных условий, её гумусированности, реакции среды, погоды и др. (Боул С. и др., 1977; Зайдельман Ф.Р., 1977; Слободницкая Г.В., 1991; Водяницкая Ю.Н., 2003; Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф., 2005). А многие из этих свойств, особенно агрохимические, за 21 год исследования претерпели существенные изменения (табл. 22).

Статистически достоверно не изменились только физические свойства почвы: гранулометрический состав и плотность сложения. Параметры последней в течение вегетационного периода изменялись существенно, но причиной тому была не система удобрения, а обработка почвы и погодные условия.

Хотя изучение зависимости калийного состояния почвы от её физических, физико-химических и химических свойств не входило в задачи исследования, можно предположить, что такие изменения, как подкисление, уменьшение ЕКО или дегумификация тоже играли определённую роль в процессах трансформации форм почвенного калия.

Таблица 22 - Изменение агрохимических свойств хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы за 1987 - 2007 гг.

Свойства, единицы измерения	Показатели по вариантам (над чертой - 1987 г., под чертой - 2007 г.)		
	Контроль-0	N ₉₀₋₁₂₀	N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀
Гумус, %	<u>2,70</u> 2,30	<u>2,68</u> 2,35	<u>2,60</u> 2,35
pH _{KCl}	<u>6,35</u> 5,69	<u>6,40</u> 5,56	<u>6,20</u> 5,56
Обменная кислотность, мМ/100г	<u>0,10</u> 0,16	<u>0,10</u> 0,18	<u>0,09</u> 0,17
Подвижный алюминий, мг/100 г	<u>0,3</u> 0,4	<u>0,3</u> 0,7	<u>0,4</u> 0,6
Гидролитическая кислотность, мМ/100 г	<u>1,82</u> 2,19	<u>1,85</u> 2,45	<u>2,00</u> 2,45
Сумма обменных оснований, мМ/100 г	<u>9,45</u> 6,85	<u>8,70</u> 6,25	<u>7,43</u> 6,50
Степень насыщенности основаниями, %	<u>84</u> 76	<u>83</u> 72	<u>79</u> 73
Азот легкогидролизуемый, мг/кг	<u>138</u> 58	<u>131</u> 121	<u>131</u> 125
P ₂ O ₅ по Кирсанову, мг/кг	<u>590</u> 530	<u>624</u> 516	<u>591</u> 554

2.4.2. Трансформация калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы на фоне разных типов калийдефицитной системы удобрения (опыт №2)

Объектом изучения служила та же, что и в опыте №1, легкосуглинистая остаточного-карбонатная почва, отличающаяся лишь рядом агрохимических свойств (табл. 7). В задачу исследования входила сравнительная оценка роли калия в составе минерального удобрения и навоза. Опыт менее продолжительный по времени (2002 – 2007 гг.) и выполнялся на базе плодосменного полевого севооборота с двумя полями клевера лугового. Навоз в этом севообороте вносился в дозе 40 т/га дважды за ротацию (под пропашные культуры), а минеральные распределялись согласно схеме опыта между пропашными и зерновыми культурами (табл. 14). Клевер выращивался по последствию органического или минеральных удобрений.

Как и в опыте №1, все варианты системы удобрения были дефицитными по калию: интенсивность баланса K_2O от 22% в варианте «NP экв. 40 т/га навоза + K_{90} » до 65% в вариантах «навоз, 40 т/га» и «NPK экв. 40 т/га навоза». В результате и деградация калийного состояния регистрировалась во всех вариантах опыта (табл. 23).

Таблица 23 – Трансформация калийного состояния хорошо окультуренной почвы в плодосменном севообороте

Вариант опыта	Баланс K_2O	Содержание форм калия, мг/кг (над чертой – в 2002 г., под чертой – в 2007 г.)			$\frac{K \text{ лег.р}}{K \text{ подв}}$
		легкораст- воримый	подвиж- ный	необмен- ный	
Контроль - 0	-636	<u>91</u>	<u>240</u>	<u>1210</u>	<u>0,38</u>
		62	162	1064	0,38
Навоз, 40 т/га	-276	<u>95</u>	<u>248</u>	<u>1022</u>	<u>0,38</u>
		68	185	967	0,37
NP экв. 40 т/га навоза + K_{90}	-636	<u>91</u>	<u>250</u>	<u>830</u>	<u>0,36</u>
		36	204	736	0,18
NP экв. 40 т/га навоза + K_{115}	-612	<u>78</u>	<u>215</u>	<u>785</u>	<u>0,36</u>
		40	188	742	0,21
NPK экв. 40 т/га навоза	-370	<u>78</u>	<u>180</u>	<u>720</u>	<u>0,43</u>
		52	162	703	0,32

При среднегодовом дефиците баланса K_2O от 46 до 106 кг/га (в опыте №1 – 122 – 173 кг/га) за ротацию севооборота содержание водорастворимого калия уменьшилось на 28 – 60, подвижного – на 10 – 32, необменного – на 2 – 11%, то есть, как и в опыте №1, в первое шестилетие почва утрачивала преимущественно легкодоступные формы почвенного калия (хотя в питании участвовал и необменный калий).

Среднее по вариантам опыта снижение содержания подвижного калия составило 44 мг/кг, или по 7,4 мг/кг за год. То есть темпы деградации этого показателя были вдвое медленнее, в сравнении с опытом №1 (12 – 17 мг/кг в год). Объясняется это, с одной стороны, меньшим дефицитом баланса калия, с другой, - и меньшей оторванностью калийного статуса этой почвы от существующего у целинного аналога (среднее содержание подвижного калия в почве опыта №1 – 456 мг/кг, №2 – 227 мг/кг. Уменьшение запасов подвижного калия на 10 мг/кг наблюдалось на фоне дефицита баланса K_2O 112 кг/га.

Поскольку теоретически возможная величина потерь подвижного калия пахотным слоем почвы (164 мг/кг) почти в четыре раза превосходила фактическую (44 мг/кг), можно и в данном случае говорить о первоначально высокой восстанавливающей способности калийной буферной системы почвы. А учитывая, что это превышение (120 мг/кг) не перекрывается убылью запасов необменного калия (в среднем 50 мг/кг), то и об участии в питании растений калия подпахотного слоя почвы. В первую очередь это касается такой культуры, как луговой клевер.

Характер процесса деградации мало зависел от типа системы удобрения. Можно лишь отметить большую долю потерь водорастворимых соединений калия на фоне минеральной системы удобрения. Несколько значимее были различия в исходном содержании, в первую очередь, необменного калия (вероятно, вследствие пространственной неоднородности моренных отложений). При исходном содержании K_2O более 1000 мг/кг

убыль необменной формы калия на 10 мг/кг наблюдалась на фоне дефицита баланса в 45 кг/га, а при содержании 720 – 830 мг/кг – 105 кг/га. Подобная закономерность отмечалась и белорусскими учёными (В.В. Лапа, В.Н. Босак, 2002).

2.4.3. Трансформация калийного состояния слабо- и хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы в овощном севообороте на фоне минеральной системы удобрения

Объектом изучения в условиях микрополевого опыта была среднесуглинистая дерново-подзолистая почва слабой и хорошей окультуренности (табл. 9). На ней в условиях искусственно созданного благоприятного и засушливого водного режима последовательно выращивались столовая свёкла, морковь, горохо-овсяная смесь и репа.

Овощные культуры с их углеводным типом обмена веществ отличались очень большим потреблением калия. Этому способствовала и повышенная густота стояния растений в условиях микрополевого опыта. Поэтому, несмотря на высокие дозы калийного удобрения, дефицит баланса калия регистрировался в большинстве вариантов опыта (табл. 24)

Максимальные параметры дефицита баланса (более 2 т в пересчёте на 1 га) были свойственны вариантам опыта на хорошо окультуренной почве с полевой влажностью в пределах 60 – 75% от полевой влагоёмкости. В засушливых условиях, вследствие значительного снижения урожайности, дефицит баланса калия уменьшался в среднем вдвое. На слабоокультуренной почве в условиях хорошего увлажнения дефицитными по калию оказались тоже все варианты системы удобрения, а в засушливых профицитным стал лишь вариант с дозой K_2O 270 кг/га (профицит за ротацию 168 кг/га).

С учётом больших различий в уровне дефицитности баланса калия установлено сильное изменение калийного состояния хорошо окультуренной

Таблица 24 - Трансформация калийного состояния дерново-подзолистой почвы в овощном севообороте

Вариант опыта	Влажность почвы	Слой почвы, см	Баланс K ₂ O, кг/га	Содержание форм калия, мг /кг (над чертой - в 1995 году, под чертой - в 1999 году)					$\frac{K \text{ подв.}}{K \text{ вал.}}$	$\frac{K \text{ легк.}}{K \text{ подв.}}$
				валовой	легкораст-воримый	подвиж-ный	необмен-ный	сили-катов		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Хорошо окультуренная почва										
N ₁₂₀ P ₉₀ - фон	60-75% НВ	0 - 24	-2840	<u>21770±760</u>	<u>57±6</u>	<u>516±27</u>	<u>1660±132</u>	<u>19594</u>	<u>0,024</u>	<u>0,11</u>
		24 - 50		<u>20850±530</u>	<u>14±1</u>	<u>99±6</u>	<u>1092±87</u>	<u>19659</u>	<u>0,005</u>	<u>0,14</u>
0 - 24		-2800	<u>21720±930</u>	<u>17±2</u>	<u>183±13</u>	<u>1157±64</u>	<u>20380</u>	<u>0,008</u>	<u>0,09</u>	
24 - 50			<u>21650±710</u>	<u>11±1</u>	<u>70±4</u>	<u>970±47</u>	<u>20660</u>	<u>0,003</u>	<u>0,16</u>	
Фон+K ₉₀		0 - 24	-2800	<u>22090±940</u>	<u>63±5</u>	<u>493±24</u>	<u>1845±141</u>	<u>19752</u>	<u>0,022</u>	<u>0,13</u>
		24 - 50		<u>21210±650</u>	<u>16±2</u>	<u>124±8</u>	<u>1214±101</u>	<u>19872</u>	<u>0,006</u>	<u>0,13</u>
Фон+K ₁₈₀	0 - 24	-2480	<u>21880±770</u>	<u>20±1</u>	<u>190±15</u>	<u>1170±76</u>	<u>20520</u>	<u>0,009</u>	<u>0,11</u>	
	24 - 50		<u>21680±670</u>	<u>15±1</u>	<u>76±5</u>	<u>974±59</u>	<u>20630</u>	<u>0,004</u>	<u>0,20</u>	
Фон+K ₁₈₀	0 - 24	-2480	<u>21060±790</u>	<u>55±3</u>	<u>511±30</u>	<u>1905±150</u>	<u>18644</u>	<u>0,024</u>	<u>0,11</u>	
	24 - 50		<u>20230±560</u>	<u>18±2</u>	<u>148±10</u>	<u>1537±122</u>	<u>18545</u>	<u>0,007</u>	<u>0,12</u>	
Фон+K ₂₇₀	0 - 24	-2168	<u>21660±920</u>	<u>18±1</u>	<u>187±14</u>	<u>1123±70</u>	<u>20350</u>	<u>0,009</u>	<u>0,10</u>	
	24 - 50		<u>21490±860</u>	<u>16±2</u>	<u>88±5</u>	<u>1002±59</u>	<u>20400</u>	<u>0,004</u>	<u>0,11</u>	
Фон+K ₂₇₀	0 - 24	-2168	<u>21430±800</u>	<u>54±4</u>	<u>558±32</u>	<u>1812±138</u>	<u>19060</u>	<u>0,026</u>	<u>0,10</u>	
	24 - 50		<u>20790±490</u>	<u>22±3</u>	<u>202±15</u>	<u>1650±128</u>	<u>18938</u>	<u>0,010</u>	<u>0,11</u>	
Фон+K ₂₇₀	0 - 24	-2168	<u>21660±910</u>	<u>17±2</u>	<u>189±14</u>	<u>1201±77</u>	<u>20270</u>	<u>0,009</u>	<u>0,09</u>	
	24 - 50		<u>21510±920</u>	<u>18±2</u>	<u>122±7</u>	<u>1108±75</u>	<u>20280</u>	<u>0,006</u>	<u>0,15</u>	

Продолжение таблицы 24

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	40-50% НВ	0 - 24	-1552	<u>20980±660</u>	<u>58±7</u>	<u>569±32</u>	<u>1900±156</u>	<u>19511</u>	<u>0,027</u>	<u>0,10</u>
				20380±610	30±2	195±15	1579±99	18606	0,010	0,15
24 - 50		<u>21470±890</u>		<u>20±2</u>	<u>191±15</u>	<u>1218±84</u>	<u>20061</u>	<u>0,009</u>	<u>0,10</u>	
		21180±820		16±1	76±5	864±49	20240	0,004	0,21	
Фон+K ₉₀		0 - 24	-1420	<u>21270±940</u>	<u>56±4</u>	<u>493±26</u>	<u>1964±160</u>	<u>19813</u>	<u>0,023</u>	<u>0,11</u>
				20440±630	33±2	201±17	1660±137	18576	0,010	0,16
24 - 50		<u>21600±980</u>		<u>19±1</u>	<u>180±14</u>	<u>1160±52</u>	<u>20260</u>	<u>0,008</u>	<u>0,11</u>	
		21210±850		18±1	107±7	1043±30	20060	0,005	0,17	
Фон+K ₁₈₀		0 - 24	-1104	<u>21640±900</u>	<u>64±7</u>	<u>573±27</u>	<u>1925±166</u>	<u>20178</u>	<u>0,025</u>	<u>0,12</u>
				21370±820	40±3	289±19	1704±140	19377	0,014	0,14
24 - 50	<u>21770±960</u>	<u>17±1</u>		<u>189±15</u>	<u>1181±77</u>	<u>20400</u>	<u>0,009</u>	<u>0,09</u>		
	21650±890	20±2		136±11	1124±52	20390	0,006	0,15		
Фон+K ₂₇₀	0 - 24	-868	<u>21890±980</u>	<u>61±8</u>	<u>523±27</u>	<u>1992±158</u>	<u>20475</u>	<u>0,024</u>	<u>0,12</u>	
			21700±970	43±4	308±19	1828±160	19564	0,014	0,14	
24 - 50	<u>21900±930</u>		<u>17±2</u>	<u>188±16</u>	<u>1992±75</u>	<u>20520</u>	<u>0,009</u>	<u>0,09</u>		
	21730±760		21±2	143±12	1167±75	20420	0,007	0,15		
Слабоокультуренная почва										
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	60-75% НВ	0 - 24	-948	<u>18450±580</u>	<u>13±2</u>	<u>93±6</u>	<u>1127±60</u>	<u>17230</u>	<u>0,005</u>	<u>0,14</u>
				17840±570	7±0	85±5	856±41	16890	0,005	0,08
24 - 50		<u>18660±630</u>		<u>5±0</u>	<u>67±2</u>	<u>613±42</u>	<u>17980</u>	<u>0,004</u>	<u>0,07</u>	
		18400±600		5±0	65±3	435±36	17900	0,004	0,08	
Фон+K ₉₀	0 - 24	-1000	<u>18510±700</u>	<u>12±1</u>	<u>85±7</u>	<u>1194±79</u>	<u>17231</u>	<u>0,005</u>	<u>0,14</u>	
			17960±350	7±1	88±8	891±50	16981	0,005	0,08	

Продолжение таблицы 24

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фон+К ₁₈₀	60- 75% НВ	24 - 50	-1120	<u>18700±640</u>	<u>7±1</u>	<u>64±2</u>	<u>606±46</u>	<u>18030</u>	<u>0,003</u>	<u>0,11</u>
				18190±540	6±0	52±2	428±30	17710	0,003	0,12
		0 - 24		<u>18720±510</u>	<u>13±1</u>	<u>80±6</u>	<u>1175±78</u>	<u>17465</u>	<u>0,004</u>	<u>0,16</u>
				17830±370	7±1	95±7	874±50	16861	0,005	0,07
24 - 50	<u>18470±550</u>	<u>6±0</u>	<u>69±3</u>	<u>621±45</u>	<u>17780</u>	<u>0,004</u>	<u>0,09</u>			
	18060±620	7±0	76±3	457±33	17527	0,004	0,09			
Фон+К ₂₇₀	НВ	0 - 24	-768	<u>18140±620</u>	<u>12±2</u>	<u>82±4</u>	<u>1074±75</u>	<u>16984</u>	<u>0,004</u>	<u>0,15</u>
				17840±520	9±1	100±8	902±76	16838	0,006	0,09
		24 - 50		<u>18270±700</u>	<u>4±0</u>	<u>68±3</u>	<u>622±55</u>	<u>17580</u>	<u>0,004</u>	<u>0,06</u>
				18160±490	5±0	70±4	550±48	17540	0,004	0,07
N ₁₂₀ P ₉₀ - фон	40- 50% НВ	0 - 24	-564	<u>17990±430</u>	<u>13±1</u>	<u>94±6</u>	<u>1049±80</u>	<u>16847</u>	<u>0,005</u>	<u>0,14</u>
				17820±480	10±1	76±5	813±70	16931	0,004	0,13
		24 - 50		<u>18270±700</u>	<u>4±0</u>	<u>68±3</u>	<u>622±55</u>	<u>17580</u>	<u>0,004</u>	<u>0,06</u>
				18160±490	5±0	70±4	550±48	17540	0,004	0,07
Фон+К ₉₀	НВ	0 - 24	-420	<u>18050±730</u>	<u>12±2</u>	<u>95±7</u>	<u>984±78</u>	<u>16917</u>	<u>0,005</u>	<u>0,13</u>
				17890±720	10±3	107±7	965±66	16818	0,006	0,09
		24 - 50		<u>18330±590</u>	<u>6±1</u>	<u>66±4</u>	<u>614±56</u>	<u>17650</u>	<u>0,004</u>	<u>0,09</u>
				18350±650	7±0	76±4	464±38	17810	0,004	0,09
Фон+К ₁₈₀	НВ	0 - 24	-288	<u>18450±740</u>	<u>12±1</u>	<u>96±8</u>	<u>1005±80</u>	<u>17349</u>	<u>0,005</u>	<u>0,13</u>
				18400±660	12±2	140±9	985±73	17275	0,008	0,09
		24 - 50		<u>18610±710</u>	<u>5±0</u>	<u>66±3</u>	<u>614±46</u>	<u>17930</u>	<u>0,004</u>	<u>0,08</u>
				18580±480	7±1	82±3	498±36	18000	0,004	0,09

Продолжение таблицы 24

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фон+К ₂₇₀		0 - 24	168	<u>18420±690</u>	<u>13±2</u>	<u>138±8</u>	<u>1134±80</u>	<u>17148</u>	<u>0,007</u>	<u>0,09</u>
				18400±750	16±3	165±9	1145±69	17090	0,009	0,09
		24 - 50		<u>18650±760</u>	<u>7±0</u>	<u>65±2</u>	<u>605±51</u>	<u>17980</u>	<u>0,004</u>	<u>0,11</u>
				18710±710	9±1	136±9	614±52	17960	0,007	0,07

почвы и умеренное – слабоокультуренной. На фоне благоприятного водного режима хорошо окультуренной почвы содержание легкорастворимого калия в пределах пахотного слоя уменьшилось в 2,5 – 4 раза, подвижного – в 2,8 – 5,2 раза; в условиях постоянного недостатка влаги – в 1,6 – 1,9 и 2 – 2,9 раза соответственно. У слабоокультуренной почвы уменьшение содержания водорастворимых соединений калия (в 1,3 – 1,9 раза) наблюдалось только в вариантах с влажностью почвы 60 – 75% НВ, то есть при получении удовлетворительных урожаев овощных культур. Содержание же подвижного калия имело тенденцию к повышению во всех вариантах с калийным удобрением (на 3 – 44 мг/кг), даже при отрицательном балансе этого элемента. По-видимому, имело место усиление мобилизации калия из необменных форм под влиянием высоких доз физиологически кислых минеральных удобрений. Поскольку подобной закономерности во всех опытах на хорошо окультуренной почве не наблюдалось, вполне вероятно, что и многочисленные литературные сообщения о повышении содержания обменного калия при отрицательном балансе K_2O в системе удобрения (Прокошев В.В., 1985; Бабарина Э.А. и др., 1990, 1991; Якименко В.Н., 1995; Сычёв В.Г., 2000; Мёрзлая Г.Е. и др., 2002) относятся лишь к какой-то конкретной ситуации, а не в целом к дерново-подзолистым почвам.

Деградиционный процесс затронул и необменную форму почвенного калия: у хорошо окультуренной почвы уменьшение содержания имело место во всех вариантах опыта (на 9 – 34%), а у слабоокультуренной – при благоприятном водном режиме (в засушливых условиях потеря обменного калия наблюдалась только в варианте « $N_{120}P_{90}$ »).

По причине непродолжительности периода наблюдений статистически достоверных изменений валового содержания калия у обеих почв не обнаружено. Такая закономерность отмечалась и в более ранних исследованиях (Пчёлкин В.У., 1966; Никитин Б.А., 1970; Поддубный Н.Н., 1973; Коротков А.А. и др., 1990; Переверзев В.Н., Иваненко Н.К., 1995).

Катастрофическое уменьшение запасов обменного калия при неизменном содержании валового привело к значительному снижению степени подвижности этого элемента в хорошо окультуренной почве: на фоне $N_{120}P_{90}$ в 2,7 – 4,8, на фоне полного удобрения – в 1,7 – 3,4 раза. У слабоокультуренной почвы, в первую очередь в условиях недостатка влаги, на фоне НРК относительная доля подвижных соединений даже увеличивалась.

Столовые корнеплоды, тем более выращиваемые в сосудах, частично удовлетворяли потребность в калии за счёт подпахотного слоя почвы. Поэтому в опыте и в пределах последнего наблюдалась трансформация форм почвенного калия. Как и в пахотном слое, в нём наиболее сильно деградировало калийное состояние хорошо окультуренной почвы в условиях благоприятного водного режима: содержание водорастворимого калия уменьшилось в 1,3 – 1,5 раза, подвижного – в 1,5 – 2,6 раза, необменного – на 8 – 17%, степень подвижности – в 1,5 – 2,7 раза. В условиях почвенной засухи ухудшение калийного статуса почвы также имело место, хотя и в меньших размерах. В частности, уменьшение содержания водорастворимых соединений (в 1,3 раза) отмечалось только в варианте « $N_{120}P_{90}$ ». При внесении K_{90-270} существенных изменений не наблюдалось. Снижение содержания подвижного калия было почти таким же, как и при влажности почвы 60 – 75% НВ (в 1,3 – 2,5 раза). Содержание необменного калия уменьшилось только в вариантах « $N_{120}P_{90}$ » и « $N_{120}P_{90}K_{90}$ ». Некоторое замедление деградационного процесса в засушливых условиях можно объяснить меньшими продуктивными и, вероятно, непродуктивными потерями.

В подпахотном слое слабоокультуренной почвы изменения в показателях калийного состояния регистрировались в основном лишь в вариантах с очень высокими дозами калийного удобрения на фоне почвенной засухи.

Таким образом, в овощных севооборотах на дерново-подзолистых почвах положительный баланс калия сложно обеспечить внесением даже высоких доз калийных удобрений (требуется дополнение другими источниками калия, очевидно, предпочтительно органическими удобрениями). Дефицит же баланса калия, особенно при использовании поливов, ведёт к быстрой деградации калийного состояния почвы. В пахотном слое типичной для овощных севооборотов хорошо окультуренной среднесуглинистой почвы снижение содержания подвижного калия на 10 мг/кг происходило при невозмещённом выносе K_2O в 68 кг/га (благоприятный водный режим) и 44 кг/га (засушливый режим). То есть деградация шла значительно быстрее, чем в полевых севооборотах, где снижение содержания на 10 мг/кг соответствовало дефициту калия от 101 до 112 кг/га. Снижение содержания подвижного K_2O на 10 мг/кг в пределах подпахотного слоя почвы было следствием дефицита баланса в 268 кг/га (благоприятные условия увлажнения) и 183 кг/га (засушливые условия). При таких темпах деградации полный отказ от калийсодержащих удобрений на высокообеспеченных калием почвах ведёт последние к переходу в группу среднеобеспеченных всего за 2 – 4 года. К аналогичному выводу по результатам многолетнего опыта ВНИИОХ пришёл и В.А. Борисов (2013).

При меньших абсолютных потерях почвой подвижного калия в условиях почвенной засухи, связанных преимущественно с уменьшением выноса урожаем, в расчёте на единицу дефицита баланса K_2O они возрастали наполовину. Это может служить косвенным подтверждением усиления в таких условиях необменной фиксации калия почвы и удобрения.

2.4.4. Трансформация калийного состояния среднекультуренной дерново-подзолистой почвы в полевом севообороте на фоне минеральной системы удобрения

Объектом изучения в полевом опыте на опытном поле «Майкино» Великолукской ГСХА была супесчаная дерново-подзолистая почва, сформировавшаяся на песчаных водноледниковых отложениях. То есть уже по происхождению она уступала ранее проанализированным объектам по показателям калийного статуса (табл. 7, 9, 11).

В опыте, выполняемом на базе звена полевого севооборота, выращивались культуры, сильно отличающиеся выносом калия урожаями. У ячменя и льна-долгунца он был невысоким (20 - 48 кг/га), у кормовой свёклы - в разы большим (55 - 270 кг/га).

Непродолжительный срок наблюдений (1998 - 2000 гг.) и сравнительно небольшой среднегодовой вынос K_2O (84 кг/га) - основные причины несущественности изменений в калийном состоянии исходно среднеобеспеченной калием среднекультуренной дерново-подзолистой почвы (табл. 25). Последние почти по всем вариантам системы удобрения и изучаемым показателям калийного состояния почвы были статистически недостоверными. Более устойчивая тенденция на позитивные изменения наблюдались лишь в варианте с профицитным балансом калия (при ежегодном внесении 120 кг/га K_2O).

Полученная в опыте информация служит дополнительным подтверждением того, что изучение трансформационных процессов в калийном состоянии почвы должна базироваться на многолетних стационарных исследованиях.

Таблица 25 - Трансформация калийного состояния среднекультуренной дерново-подзолистой почвы в звене полевого севооборота

Вариант опыта	Баланс К ₂ O, кг/га	Содержание форм калия, мг/кг (над чертой - в 1998 г, под чертой - в 2000 г.)					Кподв. Квал.	Клегк. Кподв.
		валовой	легкораство- римый	подвиж- ный	необмен- ный	силикатов		
Контроль-0	-113	<u>16900±440</u>	<u>20±2</u>	<u>98±6</u>	<u>452±31</u>	<u>16350</u>	<u>0,006</u>	<u>0,20</u>
		17200±490	16±1	90±5	480±33	16630	0,005	0,18
N ₆₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	-112	<u>17200±470</u>	<u>27±4</u>	<u>108±7</u>	<u>422±29</u>	<u>16670</u>	<u>0,006</u>	<u>0,25</u>
		16800±450	25±3	118±8	422±28	16260	0,007	0,21
N ₆₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	-46	<u>18000±520</u>	<u>25±4</u>	<u>113±8</u>	<u>397±26</u>	<u>17490</u>	<u>0,006</u>	<u>0,22</u>
		17800±450	26±3	121±9	409±29	17270	0,007	0,21
N ₆₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	92	<u>18400±530</u>	<u>20±2</u>	<u>113±7</u>	<u>477±32</u>	<u>17810</u>	<u>0,006</u>	<u>0,18</u>
		17800±500	26±3	122±8	508±30	17170	0,007	0,21

Заключение к главе 2

Калийное состояние дерново-подзолистых почв Северо-Западного района РФ находится в одинаково сильной зависимости от генезиса и от интенсивности антропогенного воздействия.

Валовое содержание калия в суглинистых дерново-подзолистых почвах - объектах сравнительно - генетического исследования, было в полтора раза выше в сравнении с песчаными почвами на рыхлых песках. А по содержанию обменного калия они различались в 3,8 раза. Такая же закономерность наблюдалась и у почв - объектов исследования в полевых опытах.

Профильное распределение общих запасов калия относительно равномерное, особенно в сравнении с запасами фосфора и азота. У суглинистых разновидностей валовое содержание этого элемента в направлении от гумусового горизонта к материнской породе увеличивалось с 1,96 до 2,06%, а у песчаных - уменьшалось с 1,34 до 1,04%.

Окультуривание дерново-подзолистых почв сопровождается трансформацией всех форм почвенного калия, включая и его валовое содержание. В пахотном горизонте хорошо окультуренных почв последнее было выше на 9% в сравнении с гумусовым горизонтом целинных и на 11% относительно пахотных горизонтов слабоокультуренных аналогов.

Целинные дерново-подзолистые почвы характеризовались низкой (0,3%) степенью подвижности калия, которая по мере окультуривания увеличивалась, достигая на стадии хорошей окультуренности 1,4%. В соответствии с этим в разы возрастало содержание легкорастворимого и обменного калия. У хорошо окультуренной почвы положительная динамика подвижных соединений почвенного калия распространялась и на подпахотные горизонты на глубину до 80 см. Указанная закономерность подтверждена и данными агрохимической службы района. За 20 лет умеренной химизации земледелия средневзвешенный показатель содержания

подвижного калия в пахотных почвах увеличился на 29 мг/кг. Но при этом затраты "остаточного" калия удобрений на такое увеличение многократно превысили нормативные. Среди причин роста затрат - большие потери удобрений на пути "завод - поле", завышенная оценка содержания калия в органических удобрениях и внесение высоких доз калия на хорошо обеспеченных этим элементом почвах.

Несколько сложнее оценить роль окультуривания в трансформации обменной формы калия, поскольку содержание последней определялось в большей степени химическим составом материнских пород, который у ледниковых отложений не отличается пространственной и вертикальной однородностью.

Переход земледелия с начала 90-х годов прошлого века на калийдефицитные системы удобрения стал причиной массовой деградации калийного состояния пахотных дерново-подзолистых почв района. Так, в Псковской области, вносящей последние 20 лет по 8 кг K_2O на 1 га пашни, средневзвешенное содержание подвижного калия уменьшилось на 35 - 40 мг/кг и в 2010 году стало таким же, как и полвека назад.

Хотя фактические потери подвижного калия почвой подпахотного слоя вследствие использования калийдефицитных систем удобрения кратно меньше расчётных величин из-за участия в питании растений обменного калия и калия подпахотного горизонта, тем не менее их нельзя считать экологически безопасными.

Наибольшей скоростью деградационного процесса характеризовались хорошо окультуренные почвы, калийное состояние которых сильно отличается от генетически обусловленного. Такая почва на фоне минеральных систем удобрения, не восполняющих потери калия, утрачивала в среднем за год по 12 мг/кг подвижного K_2O в полевом севообороте и по 83 мг/кг - в овощном. Снижение содержания подвижного калия на 10 мг/кг происходило при не возмещении продуктивных потерь K_2O в 101 кг/га в

полевым севообороте и 58 кг/га - в овощном. Деградационный процесс затронул и необменную форму калия, а в 21-летнем опыте имело место снижение на 7 - 8% и валового содержания.

По мере уменьшения содержания в почве подвижного калия скорость деградационного процесса замедлялась, а у слабообеспеченной калием почвы на фоне высоких доз минеральных удобрений отмечено даже некоторое увеличение содержания подвижного калия и при отрицательном балансе.

Потеря почвой разных форм калия происходит не синхронно. Вначале она утрачивала в основном более подвижные соединения, а на определённом этапе наступала ускоренная потеря необменного калия. Внесение азотного удобрения значительно ускоряло деградационный процесс.

В условиях почвенной засухи абсолютные потери почвой доступного растениям калия снижались из-за уменьшения выноса его урожаями, но в расчёте на единицу дефицита баланса K_2O они возрастали в полтора раза, что может указывать на усиление необменной фиксации калия почвы и удобрения.

Многолетний дефицит калия в системах удобрения стал причиной ухудшения не только ёмкостных характеристик калийного состояния исходно хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы, но и показателей его интенсивности. Калийный потенциал почвы увеличился на 15 - 35%, потенциальная буферная способность в отношении калия - на 24 - 44%, содержание легкообменного калия уменьшилось в 3,3 - 4,4 раза, равновесная активность ионов - в 3,9 - 5,8 раза.

ГЛАВА 3. АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ

Производство качественной, доступной по цене сельскохозяйственной продукции - не решённая пока проблема, в том числе и экологическая. От степени успешности её решения во многом зависят здоровье и продолжительность жизни человека. А научно обоснованное применение удобрений - важная предпосылка этому. В свою очередь, научное обоснование предполагает использование удобрений при строгом учёте почвенно-агрохимических условий.

Роль калия в жизни растений столь же велика, как и других биогенных микроэлементов. Хотя он и не входит в состав белков, жиров и углеводов, но функционирование растительной клетки без его участия невозможно. Это касается и процесса фотосинтеза, и ферментативной активности, и уровня обводнённости коллоидов протоплазмы. Недостаток калия быстро сказывается на развитии растений и ведёт к снижению урожайности и, в большинстве случаев, к ухудшению качества продукции. О его значении для сельскохозяйственных растений можно судить по соотношению N:P₂O₅:K₂O в их выносе:

- зерновые (в среднем) - 1:0,4:0,9;
- картофель - 1:0,3:1,4;
- лён-долгунец - 1:0,4:1,1;
- кормовые корнеплоды - 1:0,4:1,1;
- капуста белокочанная - 1:0,3:1,3.

Тем не менее, согласно многочисленным данным, по агрономической эффективности (окупаемости 1 кг д.в.) калийные удобрения уступают не только азотным, но и фосфорным (Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф., 1977; Державин Л.М., 1987; Небольсин А.Н. и др., 1997; Лапа В.В. и др., 2003,

2006; Сиротенко О.Д. и др., 2009; Романенков В.А. и др., 2012; Сычёв В.Г., Шафран С.А., 2012; Самсонова Н.Е. и др., 2014). В этом кроется одна из причин почти полного прекращения использования калийных удобрений, в том числе и на Северо-Западе РФ (Шафран С.А., Янишевский Ф.В., 1998; Прокошев В.В., 2004; Якименко В.Н., 2006). Хотя значительно большее значение имеет диспаритет цен на удобрения и продукцию земледелия (в 70 - 80-е годы XX века при цене 1 т калийных удобрений от 7 до 11 рублей по объёмам применения им принадлежало первое место). В главе 2 было показано какими негативными последствиями (в том числе и экономическими) обернётся это для будущих поколений землепользователей.

Конечно, сельхозпроизводитель не может быть незаинтересованным в прямой окупаемости удобрений урожаем, которая зависит от многих условий. Одной из задач нашего исследования и было установление таких взаимозависимостей. Хотя учёные-агрохимики убеждены в не меньшем значении калийных удобрений для поддержания почвенных запасов "активных" форм калия (Державин Л.М., 1987; Иоселев Л.Г., 1991; Никитишен В.И., 1996; Иванов А.И., 2000; Воробьёв В.А. и др., 2006; 2007; Иванов А.И. и др., 2010). В проведённых во Франции и Голландии опытах было установлено, что урожайность многих сельскохозяйственных культур зависит от них больше, чем от "свежевнесённого" калия удобрений. Английский учёный Д.У. Кук (1970) тоже предупреждал о недопустимости снижения содержания доступного калия в почве, поскольку это может не компенсироваться внесением даже высоких доз калийных удобрений. Фермеры Западной Европы, в основном, придерживаются этих рекомендаций, о чём свидетельствует покупка ими почти всех производимых в России калийных удобрений. Хотя и там, в условиях общества, нацеленного на получение максимальной прибыли, калийных удобрений вносят в разы меньше, чем азотных и фосфорных (Носов В.В., 2013).

Ниже анализируются данные четырёх полевых опытов, характеризующие зависимость агрономической эффективности калийсодержащих удобрений от калийного состояния почвы, биологических особенностей сельскохозяйственных культур и других внешних условий.

3.1. Агрономическая эффективность калийного удобрения в полевом зернопропашном севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве

Полевой опыт №1 проводился в 1987 - 2007 гг. на базе зернопропашного севооборота "картофель ранний - рожь озимая - свёкла кормовая - овёс - кукуруза - ячмень". На момент закладки опыта дерново-подзолистая легкосуглинистая почва содержала 2,3% валового, 188 мг/кг водорастворимого, 456 мг/кг подвижного и 1739 мг/кг необменного калия. Калийное удобрение (все годы хлористый калий), как и другие виды удобрений, вносились под зерновые перед культивацией, под пропашные - перед весенней перепахкой зяби (под озимую рожь часть дозы азота вносилось в весеннюю подкормку).

Результаты многолетнего опыта убедительно подтверждают высокий потенциал эффективного плодородия хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы. В варианте "без удобрений" среднегодовая за 1987 - 2007 гг. продуктивность севооборота составила 5,5 т/га зерновых единиц (табл. 26).

В то же время распространённое мнение о благоприятности погодных условий региона для проявления действия удобрений, а поэтому и стабильности урожаев оказалось относительным. За 21 год исследования урожайность картофеля в лучшем варианте колебалась от 21,1 до 28,4 т/га, озимой ржи - от 3,35 до 5,71, кормовой свёклы - от 30,5 до 89,9, овса - от 2,05

до 4,01, зелёной массы кукурузы - от 38,8 до 45,3, ячменя - от 3,59 до 5,69 т/га.

Агрономическая эффективность всех вариантов минеральной системы была очень высокой - прибавка продуктивности севооборота - 36 - 45%,

Таблица 26 - Агрономическая эффективность минеральных систем удобрения в зернопропашном севообороте на хорошо окультуренной почве

Вариант системы удобрения	Среднегодовое внесение, кг/га			Продуктивность севооборота			Оплата 1 кг д.в., з.е.
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	средне-годовая, т/га з.е.	прибавка		
					т/га з.е.	%	
Без удобрений	0	0	0	5,5	-	-	-
N ₉₀₋₁₂₀	114	0	0	7,7	2,2	40	19,3
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀	114	60	0	7,5	2,0	36	11,5
N ₉₀₋₁₂₀ K ₆₀	114	0	60	7,7	2,2	40	12,6
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	114	60	60	8,0	2,5	45	10,7
НСР ₀₅				0,8			

оплата 1 кг д.в. удобрений от 10,7 до 19,3 зерновых единиц. Но эффект обеспечивался почти нацело только азотным удобрением. В условиях очень высокого содержания не только подвижного, но и водорастворимого калия, прибавки урожайности от калийного удобрения были нестабильными и не на всех культурах. Подобную закономерность, выявленную в исследованиях на серой лесной почве, В.И. Никитишен (1994) объяснял мобилизацией почвенных запасов калия за счёт улучшения питания растений азотом и фосфором.

Низкую эффективность калийного удобрения можно было спрогнозировать и по данным мониторинга питательного режима почвы как по состоянию на начало вегетационного периода, так и в течение последнего. За 21 год наблюдений лишь в двух случаях содержание в почве минерального азота по состоянию на 1 мая находилось в оптимальных параметрах, имея при этом тенденцию на снижение по мере ухудшения гумусного статуса почвы (рис.7). Вероятной причиной такого положения служат неблагоприятные гидротермические условия почти каждого весеннего периода, не благоприятствующие процессу минерализации гумуса.

Внесение N_{90-120} обеспечивало стабильное улучшение азотного состояния почвы, особенно в первой половине вегетационного периода. В результате в вариантах с азотным удобрением и зерновые, и пропашные культуры формировали мощный ассимиляционный аппарат как основу высокого урожая (табл. 27).

Таблица 27 - Влияние системы удобрения на фотосинтетический потенциал культур севооборота (в среднем за годы опытов) (Лямцева Е.Г., 2008)

Вариант опыта	Фотосинтетический потенциал, млн. м ² /га в сутки					
	картофель	рожь	свёкла кормовая	овёс	кукуруза	ячмень
Без удобрений	0,39	0,75	1,60	1,91	0,38	1,27
N_{90-120}	0,80	1,88	1,95	3,31	0,74	2,18
$N_{90-120}K_{60}$	0,73	1,90	2,09	3,02	0,78	2,27
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	0,90	1,63	2,08	3,16	0,81	2,24

В отличие от азота, содержание подвижного калия хотя и снижалось с годами вследствие невосполнения (или частичного восполнения) его продуктивных и непродуктивных потерь, тем не менее, продолжало

оставаться высоким и к концу исследования. Свойственная соединениям этого элемента сезонная динамика тоже не создавала критических (как у азота) ситуаций - содержание и подвижного, и легкорастворимого калия не выходило из пределов оптимальных параметров (рис. 8). На фоне высокого содержания всех форм почвенного калия внесение 60 кг/га K_2O ощутимого влияния на анализируемые показатели не оказывало.

Но, само по себе высокое содержание в почве доступного растениям калия нельзя считать единственной причиной низкой агрономической эффективности калийного удобрения. Ведь в выносе питательных элементов культурами зернопропашного севооборота калию принадлежало первое место, а дефицит баланса был большим, чем у азота и фосфора. Чтобы обеспечить такой вынос в отсутствие положительного действия калийного удобрения необходимо, как минимум, два условия: во-первых, увеличение коэффициента использования калия почвы, во-вторых, - избыточное накопление этого элемента в растительной продукции без положительного действия на высоту урожая. Всё это имело место в условиях опыта (табл. 28).

Таблица 28 - Использование калия почвы и удобрения культурами зернопропашного севооборота в среднем за годы исследования

Вариант опыта	Среднегодовой вынос K_2O , кг/га	Баланс K_2O , кг/га	Коэффициент использования K_2O , %	
			почвы	удобрения
Контроль-0	126	-126	15	-
N_{90-120}	173	-173	22	-
$N_{90-120}P_{60}$	171	-171	23	-
$N_{90-120}K_{60}$	190	-130	21	29
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	182	-122	23	19

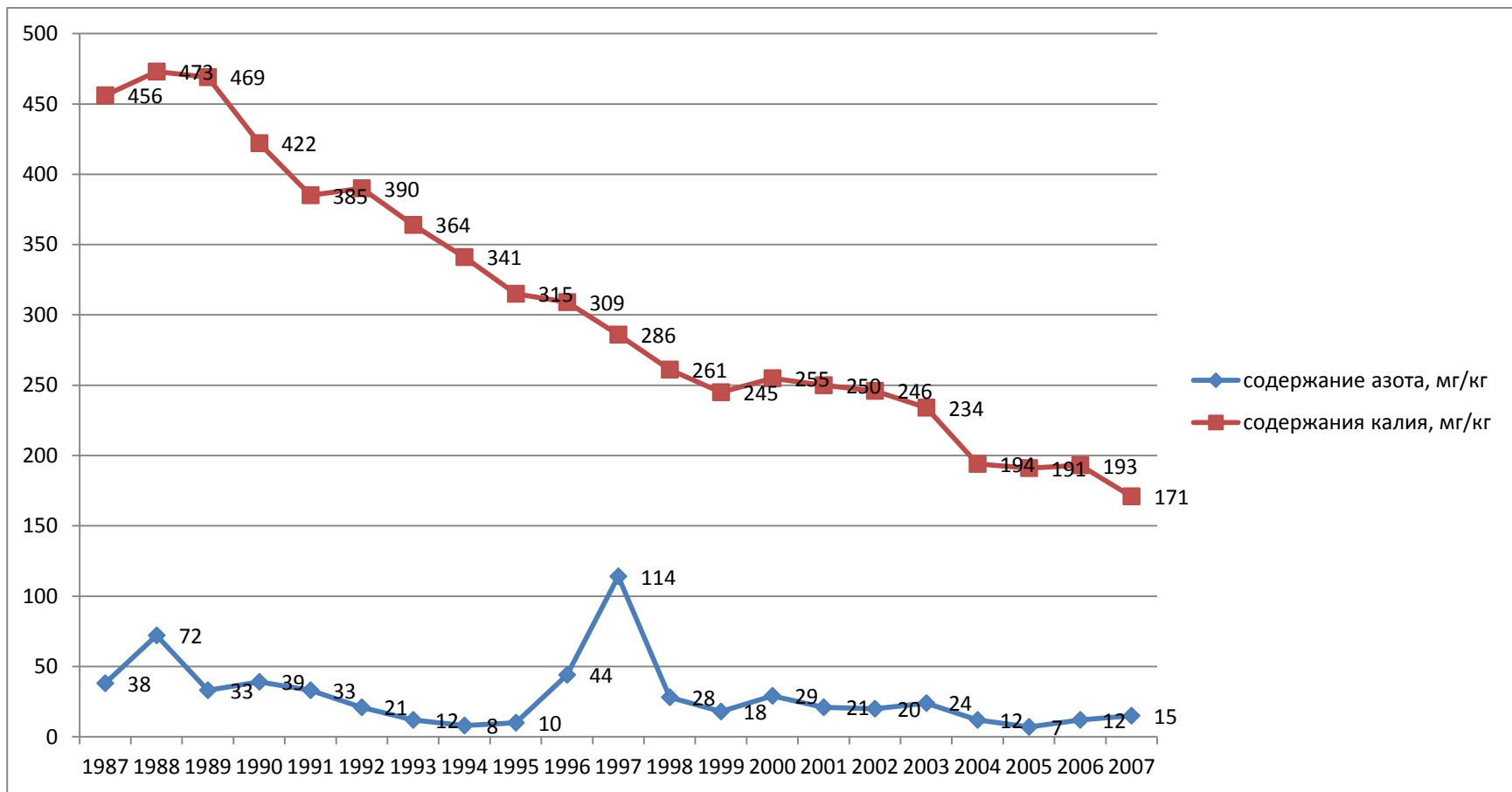


Рисунок 7 – Динамика подвижных соединений азота и калия в хорошо окультуренной почве по состоянию на 1 мая (среднее по всем вариантам опыта)

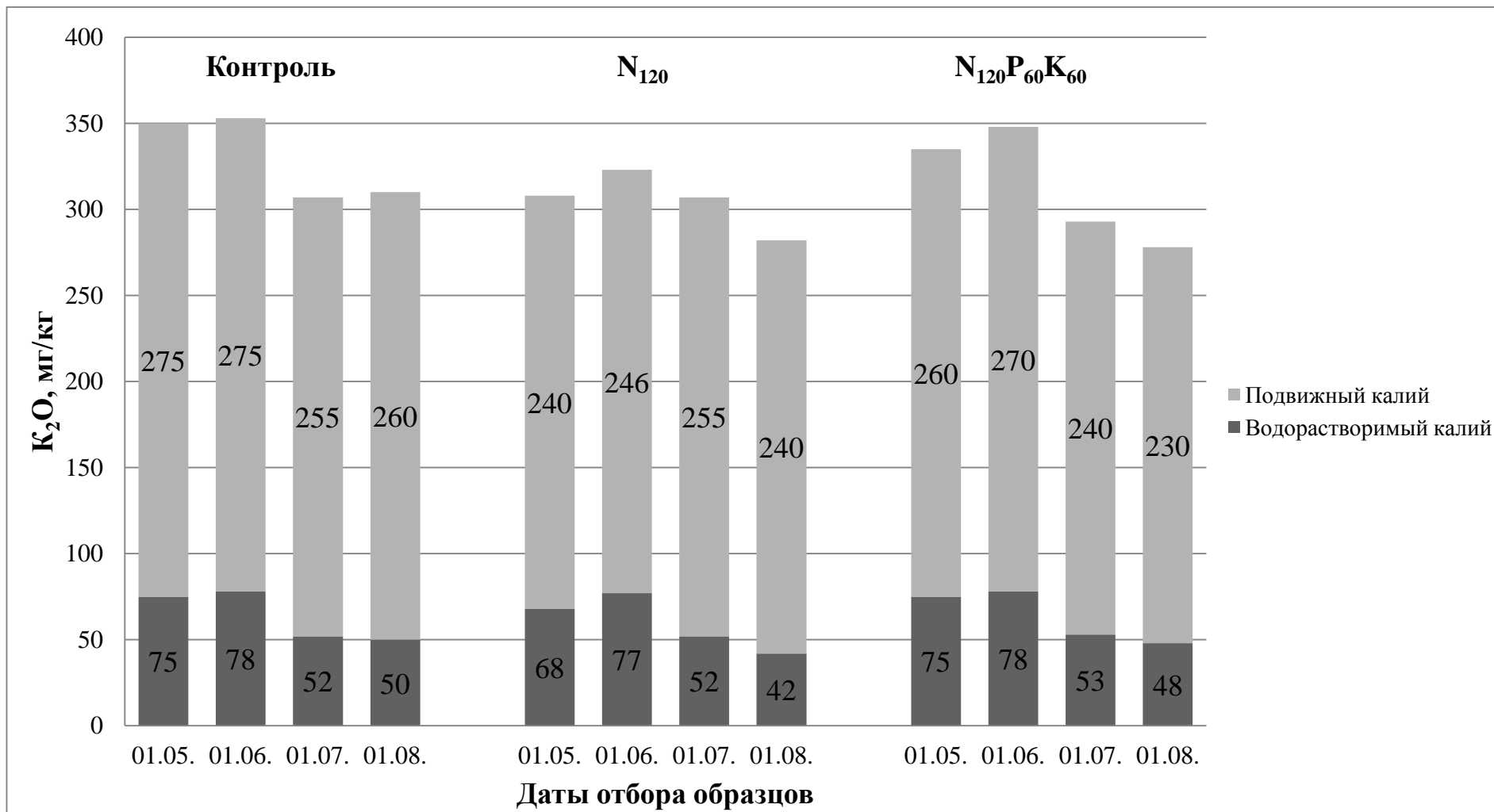


Рисунок 8 – Сезонная динамика доступных форм калия (среднее за 1998-2000 годы)

Поскольку половину севооборотной площади занимали калиефильные пропашные культуры, по всем вариантам системы удобрения складывался отрицательный баланс калия. В этих условиях азотное удобрение в средней дозе 114 кг/га увеличивало продуктивность севооборота на 40%, а вынос калия - на 37%. Такое увеличение выноса компенсировалось повышением в полтора раза коэффициента использования калия почвы, а полученная в этом варианте опыта продукция характеризовалась в целом незначительной (относительно контрольного варианта) обеднённостью калием. В вариантах " N₉₀₋₁₂₀K₆₀" и " N₉₀₋₁₂₀P₆₀K₆₀" продуктивность севооборота повысилась на 42,5%, а вынос калия - на 48%, что указывает на некоторое обогащение продукции калием. Увеличение выноса K₂O в среднем на 60 кг/га обеспечивалось в этих вариантах на 77% за счёт мобилизации почвенных запасов и только на 23% за счёт хлористого калия. Малый коэффициент использования последнего (24%) можно объяснить очень высоким содержанием в почве легкоподвижных соединений калия, особенно в первой половине периода исследования.

В агрохимической науке достаточно широко распространено мнение о постепенном со временем возрастании эффективности калия удобрений (Кук Д.У., 1970; Прокошев В.В., 1984; Никитишен В.И., 1990; Якименко В.Н., 2006). В определённой степени, его справедливость подтверждается и данными нашего длительного опыта (табл. 29).

В первую ротацию севооборота (1987 - 1992 гг.) ни одна из шести сельскохозяйственных культур на внесение K₆₀ не реагировала. В этот период содержание подвижного калия в почве находилось в диапазоне 459 - 390 мг/кг, водорастворимого - 195 - 140 мг/кг.

Во вторую ротацию (1993 - 1998 гг.) статистически достоверные прибавки урожайности были получены на посевах кукурузы и ячменя, что обеспечило среднее по ротации повышение продуктивности севооборота на

Таблица 29 - Изменение агрономической эффективности систем удобрения за три с половиной ротации зернопропашного севооборота

Вариант системы удобрения	Продуктивность среднегодовая, т/га з.е. по ротациям				Прибавка от удобрений, %							
					всего по ротациям				в т.ч. от калия по ротациям			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Без удобрений	6,4	4,8	6,0	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-
N ₉₀₋₁₂₀	9,0	6,4	8,0	7,7	41	33	33	54	-	-	-	-
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀	8,8	6,4	8,3	8,2	38	33	38	64	-	-	-	-
N ₉₀₋₁₂₀ K ₆₀	9,0	6,3	8,6	9,1	41	38	43	82	0	5	10	28
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	8,8	6,6	8,7	9,4	38	38	45	88	0	5	7	24

5%. За это время среднее по вариантам содержание подвижного калия снизилось до 270 мг/кг, водорастворимого - до 51 мг/кг. Не исключено, что некоторому повышению отдачи от калийного удобрения в конце второй ротации способствовали и погодные условия. В 1997 году май и июнь были избыточно влажными, а июль и август (период интенсивного потребления калия кукурузой) - сухими. По мнению В.У. Пчёлкина (1966), В.В. Прокошева (1993, 2000) и В.Н. Якименко (1994, 2000), в условиях почвенной засухи роль калия удобрений существенно возрастает. В 1998 году засуха пришлась на первую половину лета, то есть опять же на период основного усвоения калия ячменём. К тому же, июль и август были дождливыми и это могло стать причиной вымывания калия из листьев растений (Tukey H.V. e.a., 1958; Майборода Н.М., 1971; Никитишен В.И., 2002, 2004).

Во время третьей ротации севооборота (1999 - 2004 гг.) содержание подвижного калия снизилось до 203 мг/кг, водорастворимого - до 43 мг/кг. В

этой ротации уже три культуры (кормовая свёкла, овёс и кормовая брюква) положительно реагировали на внесение K_{60} , обеспечив повышение общей продуктивности севооборота на 7 - 10%.

В первой половине четвёртой ротации (2005 - 2007 гг.) содержание подвижного калия в почве уменьшилось до 175 мг/кг, легкорастворимого - до 27 мг/кг. И хотя эти показатели ещё продолжали соответствовать параметрам высокообеспеченных калием, возделываемые в 2006 - 2007 гг. озимая рожь и кормовая свёкла (картофель в 2005 году погиб от вымокания) существенно повысили урожайность и в варианте " $N_{90-120}K_{60}$ " (на 30 и 26% относительно варианта " N_{90-120} "), и в варианте " $N_{90-120}P_{60}K_{60}$ " (на 23 и 24% относительно варианта " $N_{90-120}P_{60}$ "). Конечно, отнести столь значительное повышение эффективности калийного удобрения на 20 - 21 году исследования только на истощённость легкодоступных для растений соединений почвенного калия оснований недостаточно. Определённое значение могли иметь погодные условия и биологические особенности сельскохозяйственных культур. О значении последних можно судить по обобщённым в таблице 30 данным.

Все шесть культур севооборота положительно реагировали на внесение 90 - 120 кг/га азота в форме аммиачной селитры, повышая урожайность на 21 - 44%. Естественно, что пропашные культуры с их значительно большим выносом азота обеспечивали и более высокие прибавки урожайности - в среднем 36% (зерновые - 22%).

Если судить по средним показателям урожайности за 21 год опыта, то можно говорить о крайне слабой отзывчивости всех культур на калийное удобрение - средняя по вариантам " $N_{90-120}K_{60}$ " и " $N_{90-120}P_{60}K_{60}$ " прибавка

урожая от них составила 4% (у пропашных - 6%). Вполне логично, что при этом основная часть потребляемого растениями калия приходилась на калий почвы. Пропашные культуры использовали запасы подвижные калия в пахотном слое почвы на 19% в варианте без удобрений и на 29% - в вариантах с удобрениями, зерновые соответственно на 7 и 11%. То есть на

Таблица 30 - Влияние минеральных систем удобрения на урожайность сельскохозяйственных культур и потребление ими калия в зернопропашном севообороте

Вариант системы удобрения	Среднегодовая урожайность, т/га	Прибавка урожая, %		Коэффициент использования K_2O , %	
		всего	в т.ч. от калия	почвы	удобрения
1	2	3	4	5	6
Картофель ранний					
Без удобрений	19,1	-	-	16	-
N_{90-120}	24,8	30	-	23	-
$N_{90-120}P_{60}$	24,9	30	-	21	-
$N_{90-120}K_{60}$	24,8	30	0	21	18
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	23,9	25	-5	20	15
НСР ₀₅	3,0				
Рожь озимая					
Без удобрений	3,57	-	-	8	-
N_{90-120}	4,64	30	-	12	-
$N_{90-120}P_{60}$	4,66	31	-	14	-
$N_{90-120}K_{60}$	4,76	33	3	13	26
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	4,72	32	1	12	14
НСР ₀₅	0,8				
Свёкла столовая					
Без удобрений	41,6	-	-	26	-
N_{90-120}	55,4	33	-	40	-
$N_{90-120}P_{60}$	54,2	30	-	40	-
$N_{90-120}K_{60}$	58,5	41	8	41	68
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	59,3	43	13	39	79
НСР ₀₅	9,4				

Продолжение таблицы 30

1	2	3	4	5	6
Овёс					
Без удобрений	3,10	-	-	8	-
N ₉₀₋₁₂₀	3,89	25	-	12	-
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀	4,00	29	-	12	-
N ₉₀₋₁₂₀ K ₆₀	4,02	30	5	12	11
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	4,06	31	2	12	2
НСР ₀₅	0,40				
Кукуруза (с третьей ротации кормовая брюква)					
Без удобрений	29,1	-	-	14	-
N ₉₀₋₁₂₀	42,0	44	-	23	-
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀	42,8	47	-	29	-
N ₉₀₋₁₂₀ K ₆₀	44,9	54	10	24	66
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	44,8	54	7	28	23
НСР ₀₅	5,0				
Ячмень					
Без удобрений	3,62	-	-	6	-
N ₉₀₋₁₂₀	4,38	21	-	8	-
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀	4,41	22	-	8	-
N ₉₀₋₁₂₀ K ₆₀	4,55	26	5	8	14
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	4,51	25	3	8	9
НСР ₀₅	0,30				

фоне повышенной дозы азота все культуры севооборота увеличивали потребление калия почвы на 53 - 57%.

Калий удобрения покрывал незначительную часть выноса элемента урожаями, а рассчитанные балансовым методом коэффициенты его использования были удовлетворительными лишь для посевов кормовой

свёклы и кукурузы (в среднем 59%). У картофеля и зерновых культур они находились в диапазоне от 2 до 26%.

Таким образом, главными причинами низкой эффективности калийного удобрения в стационарном полевом опыте №1 стало высокое содержание в почве доступных растениям форм калия и внесение повышенных доз азота, обеспечивающих мобилизацию ресурсов почвенного калия.

3.2. Агронимическая эффективность калия удобрений в полевом плодосменном севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве

Полевой опыт №2 проводился одну ротацию плодосменного севооборота (2002 - 2007 гг.) на хорошо окультуренной легкосуглинистой дерново-подзолистой почве, которая на момент закладки опыта содержала 2,2% валового, 87 мг/кг водорастворимого, 227 мг/кг подвижного и 913 мг/кг необменного калия.

Принципиальное методическое отличие его от опыта №1 заключалось введением в схему опыта варианта органической (навозной) системы удобрения и оптимизация азотного режима почвы, в значительной мере, двухлетним возделыванием клевера лугового.

Навоз в дозе 40 т/га вносился дважды за ротацию (под пропашные культуры), минеральные удобрения распределялись между пропашными и зерновыми культурами по схеме, показанной в таблице 14. Клевер выращивался по последствию удобрений.

Хотя, как и в опыте №1, в анализируемом эксперименте использовалась ресурсосберегающая система удобрения с дефицитностью баланса не только калия, но и азота, среднегодовая продуктивность

севооборота была достаточно высокой (до 5,5 т/га з.е. по основной продукции) (табл. 31).

Введение в севооборот двух полей клевера способствовало существенному улучшению азотного состояния почвы. За 6 лет исследования среднее по вариантам опыта содержание легкогидролизуемого азота повысилось с 68 до 88 мг/кг, а минерального (в среднем за вегетационный период) - с 25 до 38 мг/кг. А поскольку, как показано данными опыта №1, на хорошо окультуренной почве основной эффект обеспечивается азотным удобрением, окупаемость 1 кг действующего вещества по всем вариантам

Таблица 31 - Агрономическая эффективность систем удобрения в плодосменном севообороте на хорошо окультуренной почве

Вариант системы удобрения	Среднегодовое внесение, кг/га			Продуктивность севооборота			Оплата 1 кг д.в., з.е.
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	средне-годовая, т/га з.е.	прибавка		
					т/га з.е.	%	
Без удобрений	0	0	0	4,4	-	-	-
Навоз, 40 т/га	67	53	93	5,3	0,9	20	4,2
NP _{эКВ.} 40 т/га навоза+K ₉₀	67	53	30	5,5	1,1	25	7,3
NP _{эКВ.} 40 т/га навоза+K ₁₁₅	67	53	38	5,5	1,1	25	7,0
НРК _{эКВ.} 40 т/га навоза	67	53	98	5,5	1,1	25	5,2
НСР ₀₅				0,4			

системы удобрения была невысокой - в среднем 5,9 з.е. (в опыте №1 - 13,5 з.е.) (табл. 26).

Вероятно, по той же причине, то есть главенствующей для окультуренных дерново-подзолистых почв роли азота, органическая система

удобрения уступала по агрономической эффективности минеральной (разница в оплате 1 кг д.в. - 24%). Азот навоза, вносимого дважды за ротацию, остальными культурами севооборота использовался в последствии, в то время как в вариантах минеральной системы удобрения эквивалентная доза азота распределялась между четырьмя культурами.

Схема опыта №2 не позволяет вычленить действие каждого питательного элемента (в том числе и калия), входящего в состав навоза. Зато есть возможность оценить целесообразность повышения доз калийного удобрения от средних до очень высоких (вариант 3 - 5 опыта). Как видно из данных таблицы 31, увеличение дозы K_2O с 90 (вариант 3) до 140 кг/га (вариант 5), или в среднегодовом исчислении с 30 до 93 кг/га было абсолютно не эффективным. Поскольку исследование в опытах №№1 - 2 велось на близких по свойствам почвах, слабая реакция сельскохозяйственных культур на калий удобрений, вероятно, объясняется, по преимуществу, ранее отмеченными причинами.

Однако принципиальное различие заключается в том, что в опыте №1 мобилизация почвенных запасов калия обеспечивалась улучшением азотного питания растений за счёт внесения повышенной дозы азотного удобрения, а в опыте №2 больше за счёт симбиотической фиксации азота посевами клевера лугового (среднегодовая доза азота удобрений - 67 кг/га). А поскольку этот фактор для вариантов без удобрений и с удобрениями был практически равноценен, в опыте №2 не наблюдалось отмеченной ранее зависимости коэффициент использования подвижного калия почвы от системы удобрения (табл. 32). Нивелированию этого показателя по вариантам опыта могло способствовать и потребление клевером значительного количества калия из подпахотного горизонта, учитывая особенности его корневой системы. А на долю клевера приходилась треть общего выноса калия за ротацию.

Таблица 32 - Использование калия почвы и удобрений культурами
плодосменного севооборота

Вариант опыта	Среднегодо- вой вынос K ₂ O, кг/га	Баланс K ₂ O, кг/га	Коэффициент использования K ₂ O, %	
			почвы	удобрений
Контроль-0	106	-106	15	-
Навоз, 40 т/га	142	-45	15	39
NP _{эКВ.} 40 т/га навоза+K ₉₀	136	-106	14	100
NP _{эКВ.} 40т/га навоза+K ₁₁₅	140	-102	16	89
NPК _{эКВ.} 40 т/га навоза	143	-50	20	40

Прослеживается и ещё одно отличие полученной в анализируемом опыте информации. Средняя прибавка продуктивности от удобрений составила в нём 24%, а увеличение выноса калия - 39%. То есть имело место значительное обогащение продукции калием. При этом повышение выноса почти нацело обеспечивалось за счёт калия удобрений. Балансовый коэффициент его использования увеличивался с 39 - 40% при среднегодовой дозе K₂O 93 кг/га до 89 - 100% при дозах 38 и 30 кг/га. Поскольку в прямом действии коэффициенты использования не имели принципиальных отличий от показателей опыта №1 (табл. 33), можно предположить, что высокие величины в целом по ротации объясняются хорошим потреблением остаточного калия удобрений последующими культурами.

При в целом за ротацию меньшей эффективности органической системы удобрения (на 24% по оплате 1 кг д.в.), картофель на неё реагировал лучше. Хотя в данном случае могло иметь значение и другое обстоятельство: в отличие от второй пропашной культуры, кормовой свёклы, он открывал ротацию севооборота и поэтому на его развитие последствие клевера никакого влияния оказать не могло.

Таблица 33 - Влияние систем удобрения на урожайность сельскохозяйственных культур и потребление ими калия в плодосменном севообороте

Вариант системы удобрения	Средне-годовая урожайность, т/га	Прибавка урожая, %		Коэффициент использования K_2O , %	
		всего	в т.ч. от калия	почвы	удобрения
1	2	3	4	5	6
Картофель					
Без удобрений	29,7	-	-	36	-
Навоз, 40 т/га	38,6	30	не опр.	35	44
NP _{экв.} 40т/га навоза+K ₉₀	35,5	20	не опр.	35	61
NP _{экв.} 40т/га навоза+K ₁₁₅	33,2	12	не опр.	40	43
НРК _{экв.} 40 т/га навоза	32,9	11	не опр.	48	43
НСР ₀₅	2,9				
Ячмень					
Без удобрений	2,81	-	-	6	-
Навоз, 40 т/га	3,07	9	не опр.	6	последнее действие
NP _{экв.} 40т/га навоза+K ₉₀	3,38	20	не опр.	6	последнее действие
NP _{экв.} 40т/га навоза+K ₁₁₅	3,46	23	не опр.	7	последнее действие
НРК _{экв.} 40 т/га навоза	3,46	23	не опр.	7	9
НСР ₀₅	0,18				
Клевер (зелёная масса)					
Без удобрений	31,0	-	-	16	-
Навоз, 40 т/га	35,7	15	не опр.	15	последнее действие
NP _{экв.} 40т/га навоза+K ₉₀	36,3	17	не опр.	15	последнее действие

Продолжение таблицы 33

1	2	3	4	5	6
NP _{ЭКВ.} 40т/га навоза+K ₁₁₅	37,2	20	не опр.	17	послед- действие
НРК _{ЭКВ.} 40 т/га навоза	38,0	23	не опр.	17	послед- действие
НСР ₀₅	1,3				
Свёкла кормовая					
Без удобрений	16,5	-	-	13	-
Навоз, 40 т/га	22,7	38	не опр.	11	16
NP _{ЭКВ.} 40т/га навоза+K ₉₀	23,8	44	не опр.	11	48
NP _{ЭКВ.} 40т/га навоза+K ₁₁₅	24,1	46	не опр.	12	43
НРК _{ЭКВ.} 40 т/га навоза	24,9	51	не опр.	15	38
НСР ₀₅	1,5				
Овёс					
Без удобрений	2,43	-	-	6	-
Навоз, 40 т/га	2,51	3	не опр.	6	послед- действие
NP _{ЭКВ.} 40т/га навоза+K ₉₀	3,46	42	не опр.	5	послед- действие
NP _{ЭКВ.} 40т/га навоза+K ₁₁₅	3,51	44	не опр.	6	послед- действие
НРК _{ЭКВ.} 40 т/га навоза	3,49	44	не опр.	8	16
НСР ₀₅	0,17				

Преимущество минеральной системы удобрения (варианты 3 - 5) особенно отчётливо проявлялось на второй после внесения навоза культуре, под которую непосредственно вносилось 50% эквивалентной содержащейся в 40 тоннах навоза дозы азота (табл. 14).

На фоне кратного снижения оплаты урожаем действующего вещества удобрений вследствие введения в севооборот двух полей клевера

уменьшились и различия в реакции на удобрения пропашных и зерновых культур. В среднем по изучаемым вариантам системы удобрения прибавки урожайности у пропашных культур составили 32%, у зерновых 26%. Хотя коэффициент использования подвижного калия почвы зерновыми культурами (6,3%) был в 4 раза меньше, чем пропашными (25,6%).

Сравнительная оценка данных двух опытов, выполненных на близких по свойствам хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах, показывает, что при очень высоких запасах в почве доступных растениям соединений калия агрономическая эффективность как средних, так и высоких разовых доз калийсодержащих удобрений в условиях полевых севооборотов низкая. В целях ресурсосбережения мобилизация почвенных запасов калия может быть достигнута за счёт улучшения азотного состояния почвы либо внесением повышенных доз азотного удобрения, либо введением в севооборот культур - азотфиксаторов.

3.3. Агрономическая эффективность калийного удобрения в овощном севообороте на слабо- и хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве

Данные полевых опытов №№1-2 подтвердили обоснованность широко распространённого в науке мнения о невысокой агрономической эффективности калийных удобрений на хорошо окультуренных высокообеспеченных подвижным калием почвах (Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф., 1977; Прудников В.А., Шкель М.П., 1989; Иванов И.А., Иванов А.И., 1991; Небольсин А.Н. и др., 1991, 1997; Белоус Н.М., 1996, 1997; Белоус Н.М. и др., 2002; Воробьёв В.А., 2015; Воробьёв В.А., Гаврилова Г.В., 2015; 2016).

В тоже время существуют данные о сохранении высокой эффективности калия и на окультуренных почвах при возделывании 1

сельскохозяйственных культур с углеводным типом обмена веществ (Manfred M., Ulrich E., 1985; Nege U., 1986; Якименко В.Н., 1991; Борисов В.А., 1994; 1998; 2001; 2011; 2012; Иванов А.И., 2000). К таким культурам относятся большинство овощных культур, причём, последние могут выращиваться как в естественных условиях, так и с использованием искусственного орошения, а это может существенно изменять их реакцию на калий удобрений (Пчёлкин В.У., 1966; Черкасова Л.П., 1985; Прокошев В.В., 1993, 2000; Якименко В.Н., 1994, 2000; Иванов А.И., 2000).

Методической основой для решения задач по оценке эффективности калийного удобрения в овощном севообороте в зависимости от окультуренности почвы и её водного режима стал микрополевой опыт, выполненный в 1995 - 1998 гг. В опыте использовались хорошо- и слабоокультуренная дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы. Первая содержала в пахотном слое 2,1% валового, 59 мг/кг водорастворимого, 525 мг/кг подвижного и 1875 мг/кг необменного калия, вторая соответственно 1,8% и 13, 95, 1093 мг/кг. Программой исследования было предусмотрено искусственное регулирование двух уровней водного режима: благоприятного - с полевой влажностью почвы в пределах 60 - 75% НВ и засушливого - 40 - 50% НВ. Кроме почвы, объектами изучения были культуры звена овощного севооборота " свёкла столовая - морковь - гороховая смесь на зелёный корм - репа".

Среди изучаемых факторов более значимым по действию на урожайность культур севооборота и эффективность калийного удобрения стала степень окультуренности почвы и, как следствие её, обеспеченность подвижным калием (табл. 34).

Урожайность овощных культур на хорошо окультуренной почве была в 2 - 4 раза выше, чем на слабоокультуренной (Иванов А.И., 2000; Воробьёв В.А., 2001). Относительные же прибавки урожайности от калийного

удобрения, наоборот, на слабоокультуренной бедной калием почве значительно превышали показатели соответствующих вариантов на хорошо окультуренной (у столовой свёклы - 31 - 57, моркови - 60 - 133, репы - 100 - 325% против 11 - 29, 9 - 17 и 11 - 20%). Отсюда и оплата 1 кг K_2O на слабоокультуренной почве была в 1,7 раза выше.

Удовлетворительная окупаемость калийного удобрения и на хорошо окультуренной почве объясняется очень большим выносом калия столовыми корнеплодами (до 120 г/м²). В свою очередь, такой вынос связан не только с высотой урожая, но и с повышенной концентрацией калия в продукции (до 6% K_2O от массы сухого вещества).

Оптимизация водного режима обеих почв способствовала существенному увеличению урожайности всех культур севооборота, но особенно моркови и репы. Вопреки распространённым представлениям, возрастания роли калийного удобрения в условиях почвенной засухи не наблюдалось. Как и другие виды удобрений, калийные при недостатке влаги снижали абсолютные прибавки урожайности, а значит и оплату действующего вещества: с 11 - 21 до 6 - 15 з.е./кг K_2O на хорошо окультуренной и с 21 - 37 до 9 - 17 з.е./кг K_2O - на слабоокультуренной почве. Хотя в относительных показателях в ряде случаев они и возрастали (у свёклы и моркови на слабоокультуренной почве). К подобному выводу пришли в своё время Н.М. Майборода (1971) и Н.С. Сокарев (1996).

Улучшение водного режима почвы стало важным фактором для эффективного использования высоких доз калийного удобрения, что особенно важно для овощных культур, вынос калия многими из которых исчисляется несколькими сотнями кг/га. Как видно из данных таблицы 34, в засушливых условиях даже на бедной подвижным калием слабоокультуренной почве повышение дозы K_2O сверх 90 кг/га оказалось не оправданным.

Таблица 34 - Влияние калийного удобрения на урожайность культур овощного севооборота в зависимости от окультуренности почвы и водного режима

Вариант системы удобрения (фактор В)	Влажность почвы (фактор Б)	Урожай, кг/сосуд							Прибавка урожая основной продукции, %				Оплата 1 кг К ₂ O, з.е.
		свёкла		морковь		горох-овёс	репа		свёкла	морковь	горох-овёс	репа	
		корни	ботва	корни	ботва	зелёная масса	корни	ботва					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Хорошо окультуренная почва (фактор А)													
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	60-75% НВ	2,8	1,4	2,4	1,0	0,71	1,5	1,2	-	-	-	-	-
Фон+K ₉₀		3,1	1,6	2,7	1,0	0,76	1,8	1,1	11	13	7	20	21
Фон+K ₁₈₀		3,6	1,9	2,8	1,0	0,79	1,7	0,8	29	17	11	11	14
Фон+K ₂₇₀		3,6	1,9	2,8	1,1	0,83	1,8	1,1	29	17	17	20	11
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	40-50% НВ	2,2	1,0	1,1	0,3	0,54	0,6	0,9	-	-	-	-	-
Фон+K ₉₀		2,6	1,3	1,2	0,3	0,63	0,7	0,8	18	9	17	12	15
Фон+K ₁₈₀		2,6	1,3	1,3	0,3	0,59	0,7	0,8	18	18	9	12	8
Фон+K ₂₇₀		2,6	1,3	1,4	0,3	0,59	0,7	0,9	18	27	9	12	6
Слабоокультуренная почва (фактор А)													
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	60-75% НВ	1,3	0,7	1,0	0,7	0,37	0,4	0,8	-	-	-	-	-
Фон+K ₉₀		1,7	1,0	1,6	0,7	0,47	0,9	1,0	31	60	27	125	37
Фон+K ₁₈₀		1,8	1,1	2,2	0,7	0,61	1,7	1,3	38	120	65	325	34
Фон+K ₂₇₀		1,7	1,1	2,3	0,8	0,62	1,7	1,3	31	130	68	325	21
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	40-50% НВ	0,7	0,4	0,3	0,05	0,10	0,2	0,7	-	-	-	-	-
Фон+K ₉₀		1,0	0,6	0,6	0,1	0,17	0,4	0,6	43	100	70	100	17
Фон+K ₁₈₀		1,0	0,7	0,7	0,1	0,18	0,5	0,9	43	133	80	150	11

Продолжение таблицы 34

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Фон+К ₂₇₀		1,1	0,7	0,7	0,2	0,22	0,5	0,8	57	133	120	150	9
НСР ₀₅	факторА	0,16		0,07		0,10	0,08						
	факторБ	0,16		0,07		0,10	0,08						
	факторВ	0,22		0,08		0,14	0,12						

Вынос калия культурами овощного севооборота и его усвоение из почвы и удобрения тоже определялись комплексом условий (табл. 35).

Таблица 35 - Вынос и коэффициенты использования калия почвы и удобрения овощными культурами в зависимости от окультуренности и водного режима почвы

Доза удобрения	Влажность почвы	Вынос K_2O , г/м ²			Коэффициент использования K_2O , %			
		свёкла	мор-ковь	репа	почвы (средне-годовой)	удобрения		
						свё-кла	мор-ковь	ре-па
Хорошо окультуренная почва								
$N_{120}P_{60}$ -фон	60-75%	96	96	78	77	-	-	-
Фон+ K_{90}	НВ	110	105	85	76	156	100	78
Фон+ K_{180}		123	104	76	72	150	44	0
Фон+ K_{270}		144	107	88	62	67	41	37
$N_{120}P_{60}$ -фон		40-50%	70	29	47	30	-	-
Фон+ K_{90}	НВ	90	30	46	31	222	11	0
Фон+ K_{180}		87	35	48	25	94	33	6
Фон+ K_{270}		92	38	53	26	81	33	22
Слабоокультуренная почва								
$N_{120}P_{60}$ -фон	60-75%	37	25	25	61	-	-	-
Фон+ K_{90}	НВ	50	35	40	55	144	111	167
Фон+ K_{180}		55	48	68	56	100	128	239
Фон+ K_{270}		50	50	73	54	48	93	178
$N_{120}P_{60}$ -фон		40-50%	22	4	28	36	-	-
Фон+ K_{90}	НВ	34	9	31	33	133	56	33
Фон+ K_{180}		40	12	45	28	100	44	94
Фон+ K_{270}		37	12	38	29	56	30	37

Здесь вновь решающее значение имел уровень окультуренности почвы и обеспеченности её подвижными формами калия. В среднем по опыту годовое продуктивное потребление K_2O составляло 77 г/м^2 на хорошо окультуренной и 36 г/м^2 - на слабоокультуренной почве. Вероятно, в силу высокой требовательности овощных культур к условиям произрастания, низкое содержание подвижного калия в слабоокультуренной почве не стало основанием для более интенсивного усвоения ими почвенных запасов этого элемента. Столовые корнеплоды использовали в среднем за сезон 50% подвижного калия пахотного слоя хорошо окультуренной и 44% - слабоокультуренной почвы. Столь большие коэффициенты использования почвенных запасов калия не могут не свидетельствовать о существенном участии в питании растений необменной формы калия, равно как и калия подпахотного горизонта. На такую возможность указывалось в работах А.В. Петербургского (1960), В.В. Тюлина (1971), В.И. Кобзаренко (1983).

Хотя изучаемые культуры не одинаково реагировали на степень окультуренности почвы, в целом калий удобрения лучше усваивался на бедной этим элементом слабоокультуренной почве - в среднем по столовым корнеплодам на 100% (на хорошо окультуренной - на 65%).

Не менее существенно влиял на потребление калия и водный режим почвы. При стабильно благоприятном уровне полевой влажности почвы вынос калия увеличивался (относительно засушливых условий) в 1,8 раза, коэффициент использования калия почвы - в 2, удобрения - в 1,7 раза. То есть, улучшение водного питания растений вело к значительной интенсификации потребления питательных веществ, что невозможно без ускорения трансформационных процессов соответствующих почвенных соединений.

К числу основных факторов эффективности калийного удобрения относились и биологические особенности овощных культур. По размерам выноса калия и интенсивности его потребления из удобрения первое место

принадлежало столовой свёкле. У нее средний по вариантам опыта вынос K_2O составил 69 г/м², коэффициент (балансовый) использования калия удобрения - 113%. Столовая морковь в условиях благоприятного водного режима по выносу калия почти не уступала свёкле. Но она сильнее других культур страдала от недостатка влаги, снижая в таких условиях потребление калия в 3 - 6 раз.

Наконец, коэффициент использования калия удобрения зависел от доз последнего, хотя, вследствие большого выноса элемента урожаями овощных культур, и не столь значительно, как в полевых севооборотах. В среднем по столовым корнеплодам от составлял: при дозе K_2O 90 кг/га - 102%, при дозе 180 кг/га - 88%, при дозе 270 кг/га - 60%.

Сравнивая данные опытов в полевых и в овощном севооборотах можно констатировать, что, хотя везде эффективность калийного удобрения зависела от окультуренности почвы, тем не менее, в отличие от полевых культур, столовые корнеплоды способны окупать эти удобрения и на хорошо окультуренной высокообеспеченной подвижным калием почве. Такого же мнения придерживаются и учёные ВНИИОХ (Борисов В.А. и др., 2013), рекомендующие внесение на высокообеспеченных калием почвах $K_{150-200}$ под столовые корнеплоды и $K_{250-300}$ - под капусту.

Окупаемость калийного удобрения может быть существенно повышена оптимизацией водного режима почвы за счёт поливов. Положительная же роль калия в преодолении последствий почвенной засухи в условиях опыта не подтвердилась.

3.4. Агрономическая эффективность калийного удобрения в полевом севообороте на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве

В настоящем разделе анализируются данные полевого опыта в звене севооборота "ячмень - свёкла кормовая - лён-долгунец", выполненного в

1998-2000 гг. на дерново-слабоподзолистой супесчаной среднеокультуренной почве. Последняя на момент закладки опыта содержала 1,7% валового, 23 мг/кг водорастворимого, 108 мг/кг подвижного и 437 мг/кг необменного калия, то есть кратно меньше, чем хорошо окультуренные почвы ранее проанализированных опытов.

Поскольку лён-долгунец отрицательно реагирует на высокие дозы азотного удобрения, в качестве общего фона под него вносилось $N_{60}P_{60}$ (под остальные культуры - $N_{120}P_{60}$). На этом фоне изучалась эффективность средней, повышенной и высокой дозы калийного удобрения.

Наблюдение за сезонной динамикой доступных для растений форм калия позволяло выявить ряд закономерностей. В варианте "без удобрений" содержание подвижного и легкорастворимого калия характеризовалось стабильностью в течение всего вегетационного периода, незначительно снижаясь лишь в августе - сентябре (рис. 9). Причиной снижения могло быть потребление калия растениями, а с учётом лёгкого гранулометрического состава почвы, и вымывание осадками за пределы пахотного слоя. В остальных вариантах опыта внесённое под предпосевную обработку почвы калийное удобрение быстро вступало во взаимодействие с последней. Уже через пять дней после внесения регистрировалось повышение содержания водорастворимого (по Дашевскому) калия на 25 - 28%, а через две недели - на 40 - 60%. К этому времени достигало пика и содержание подвижного калия, увеличиваясь по отношению к весеннему периоду на 11%. С конца мая по сентябрь происходило постепенное уменьшение содержания и водорастворимого, и подвижного калия. Подобный характер сезонной динамики подвижных форм калия наблюдался и другими исследователями (Кярблане Х.А., Ярвела В.В., 1986; Рылушкин В.И., Крышковец П.Я., 1989).

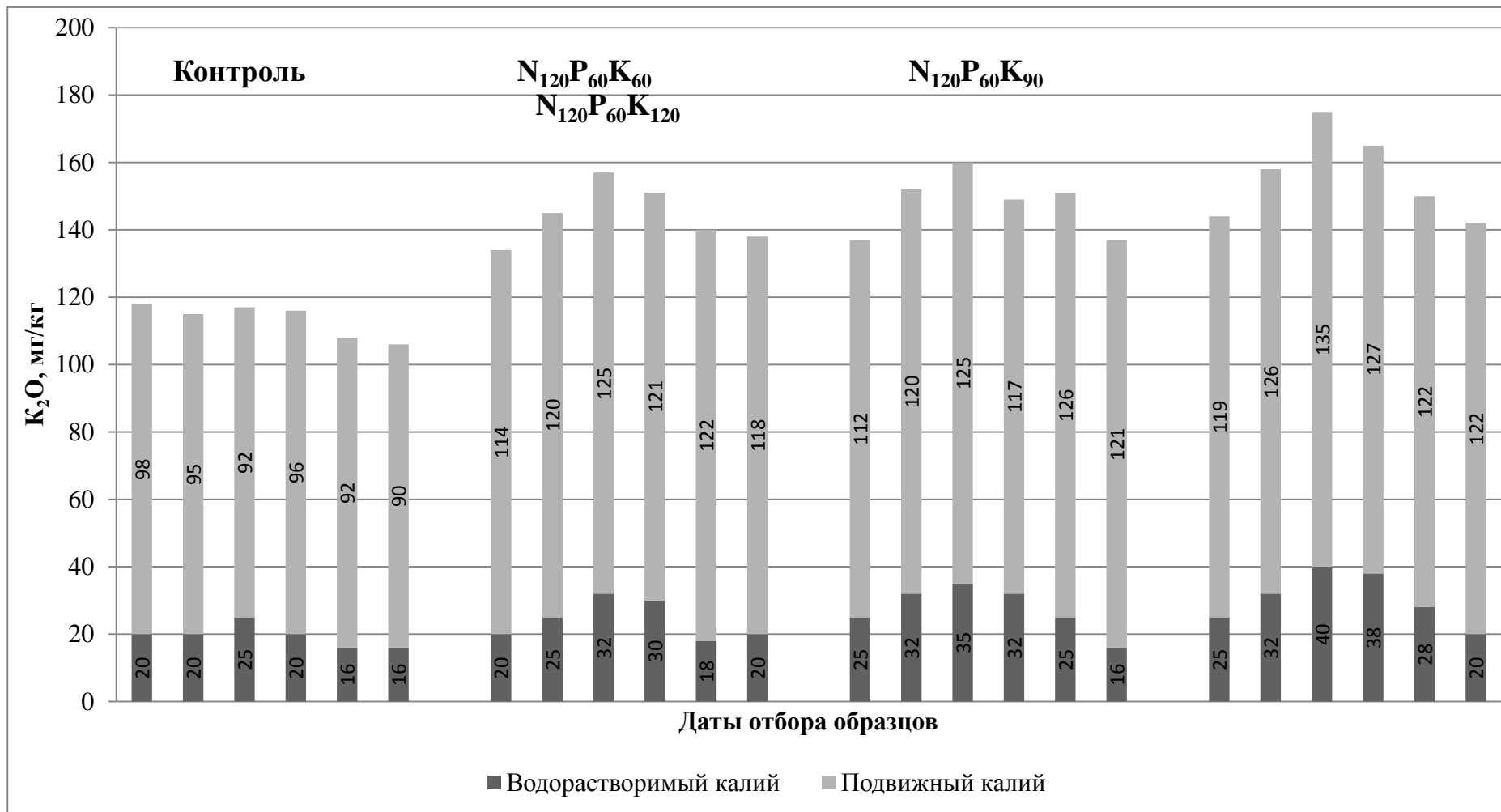


Рисунок 9 - Сезонная динамика доступных растениям форм калия (в среднем за годы проведения опытов)

Более низкая, в сравнении со стационарными опытами №№1-2, окультуренность почвы имела следствием относительно невысокую урожайность сельскохозяйственных культур как в контрольном варианте, так и в вариантах с удобрениями (табл. 36). Но при этом и на среднеокультуренной почве наиболее высокой агрономической эффективностью обладало азотное удобрение. Хотя в абсолютных показателях прибавки урожайности от него были меньше, чем в полевом зернопропашном севообороте (опыт №1), в процентном отношении они даже превосходили последние. При среднегодовой дозе азота 100 кг/га увеличение продуктивности звена севооборота составило 72%. Правда, обеспечивался такой показатель в основном за счёт очень высокой эффективности азотного удобрения на посевах кормовой свёклы.

Вследствие высокого содержания в почве подвижных фосфатов (256 мг/кг) ни одна из культур на фосфорное удобрение не реагировала. В результате в варианте с азотно-фосфорным удобрением получены самые низкие показатели окупаемости действующего вещества.

Зато калийное удобрение, хотя и уступало по агрономической эффективности азотному в среднем вдвое, обеспечивало показатели окупаемости даже больше, чем в овощном севообороте. И это при том, что лён долгунец крайне слабо реагировал на калий удобрения. У типичного калиефила, кормовой свёклы, прибавки урожайности корнеплодов от доз K_2O 60 - 120 кг/га составляли от 30 до 53%. На посевах ячменя и кормовой свёклы было оправданным повышение дозы калийного удобрения до 120 кг/га, на посевах льна-долгунца достаточна доза 60 кг/га, обеспечивавшая небольшую прибавку урожайности и компенсацию выноса калия.

Таблица 36 - Агрономическая эффективность минеральных систем удобрения в полевом севообороте на среднекультуренной дерново-подзолистой почве

Вариант системы удобрения	Урожайность, т/га		Прибавка урожайности, %				Оплата 1 кг д.в., з.е.
	основная продукция	побочная продукция	Основная продукция		Побочная продукция		
			всего	в т.ч. от калия	всего	в т.ч. от калия	
1	2	3	4	5	6	7	8
Ячмень							
Без удобрений	1,6	1,4	-	-	-	-	-
N ₁₂₀	2,0	1,7	25	-	21	-	3,8
N ₁₂₀ P ₆₀ -фон	2,0	1,7	25	-	21	-	2,6
Фон+K ₆₀	2,4	2,0	50	20	43	15	3,8
Фон+K ₉₀	2,6	2,1	63	30	50	19	4,2
Фон+K ₁₂₀	2,9	2,4	81	45	71	29	5,0
НСР ₀₅	0,20	0,18					
Свёкла кормовая							
Без удобрений	12	5	-	-	-	-	-
N ₁₂₀	29	13	142	-	160	-	36
N ₁₂₀ P ₆₀ -фон	30	12	150	-	140	-	25
Фон+K ₆₀	39	15	225	30	200	25	28
Фон+K ₉₀	43	16	258	43	220	33	28
Фон+K ₁₂₀	46	18	283	53	260	50	28
НСР ₀₅	2,9	1,0					
Лён-долгунец*							
Без удобрений	3,6	0,46	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 36

1	2	3	4	5	6	7	8
N ₆₀	3,9	0,47	8	-	2	-	2,0
N ₆₀ P ₆₀ -фон	3,9	0,49	8	-	7	-	1,1
Фон+K ₆₀	4,1	0,51	14	4	11	4	1,6
Фон+K ₉₀	4,2	0,52	17	7	13	6	1,6
Фон+K ₁₂₀	4,2	0,54	17	7	17	10	1,6
НСР ₀₅	0,39	0,04					
Звено севооборота ** (среднегодовые показатели)							
Без удобрений	1,8	0,6	-	-	-	-	-
N ₆₀₋₁₂₀	3,1	0,9	72	-	50	-	16,0
N ₆₀₋₁₂₀ P ₆₀ -фон	3,2	0,9	78	-	50	-	10,6
Фон+K ₆₀	4,0	1,1	122	25	83	22	15,0
Фон+K ₉₀	4,3	1,1	139	34	83	22	14,3
Фон+K ₁₂₀	4,6	1,2	156	44	100	33	14,2
НСР ₀₅	0,3	0,14					

*Лен-долгунец: в графе "основная продукция" - льносоллома, в графе "побочная продукция" - льносемена

**Продуктивность звена севооборота в т з.е. с 1 га

Хозяйственный вынос калия и коэффициенты его использования из почвы и удобрения определялись главным образом биологическими особенностями растений и системой удобрения (табл. 37). В целом по звену севооборота минимальные показатели выноса и коэффициентов использования калия почвы принадлежали варианту "без удобрений". При этом хозяйственный вынос K₂O кормовой свёклой в контрольном варианте был равен выносу двумя другими культурами, а в вариантах с удобрениями более чем вдвое превосходил последний (хотя все равно уступал

соответствующему показателю в опыте №1). На фоне N_{120} вынос свёклой калия возрастал почти в три раза (как за счёт повышения урожайности, так и за счёт увеличения его концентрации в составе продукции). У культур с невысоким выносом калия (ячменя и льна) такой зависимости не наблюдалось.

Внесение на фоне NP калийного удобрения сопровождалось дополнительным увеличением выноса калия: ячменём в среднем на 36, кормовой свёклой - на 54, льном - на 18%. При этом коэффициент использования калия почвы уменьшался незначительно. Увеличение доз калия с 60 до 120 кг/га практически не отражалось и на коэффициенте использования калийного удобрения. У кормовой свёклы на фоне остро дефицитного баланса калия коэффициент использования хлористого калия и при средней (K_{60}), и при высокой (K_{120}) дозе был близким 100%. Ячмень и лён, для которых уже при дозе K_{60} баланс складывался положительно, калий удобрения усваивали слабо - на 7 - 11%.

Основной вывод из результатов проанализированного опыта состоит в том, что к числу условий, определяющих эффективность калия удобрений, наряду с биологическими особенностями сельскохозяйственных растений, принадлежит уровень обеспеченности почвы подвижными формами калия. А калиефильные полевые культуры могут хорошо окупать калийное удобрение и на среднеобеспеченных калием почвах.

Заключение к главе 3

Обобщение данных серии полевых опытов на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности показало, что агрономическая эффективность калия удобрений может изменяться в очень широком диапазоне - от полного отсутствия до высокой. Зависит это от почвенных условий (окультуренности и связанного с ней содержания доступных форм

Таблица 37 - Хозяйственный вынос калия и коэффициенты его использования культурами полевого севооборота на среднекультуренной почве

Вариант опыта	Вынос K ₂ O, кг/га			Коэффициент использования калия, %					
	ячмень	свёкла	лён	почвы			удобрения		
				ячмень	свёкла	лён	ячмень	свёкла	лён
Контроль-0	20	55	35	7	20	13	-	-	-
N ₆₀₋₁₂₀	23	157	38	7	52	12	-	-	-
N ₆₀₋₁₂₀ P ₆₀ - фон	26	156	39	9	47	13	-	-	-
Фон+K ₆₀	32	215	44	8	46	11	10	98	8
Фон+K ₉₀	35	235	46	8	44	11	10	88	8
Фон+K ₁₂₀	39	270	48	8	44	11	11	95	7

почвенного калия, водного режима), а также от биологических особенностей сельскохозяйственных культур, включённых в севооборот.

Лучшие показатели окупаемости калийных удобрений соответствуют слабо- и среднеокультуренным почвам с содержанием подвижного калия от низкого до среднего. В пределах этих категорий почв прибавки урожайности от калия определяются степенью нуждаемости культуры в элементе питания (размером выноса). В овощном севообороте они достигали 74% от доз K_{90-270} , в полевом - 27% от доз K_{60-120} .

На хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах, в зависимости от величины запасов "остаточного" калия удобрений, калийные удобрения могут многие годы не оказывать влияния на урожайность. В зернопропашном севообороте в течение 18 лет прибавки от них находились в среднем на уровне 5 - 10%. И только на двадцатом - двадцать первом году они выросли до 24 - 28%. При этом урожаи все годы были высокими, а соответствующий им вынос калия обеспечивался мобилизацией почвенных запасов за счёт улучшения азотного режима почвы (на фоне N_{90-120} коэффициент использования подвижного калия увеличивался в 1,5 раза). В условиях плодосменного севооборота аналогичный эффект достигался двухлетним возделыванием клевера лугового.

В отличие от полевых севооборотов, в овощных при высокой доле культур-калиефилов потребность в калии удобрений ощущается и на хорошо окультуренных высокообеспеченных этим элементом почвах. На таких почвах в условиях опыта прибавка урожайности столовых корнеплодов от калийного удобрения составила в среднем 14%, а в лучших вариантах до 29%.

Оптимизация водного режима почвы нормированными поливами обеспечивала повышение окупаемости калия удобрения овощными культурами в 2,5 раза на слабоокультуренной и на 59% - на хорошо окультуренной почве. При этом становилось оправданным повышение доз до

180 - 270 кг/га даже при высоком содержании калия в почве. То есть, как и другие виды удобрений, калийные эффективнее при хорошей влагообеспеченности растений.

Размеры хозяйственного выноса калия сельскохозяйственными культурами определяются теми же факторами, что и агрономическая эффективность калийсодержащих удобрений. А это биологические особенности растений, окультуренность почвы и её водный режим, дозы удобрений, погодные условия. В условиях опытов он изменялся от нескольких десятков кг/га (лён-долгунец, зерновые культуры) до сотен кг/га (столовые и кормовые корнеплоды, картофель, кукуруза, клевер).

Соответственно, разной была и интенсивность усвоения растениями калия почвы и удобрения. Коэффициент использования запасов подвижного калия в пахотном слое почвы калиефильными пропашными культурами находился в диапазоне от 15 до 52% (верхний предел - в условиях опыта в сосудах без дна), льном-долгунцом и зерновыми от 5 до 13%, калия удобрений - от 0 до 100% и от 0 до 11% соответственно. Особенно интенсивным потреблением калия почвы и удобрения характеризовались столовые корнеплоды, выращиваемые в условиях стабильно благоприятного водного режима почвы. В среднем по изучаемым вариантам системы удобрения балансный коэффициент использования ими калия почвы пахотного слоя составил 63%, калия удобрения - 105%. В засушливых условиях потребление калия из удобрения уменьшалось в 1,3 - 2,8 раза. Снижало коэффициент использования и увеличение доз калийного удобрения.

ГЛАВА 4. ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ОТ УСЛОВИЙ КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Влияние на качество продукции растениеводства - ещё одна из составляющих экологической роли калия. Хотя, конечно, качество продукции определяется многочисленными условиями, такими как генетическая природа растений, сортовые их особенности, погода и другие. Но, при всем этом, накопление растениями ценных питательных веществ и витаминов невозможно в отсутствие необходимого количества макро- и микроэлементов. Причём, не менее важно правильное соотношение между элементами питания (Кудеяров В.И. и др., 1984; Минеев В.Г., 1986, 1999; Толстоусов В.П., 1987; Кораблёва Л.И., Авдеева Т.Н., 1991; Мёрзлая Г.Е., 1996, Иванов А.И., 2001; Ториков В.Е. и др., 2012).

На дерново-подзолистых почвах обеспеченность растений питательными элементами зависит чаще от системы удобрения. Определённым исключением из этого правила являются хорошо окультуренные почвы, которые тоже представлены в наших исследованиях.

Учитывая незаменимую роль калия в углеводном и белковом обменах в растительной клетке, большинство учёных оценивают влияние калийных удобрений на качество сельскохозяйственной продукции как сугубо положительное (Пчёлкин В.У., 1966; Minotti P.L., 1968; Blevins D.S., 1974; Ониани О.Г., 1981; Лебедева Л.А., 1984; Кореньков Д.А., 1985; Прокошев В.В., 1985, 1998, 2000; Панников В.Д., Минеев В.Г., 1987; Якименко В.Н., 1993; Борисов В.А., 1994, 2011, 2012; Амелин А.А., 1999; Белоус Н.М. и др., 2007, 2009, 2010; Самсонова Н.Е. и др., 2013). В первую очередь это касается их влияния на накопление сахаров в корнеплодах и крахмала в клубнях картофеля, а также синтез белка.

В то же время существует немало данных о негативном влиянии калийных удобрений на крахмалистость картофеля, которое обычно приписывается хлору - спутнику основных видов калийных туков (Mengel K., 1965; Тихонов Н.И. и др., 1965; Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф., 1977; Авдонин Н.С., 1979; Альшевский Н.Г., 1990; Черников В.А. и др., 2000). И.Г. Важенин (1950) считал лучшей формой калийных удобрений для картофеля сульфат калия. Однако, сравнивая влияние на качество клубней хлорсодержащих и бесхлорных удобрений, Л.А. Лебедева (1984) не установила принципиальных различий - при длительном применении и тех и других содержание крахмала несколько снижалось.

По обобщённым данным А.Н. Небольсина с соавторами (1997), при обычных для производственных условий дозах хлорсодержащих калийных удобрений содержание крахмала в клубнях изменяется незначительно. Такого же мнения придерживались В.А. Паниткин с соавторами (1981), считавшие, что широко признанное понятие об отрицательном влиянии хлора на крахмалистость справедливо лишь при дозах K_2O более 90 кг/га. И.Г. Кондратьев и Г.В. Подколзина (1968) признавали наличие преимущества сернокислого калия над хлористым лишь на кислых слабокультуренных почвах. Отрицательное влияние хлора может быть предотвращено и совместным использованием калийного удобрения и навоза (Тихонов Н.И., Зуева Н.П., 1965).

Хотя и доказано участие калия в реакциях белкового обмена, калийные удобрения, существенного влияния на содержание белка в растениях не оказывают (Авдонин Н.С., 1979; Воробьёв В.А., 2001). Но рядом исследователей отмечалось ухудшение синтеза белка и накопление небелкового азота при недостаточном калийном питании растений (Турчин Ф.В., 1972; Басманов А.Е., Серов С.Р., 1989; Альшевский Н.Г., 1990; Амелин А.А., 1999).

Не менее противоречивы данные и о влиянии калия удобрений на накопление в растительной продукции нитратов. Существенно снижение

концентрации нитратов под влиянием калийных удобрений отмечалось в работах В.А. Борисова (1980, 1994, 2001, 2011), J. Prugar (1985), А.В. Коршунова (1988), В.М. Зеленина (1989), Н.Г. Альшевского (1990), В.А. Черникова (2000), А.И. Иванова (2000), Н.Г. Мязина (2006). Напротив, J. Brown (1967), В. Geger (1978), И.Н. Кондратьев и др. (1981), В.Г. Минеев и др. (1986, 1988), Н.К. Болдырев и др. (1989), Т.В. Бубнова и др. (1995), Н.В. Ивашкина и др. (1996), А.Н. Небольсин и др. (1997), Л.Л. Убугунов (2005) не считали такую зависимость закономерной. Такая неоднозначность данных может быть объяснена тем, что калий стимулирует не только процессы трансформации нитратов в растительной клетке, но и скорость их поглощения из почвенного раствора (Minotti P.L., 1968; Irawa G., 1969; Blevins D.G., 1974; Kirkby E.A., Knight A.H., 1977).

Положительного влияя не только на химический состав продукции, но и на такие свойства растений, как зимостойкость, устойчивость к полеганию, болезням и, даже, повреждению вредителями, калий удобрений способствует улучшению ряда технологических качеств зерна, картофеля, льноволокна. Так, под действием калийного удобрения наблюдалось увеличение массы 1000 семян на 3,4 - 4,7 г, натуры зерна - на 14 - 28 г/л, стекловидности - на 6 - 12% (Забавская К.М. и др., 1980; Воробьева В.А., 2001). Для получения зерна пивоваренного ячменя с высоким содержанием крахмала, растворимых сахаров и солерастворимых фракций белка рекомендуется система удобрения с преобладанием калия над азотом и фосфором (Панников В.Д. и Минеев В.Г., 1987; Воробьев В.А., 2001).

По данным многолетних исследований Раменской опытной станции НИУИФ (Паниткин В.А. и др., 1980), калийное удобрение в дозах до 90 кг/га существенно улучшало кулинарные качества клубней картофеля, повышало содержание аскорбиновой кислоты. Положительное влияние калия на качество льнопродукции отмечалось в работах Т.И. Григорьевой (1970) и Л.И. Петровой (1970).

Велика роль калийных удобрений в предотвращении загрязнения продукции радионуклидом ^{137}Cs (Алексахин Р.М. и др., 1977; Юдинцева Е.В., Левина Э.М., 1982; Круглов С.В. и др., 2005; Белоус Н.М. и др., 2006, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015; Шаповалов В.Ф. и др., 2007, 2014; Сычѳв В.Г. и др., 2012). При внесении в почву K_{90-120} на азотно-фосфатном фоне отмечено снижение содержания цезия в зерне озимой ржи в 1,4 - 1,6 раза, а при совместном внесении с доломитовой мукой - в 8,8 - 10,3 раза (Коровяковская С.О., 1997; Воробѳев В.А., 2001). Ингибирующий эффект калия обеспечивается, с одной стороны, конкуренцией двух ионов-аналогов, с другой, - вызываемым ионами K^+ коллапсом межпакетного пространства кристаллической решѳтки минералов (Круглов С.В. и др., 2005).

Существенное значение для качества растительной продукции имеет содержание в ней самого калия как составной части ценных для здоровья человека и животных минеральных солей. Концентрация же последних напрямую зависит от окультуренности почвы и доз калийсодержащих удобрений (Авдонин Н.С., 1979; Иванов А.И., 2000; Кириллова Г.Б., Жуков Ю.П., 2005; Чеботарѳв Н.Т. и др., 2005). Но при избыточном, т.н. "люкспитании", калием возможно его накопление в продукции в концентрации, превышающей 3,6% в сухом веществе (Анспек П.И., 1988; Небольсин А.Н. и др., 1997; Якименко В.Н., 2003). А это может стать причиной обеднения продукции столь же необходимыми человеку и животным солями натрия, кальция и магния.

4.1. Влияние калийного удобрения на качество растительной продукции в зернопропашном севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве

В длительном полевом опыте №1 в условиях зернопропашного севооборота возделывались шесть сельскохозяйственных культур,

существенно отличающихся физиологической потребностью в калии. Для большинства из них, как показано данными третьего раздела работы, такая потребность полностью (или почти полностью) удовлетворялась за счёт почвенных запасов легкодоступных форм калия. Поэтому вполне предсказуемо, что на качество растительной продукции, как и на урожайность, большее влияние оказывало азотное удобрение (табл. 38).

В варианте моноазотной системы удобрения содержание сырого протеина в зерне ржи, овса и ячменя, в сравнении с контрольным вариантом, было выше на 14%, что, с учётом положительного действия азота на урожайность, обеспечивало увеличение сбора протеина с единицы площади на 43%.

В основной продукции пропашных культур увеличение содержания сырого протеина было даже несколько значительнее - на 19%, что для кормовых культур (кукурузы и кормовой свёклы) можно считать позитивным изменением. Ощутимо снижалось под действием высокой дозы азота содержание клетчатки в зелёной массе кукурузы.

Крахмалистость картофеля и зерна под влиянием повышенных и высоких доз азота либо не изменялась (озимая рожь, овёс), либо имела тенденцию на снижение (ячмень, клубни картофеля). Это же относится и к сахаристости корнеплодов свёклы и брюквы. Но недобор и крахмала, и сахаров вследствие снижения их концентрации в продукции значительно перекрывался за счёт прибавки урожайности.

Зольный составы продукции определялся генетическими особенностями сельскохозяйственных культур и, отчасти, погодными условиями. Азотное удобрение влияния на него не оказывало. А стабильность показателей содержания в продукции соединений фосфора и калия по всем вариантам опыта объясняется почти полным удовлетворением потребностей растений в этих элементах за счёт их почвенных запасов.

Таблица 38 - Влияние минеральных систем удобрения на качество основной продукции зернопропашного севооборота (Лямцева Е.Г., 2008)

Вариант системы удобрения	Содержание (в среднем за 1987 - 2007 гг.),%						NO ₃ , мг/кг
	сырой протеин	крахмал	сахара	клетчатка	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	2	3	4	5	6	7	8
Картофель ранний							
Без удобрений	1,2	12,8	не опр.	не опр.	0,08	0,45	55
N ₁₂₀	1,7	12,3	не опр.	не опр.	0,07	0,42	82
N ₁₂₀ P ₆₀	1,5	10,8	не опр.	не опр.	0,07	0,43	88
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	1,4	12,3	не опр.	не опр.	0,07	0,37	98
НСР ₀₅	0,3	0,9			0,03	0,16	21
Рожь озимая							
Без удобрений	11,1	46,3	не опр.	не опр.	0,89	0,53	12
N ₉₀₋₁₂₀	13,1	46,8	не опр.	не опр.	0,93	0,51	16
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀	12,5	49,0	не опр.	не опр.	0,87	0,48	12
N ₉₀₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	13,0	49,0	не опр.	не опр.	0,93	0,46	3
НСР ₀₅	1,0	3,7			0,09	0,19	6
Свёкла кормовая							
Без удобрений	1,1	не опр.	8,9	не опр.	0,08	0,46	582
N ₁₂₀	1,2	не опр.	8,5	не опр.	0,08	0,44	1023
N ₁₂₀ P ₆₀	1,2	не опр.	8,3	не опр.	0,08	0,48	966
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	1,2	не опр.	8,5	не опр.	0,08	0,45	1057
НСР ₀₅	0,3		0,7		0,02	0,12	192
Овёс							
Без удобрений	10,9	53,9	не опр.	не опр.	0,76	0,51	13
N ₉₀₋₁₂₀	12,2	53,2	не опр.	не опр.	0,78	0,55	16
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀	11,3	51,5	не опр.	не опр.	0,77	0,55	18

Продолжение таблицы 38

1	2	3	4	5	6	7	8
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	11,9	53,1	не опр.	не опр.	0,74	0,56	17
НСР ₀₅	0,8	2,8			0,18	0,13	10
Кукуруза (под чертой кормовая брюква)							
Без удобрений	<u>3,0</u> 0,8	не опр.	<u>не опр.</u> 6,9	<u>8,6</u> не опр.	<u>0,13</u> 0,04	<u>0,63</u> 0,15	<u>253</u> 168
N ₁₂₀	<u>3,4</u> 0,9	не опр.	<u>не опр.</u> 6,3	<u>7,1</u> не опр.	<u>0,15</u> 0,04	<u>0,58</u> 0,18	<u>233</u> 200
N ₁₂₀ P ₆₀	<u>3,6</u> 0,9	не опр.	<u>не опр.</u> 6,9	<u>7,7</u> не опр.	<u>0,16</u> 0,04	<u>0,67</u> 0,18	<u>196</u> 199
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	<u>3,8</u> 1,1	не опр.	<u>не опр.</u> 7,0	<u>7,7</u> не опр.	<u>0,16</u> 0,06	<u>0,67</u> 0,17	<u>185</u> 199
НСР ₀₅	<u>0,7</u> 0,3		<u>-</u> 0,6	<u>0,9</u> -	<u>0,04</u> 0,02	<u>0,21</u> 0,05	<u>44</u> 31
Ячмень							
Без удобрений	9,3	56,8	не опр.	не опр.	0,86	0,65	31
N ₉₀₋₁₂₀	10,5	54,8	не опр.	не опр.	0,91	0,62	35
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀	10,7	56,0	не опр.	не опр.	0,88	0,62	35
N ₉₀₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	10,6	55,9	не опр.	не опр.	0,95	0,65	41
НСР ₀₅	1,1	2,3			0,11	0,07	16

Вероятно, с уровнем окультуренности почвы связано и относительно небольшое увеличение загрязнения продукции нитратами на фоне высокой дозы азота. Хотя, в отличие от большинства качественных показателей, оно было статистически достоверным для трёх культур: картофеля, кормовой свёклы и брюквы, оставаясь при этом на экологически безопасном уровне.

Ежегодное внесение K₆₀, или около 20 мг K₂O на 1 кг почвы пахотного слоя, не вызывало принципиальных изменений в уровне питания растений калием, поскольку только водорастворимых его соединений почва содержала в 10 раз больше. Поэтому действие калийного удобрения на качество растительной продукции и на фоне одного азота, и на азотно-фосфатном

фоне было, как правило, несущественным (у двух культур наблюдалось ухудшение качественных показателей в варианте НК: у картофеля снижение содержания крахмала, у овса - сырого протеина).

Даже содержание калия во всех видах продукции и во все годы не реагировало на внесение калийного удобрения (как и на внесение других видов удобрений). Зато этот показатель сильно зависел от метеоусловий вегетационного периода. Так, в избыточно влажном 1987 году клубни картофеля содержали в среднем по вариантам опыта 0,44% K_2O , а в засушливом 1999 году в 1,5 раза больше (0,65%). По мнению В.И. Никитишена (2002, 2004), при обилии осадков калий в значительных количествах вымывается из вегетативных органов растений.

Данные многолетнего опыта подтвердили мнение В.Г. Минеева (1986, 1988) и А.Н. Небольсина (1997) о неоднозначности влияния калийных удобрений на процессы метаболизма соединений азота в растениях. У большинства культур севооборота концентрация нитратов в продукции имела связь только с азотным удобрением. И лишь в зелёной массе кукурузы имело место снижение на 16 - 21% содержания нитратов в вариантах с калийным удобрением. На особое значение калия удобрений для этой культуры обращали внимание В.В. Прокошев и И.П. Дерюгин (2000), считающие, что во избежание избытка нитратов в зелёной массе интенсивность баланса калия в системе удобрения не должна быть менее 80 - 100%.

Не установлено также влияния калийного удобрения на товарность и вкусовые качества клубней картофеля (табл. 39).

Таблица 39 - Влияние удобрений на товарность и кулинарные качества клубней картофеля (среднее за три ротации севооборота)

Вариант опыта	Товарность, %	Кулинарные качества, балл			
		разваристость	запах	потемнение мякоти	вкус
Без удобрений	78	4	2	3	4
N ₁₂₀	81	4	2	3	3
N ₁₂₀ P ₆₀	81	4	2	3	3
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	82	4	2	3	3

4.2. Влияние калийного удобрения на качество растительной продукции в плодосменном севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве

В стационарном опыте №2 набор сельскохозяйственных культур отличался от опыта №1 присутствием в нём посевов клевера лугового двухлетнего использования. С экологических позиций зернотравянопропашной севооборот предпочтительнее зернопропашного, так как в нём применялись значительно меньшие дозы минерального азота. Но качество продукции в этих двух севооборотах не имело больших различий. Исключением является содержание нитратов в корнеплодах кормовой свёклы: в первом севообороте оно было в среднем на 88% больше (табл. 40).

Можно предположить, что и в опыте №2 изменение качественных показателей растительной продукции обязано, в основном, азоту навоза (вариант 2) или минерального удобрения (варианты 3 - 5). Но в относительных величинах оно было меньше, чем в опыте №1, поскольку в регулировании азотного питания растений важную роль играл

Таблица 40 - Влияние систем удобрения на качество основной продукции плодосменного севооборота

Вариант системы удобрения	Содержание, %					NO ₃ , мг/кг
	сырой протеин	крахмал	сахара	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	2	3	4	5	6	7
Картофель						
Без удобрений	1,3	12,8	не опр.	0,07	0,48	70
Навоз, 40 т/га	1,7	12,6	не опр.	0,08	0,52	86
NP _{экр.} 40т/га навоза+ K ₉₀	1,5	12,3	не опр.	0,08	0,52	80
NP _{экр.} 40т/га навоза+ K ₁₁₅	1,5	12,3	не опр.	0,08	0,50	76
НРК _{экр.} 40т/га навоза	1,6	12,4	не опр.	0,08	0,54	76
НСР ₀₅	0,3	0,7		0,02	0,10	17
Ячмень						
Без удобрений	12,3	54,2	не опр.	0,80	0,60	36
Навоз, 40 т/га	13,6	54,8	не опр.	0,87	0,62	40
NP _{экр.} 40т/га навоза+ K ₉₀	13,8	54,6	не опр.	0,92	0,66	40
NP _{экр.} 40т/га навоза+ K ₁₁₅	13,8	54,2	не опр.	0,92	0,66	38
НРК _{экр.} 40т/га навоза	13,6	54,2	не опр.	0,96	0,70	38
НСР ₀₅	1,2	2,0		0,10	0,11	7
Клевер (зелёная масса)						
Без удобрений	3,2	не опр.	не опр.	0,20	0,35	66
Навоз, 40 т/га	3,5	не опр.	не опр.	0,21	0,35	75
NP _{экр.} 40т/га навоза+ K ₉₀	3,5	не опр.	не опр.	0,21	0,35	81
NP _{экр.} 40т/га навоза+ K ₁₁₅	3,5	не опр.	не опр.	0,20	0,36	72
НРК _{экр.} 40т/га навоза	3,5	не опр.	не опр.	0,20	0,36	54

Продолжение таблицы 40

1	2	3	4	5	6	7
НСР ₀₅	0,3			0,05	0,04	18
Свёкла кормовая						
Без удобрений	0,9	не опр.	8,1	0,06	0,30	413
Навоз, 40 т/га	1,0	не опр.	7,7	0,07	0,34	516
NP _{экр.} 40т/га навоза+ K ₉₀	1,0	не опр.	7,7	0,07	0,34	502
NP _{экр.} 40т/га навоза+ K ₁₁₅	1,0	не опр.	8,2	0,07	0,36	497
NPК _{экр.} 40т/га навоза	1,3	не опр.	8,5	0,07	0,36	488
НСР ₀₅	0,3		0,6	0,03	0,07	84
Овёс						
Без удобрений	12,5	50,7	не опр.	0,70	0,50	21
Навоз, 40 т/га	13,0	49,3	не опр.	0,72	0,54	21
NP _{экр.} 40т/га навоза+ K ₉₀	12,8	49,9	не опр.	0,76	0,54	19
NP _{экр.} 40т/га навоза+ K ₁₁₅	12,8	48,9	не опр.	0,76	0,56	23
NPК _{экр.} 40т/га навоза	13,0	48,9	не опр.	0,76	0,56	15
НСР ₀₅	0,9	2,1		0,11	0,11	8

"биологический" азот (в том числе и в варианте "без удобрений"). В среднем по пяти культурам севооборота увеличение содержания сырого протеина на фоне навоза составило 13%, на фоне минеральных систем удобрения - 12,8%; соответственно нитратов - 14,6 и 6,4%. По другим качественным показателям изменения находились в пределах ошибки исследования.

Увеличение среднегодовой дозы K₂O с 30 до 93 кг/га на изученных показателях качества растительной продукции не отражалось.

По итогам двух опытов в полевых севооборотах на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве можно сделать заключение, что в

условиях полного или почти полного удовлетворения потребностей растений в калии за счёт его почвенных запасов общепринятые представления о влиянии калийных удобрений на химический состав растительной продукции могут не подтверждаться (во всяком случае, при дозах K_2O до 90 кг/га).

4.3. Влияние калийного удобрения на качество растительной продукции в овощном севообороте на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности

В овощном севообороте, насыщенном калиефильными столовыми корнеплодами, действие калийного удобрения на качество продукции, в сравнении с полевыми севооборотами, было намного существеннее (табл. 41). Это касается не только бедной калием слабоокультуренной почвы, но и хорошо окультуренной с очень высокими запасами доступного растениям калия. Правда, в этом опыте применялись более высокие дозы калийного удобрения.

В целом же, больше чем система удобрения, чем степень окультуренности и чем условия водного режима, на химическом составе продукции отражались генетические особенности овощных культур. Так, в среднем по всем вариантам опыта корнеплоды столовой свёклы содержали 9,8% сахаров, 9,5% сырого протеина, 0,64% P_2O_5 , 3,09% K_2O и 456 мг/кг нитратов; у моркови эти показатели равнялись соответственно - 8,5; 6,9; 0,55; 3,26% и 186 мг/кг; у репы - 7,1; 12,4; 1,24; 3,65% и 134 мг/кг. То есть, репа, в сравнении со свёклой, была беднее сахарами на 28%, но значительно обогащённое протеином и минеральными солями, а нитратов содержала в 3,5 раза меньше. Меньшим содержанием сырого протеина (6,9% на сухое вещество) характеризовалась столовая морковь.

Степень окультуренности почвы на отдельные показатели качества продукции влияла по-разному. В среднем по опыту корнеплоды,

Таблица 41 - Влияние системы удобрения на химический состав корнеплодов и ботвы овощных культур

Вариант системы удобрения	Режим влажности почвы	Содержание в % от сухого вещества (над чертой - на хорошо окультуренной, под чертой - на слабоокультуренной почве)									
		корнеплоды						ботва			
		сахара*	сырой протеин	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃ *, мг/кг	каротин*, мг/кг	сырой протеин	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃ *, мг/кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Свёкла столовая											
N ₁₂₀ P ₉₀ - фон	60-75% НВ	<u>9,0</u>	<u>9,6</u>	<u>0,60</u>	<u>3,66</u>	<u>570</u>	не опр.	<u>11,9</u>	<u>0,97</u>	<u>5,41</u>	<u>195</u>
		8,7	7,9	0,59	2,77	483		10,4	0,68	4,86	173
Фон+K ₉₀		<u>10,5</u>	<u>10,0</u>	<u>0,79</u>	<u>3,49</u>	<u>519</u>	-//-	<u>11,9</u>	<u>0,83</u>	<u>5,80</u>	<u>339</u>
		9,4	8,1	0,70	2,75	420		10,7	0,73	5,01	218
Фон+K ₁₈₀		<u>9,5</u>	<u>9,9</u>	<u>0,77</u>	<u>3,58</u>	<u>394</u>	-//-	<u>14,8</u>	<u>0,75</u>	<u>5,27</u>	<u>246</u>
		9,7	7,6	0,64	2,89	395		11,6	0,68	5,12	180
Фон+K ₂₇₀		<u>10,5</u>	<u>9,6</u>	<u>0,72</u>	<u>3,68</u>	<u>366</u>	-//-	<u>15,6</u>	<u>0,73</u>	<u>5,47</u>	<u>207</u>
		8,9	8,3	0,60	3,10	402		11,3	0,63	5,22	166
N ₁₂₀ P ₉₀ - фон	40-50% НВ	<u>10,0</u>	<u>10,9</u>	<u>0,72</u>	<u>3,24</u>	<u>613</u>	-//-	<u>14,6</u>	<u>0,69</u>	<u>6,19</u>	<u>824</u>
		9,8	9,9	0,51	2,61	537		13,6	0,57	5,25	602
Фон+K ₉₀		<u>10,5</u>	<u>10,1</u>	<u>0,68</u>	<u>3,32</u>	<u>456</u>	-//-	<u>15,8</u>	<u>0,72</u>	<u>5,50</u>	<u>174</u>
		10,1	9,6	0,60	2,69	446		14,3	0,66	5,34	386
Фон+K ₁₈₀		<u>10,5</u>	<u>10,6</u>	<u>0,64</u>	<u>2,87</u>	<u>507</u>	-//-	<u>16,3</u>	<u>0,79</u>	<u>5,24</u>	<u>292</u>
		10,0	9,3	0,50	2,76	450		15,1	0,53	5,48	301
Фон+K ₂₇₀		<u>10,5</u>	<u>10,4</u>	<u>0,61</u>	<u>3,17</u>	<u>480</u>	-//-	<u>16,9</u>	<u>0,73</u>	<u>5,36</u>	<u>550</u>
		9,9	10,1	0,63	2,84	398		15,1	0,60	5,19	296

Продолжение таблицы 41

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
НСР ₀₅		<u>0,8</u> 0,7	<u>1,6</u> 1,5	<u>0,15</u> 0,15	<u>0,47</u> 0,32	<u>47</u> 36					
Морковь столовая											
N ₁₂₀ P ₉₀ - фон	60-75% НВ	<u>7,9</u> 7,5	<u>7,9</u> 8,4	<u>0,56</u> 0,62	<u>5,40</u> 2,75	<u>187</u> 156	<u>51</u> 61	<u>12,5</u> 13,3	<u>0,43</u> 0,48	<u>6,05</u> 2,85	<u>129</u> 123
Фон+K ₉₀		<u>8,6</u> 7,8	<u>7,1</u> 6,3	<u>0,74</u> 0,62	<u>4,50</u> 2,55	<u>160</u> 150	<u>151</u> 21	<u>9,4</u> 10,6	<u>0,35</u> 0,57	<u>5,20</u> 3,45	<u>120</u> 127
Фон+K ₁₈₀		<u>8,8</u> 7,8	<u>7,5</u> 6,4	<u>0,57</u> 0,61	<u>3,80</u> 3,00	<u>166</u> 138	<u>71</u> 26	<u>10,2</u> 11,3	<u>0,35</u> 0,52	<u>5,75</u> 5,10	<u>107</u> 101
Фон+K ₂₇₀		<u>8,5</u> 7,6	<u>7,1</u> 5,6	<u>0,64</u> 0,55	<u>4,40</u> 3,00	<u>143</u> 127	<u>44</u> 18	<u>11,5</u> 12,5	<u>0,44</u> 0,52	<u>4,15</u> 4,50	<u>112</u> 93
N ₁₂₀ P ₉₀ - фон	40-50% НВ	<u>9,0</u> 8,3	<u>8,8</u> 7,9	<u>0,46</u> 0,47	<u>3,55</u> 2,25	<u>234</u> 242	<u>41</u> 50	<u>11,3</u> 15,6	<u>0,35</u> 0,43	<u>5,00</u> 2,35	<u>145</u> 150
Фон+K ₉₀		<u>9,0</u> 8,8	<u>7,1</u> 5,9	<u>0,45</u> 0,42	<u>3,26</u> 2,05	<u>221</u> 218	<u>41</u> 66	<u>11,8</u> 14,4	<u>0,35</u> 0,40	<u>5,29</u> 2,99	<u>142</u> 127
Фон+K ₁₈₀		<u>9,6</u> 8,6	<u>6,9</u> 5,3	<u>0,48</u> 0,58	<u>3,45</u> 2,50	<u>187</u> 229	<u>71</u> 76	<u>12,3</u> 10,9	<u>0,34</u> 0,39	<u>5,50</u> 3,65	<u>142</u> 123
Фон+K ₂₇₀		<u>8,9</u> 8,6	<u>6,9</u> 5,3	<u>0,48</u> 0,56	<u>3,65</u> 2,00	<u>202</u> 218	<u>82</u> 35	<u>12,2</u> 10,9	<u>0,34</u> 0,38	<u>5,48</u> 3,49	<u>118</u> 102

Продолжение таблицы 41

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
НСР ₀₅		<u>0,7</u> 0,7	<u>1,1</u> 0,8	<u>0,13</u> 0,11	<u>0,59</u> 0,47	<u>29</u> 35	<u>20</u> 11				
Репа											
N ₁₂₀ P ₉₀ - фон	60-75% НВ	<u>6,8</u> 6,6	<u>10,8</u> 12,1	<u>1,28</u> 1,17	<u>4,05</u> 3,03	<u>167</u> 122	<u>18</u> 22	<u>11,7</u> 12,9	<u>1,34</u> 0,80	<u>6,08</u> 5,01	не опр.
Фон+K ₉₀		<u>7,0</u> 7,0	<u>11,3</u> 11,5	<u>1,24</u> 1,18	<u>3,89</u> 3,42	<u>144</u> 104	<u>27</u> 28	<u>11,4</u> 13,2	<u>1,10</u> 0,89	<u>6,07</u> 5,04	-//-
Фон+K ₁₈₀		<u>7,1</u> 6,9	<u>10,5</u> 13,1	<u>1,31</u> 1,20	<u>4,13</u> 3,62	<u>131</u> 99	<u>13</u> 28	<u>10,8</u> 12,9	<u>1,01</u> 1,02	<u>6,01</u> 4,65	-//-
Фон+K ₂₇₀		<u>6,9</u> 7,0	<u>11,9</u> 11,9	<u>1,22</u> 1,06	<u>4,29</u> 4,16	<u>135</u> 100	<u>20</u> 24	<u>11,9</u> 12,5	<u>1,09</u> 0,95	<u>6,13</u> 5,29	-//-
N ₁₂₀ P ₉₀ - фон	40-50% НВ	<u>7,0</u> 7,0	<u>11,4</u> 16,2	<u>1,18</u> 1,32	<u>3,62</u> 3,14	<u>184</u> 136	<u>33</u> 24	<u>11,4</u> 16,6	<u>1,10</u> 1,35	<u>6,00</u> 5,44	-//-
Фон+K ₉₀		<u>6,9</u> 7,4	<u>11,6</u> 14,4	<u>1,27</u> 1,22	<u>3,59</u> 3,41	<u>180</u> 132	<u>28</u> 24	<u>10,5</u> 15,7	<u>1,12</u> 1,35	<u>6,02</u> 5,53	-//-
Фон+K ₁₈₀		<u>7,3</u> 7,4	<u>11,5</u> 13,5	<u>1,21</u> 1,29	<u>3,57</u> 3,62	<u>136</u> 118	<u>19</u> 31	<u>10,2</u> 14,6	<u>1,12</u> 1,19	<u>6,14</u> 5,73	-//-
Фон+K ₂₇₀		<u>7,4</u> 7,3	<u>12,3</u> 14,1	<u>1,37</u> 1,30	<u>3,64</u> 3,20	<u>141</u> 110	<u>18</u> 19	<u>10,6</u> 14,6	<u>1,18</u> 1,33	<u>6,19</u> 5,74	-//-
НСР ₀₅		<u>0,6</u> 0,7	<u>1,2</u> 1,4	<u>0,27</u> 0,20	<u>0,52</u> 0,46	<u>27</u> 18	<u>6</u> 8				

*Показатель исследовался при естественной влажности продукции

выращенные на хорошо окультуренной почве, содержали сахаров 8,7%, сырого протеина - 9,7%, P_2O_5 - 0,83%, K_2O - 3,74%, NO_3 - 276 мг/кг; на слабоокультуренной соответственно - 8,3; 9,7; 0, 79; 2,92% и 247 мг/кг. То есть, на фоне высоких доз минеральных удобрений овощная продукция, полученная на слабоокультуренной почве, уступала таковой с хорошо окультуренной только по содержанию сахаров и калия, но зато была на 11% меньше загрязнена нитратами. Учитывая, что хорошо окультуренная почва отличалась высоким содержанием доступных форм азота, и калия, можно предположить большее влияние на нитратное загрязнение продукции первого питательного элемента.

По-разному влиял на качество овощной продукции и водный режим почвы. В засушливых условиях корнеплоды содержали в среднем на 7% больше сахаров, на 9% сырого протеина, на 17% нитратов, но были беднее зольными веществами: фосфором - на 5, калием - на 13%.

Среди всех качественных показателей столовых корнеплодов наиболее зависимым от калийного удобрения было содержание нитратов. В отличие от ряда полевых культур в опытах №1 и 2, здесь положительное действие калия удобрения проявлялось достаточно стабильно. Содержание нитратов на азотно-фосфатном фоне составляло: в корнеплодах столовой свёклы - 551, моркови - 205, репы - 152 мг/кг, а в среднем по вариантам с калием - 436, 180 и 128 мг/кг соответственно. Не столь существенно, но тоже ощутимо изменялась и сахаристость овощной продукции. Содержание сахаров в корнеплодах свёклы, моркови и репы на фоне $N_{120}P_{60}$ составляло 8,3%, а в среднем по вариантам с калийным удобрением - 8,8%. Подобное положительное действие калийных удобрений в овощных севооборотах регистрировалось в многолетних исследованиях ВНИИОХ (Борисов В.А., 1974; 1994).

Внесение K_{90-270} существенно (с 2,76 до 2,98%) повышало содержание K_2O в столовых корнеплодах, выращиваемых на бедной калием

слабоокультуренной почве, но не оказывало никакого в этом направлении действия на хорошо окультуренной.

Показатели содержания каротина в корнеплодах моркови и репы отличались значительным разбросом по вариантам опыта без определённой зависимости от изучаемых факторов, в том числе и от системы удобрения.

Нельзя не обратить внимание на тот факт, что ботва столовых корнеплодов обладает высокой кормовой ценностью. Содержание в ней сырого протеина (12,8%) значительно выше, чем в самих корнеплодах (9,2%). Но полученная на хорошо окультуренной, а в ряде случаев и на слабоокультуренной, почве она содержала до 6% K_2O . Это нельзя не учитывать при использовании побочной продукции овощеводства на корм скоту.

4.4. Влияние калийного удобрения на качество растительной продукции в полевом севообороте на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве

Исследование проводилось на среднеокультуренной супесчаной дерново-подзолистой почве, содержащей в пахотном слое 108 мг/кг подвижного калия. Среди культур звена полевого севооборота ячмень может быть отнесён к умеренно требовательным к калию, а кормовая свёкла и лён-долгунец - к требовательным. Поэтому предполагалось обнаружить устойчивое положительное влияние калийного удобрения, в том числе и на качественные показатели получаемой в севообороте продукции растениеводства. Однако, прогноз оправдался не в полной мере.

На общее содержание в продукции азота (сырого протеина) положительное влияние (как и в других опытах) оказывало только азотное удобрение. При внесении 120 (под лён 60) кг/га азота содержание сырого протеина в зерне ячменя увеличивалось на 13, в корнеплодах кормовой

Таблица 42 - Влияние системы удобрения на качество основной продукции в звене полевого севооборота (Воробьёв В.А., 2001)

Вариант системы удобрения	Содержание, %						NO ₃ , мг/кг
	сырой протеин	крахмал	сахара	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	2	3	4	5	6	7	8
Ячмень							
Без удобрений	9,1	56,8	не опр.	1,46	0,74	0,52	32
N ₁₂₀	10,3	51,6	не опр.	1,65	0,85	0,59	39
N ₁₂₀ P ₆₀	10,6	57,4	не опр.	1,69	0,90	0,60	36
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	10,6	53,1	не опр.	1,69	0,91	0,60	36
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	10,6	53,3	не опр.	1,69	0,99	0,61	38
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	11,4	54,2	не опр.	1,82	0,99	0,63	35
НСР ₀₅	1,0	4,6		0,21	0,08	0,05	6
Свёкла кормовая							
Без удобрений	1,0	не опр.	7,8	0,16	0,07	0,40	484
N ₁₂₀	1,2	не опр.	7,5	0,19	0,07	0,43	629
N ₁₂₀ P ₆₀	1,2	не опр.	7,9	0,19	0,07	0,43	670
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	1,1	не опр.	8,3	0,18	0,08	0,45	645
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀	1,2	не опр.	8,2	0,19	0,08	0,46	620
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1,1	не опр.	8,3	0,18	0,07	0,48	620
НСР ₀₅	0,2		0,7	0,04	0,02	0,11	63
Лён (семена)							
Без удобрений	20,2	не опр.	34,2	3,23	1,42	0,88	не опр
N ₆₀	21,9	не опр.	32,9	3,50	1,33	0,81	не опр
N ₆₀ P ₆₀	22,4	не опр.	34,0	3,58	1,31	0,88	не опр
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	22,4	не опр.	33,7	3,58	1,30	0,81	не опр

Продолжение таблицы 42

1	2	3	4	5	6	7	8
$N_{60}P_{60}K_{90}$	22,6	не опр.	33,8	3,62	1,47	0,87	не опр.
$N_{60}P_{60}K_{120}$	22,0	не опр.	34,0	3,52	1,45	0,95	не опр.
$НСР_{05}$	1,5		1,9	0,29	0,18	0,16	

свёклы - на 20, в льносеменах - на 11% (табл. 42). Но, при этом содержание крахмала в зерне ячменя снижалось на 9%, сахаров в корнеплодах свёклы и жира в льносеменах - на 4% (относительных). Содержание нитратов повышалось в среднем на 26%.

Изменение большинства качественных показателей продукции под влиянием возрастающих доз калийного удобрения было несущественным. Можно отметить лишь тенденцию положительного воздействия на накопление сахаров в корнеплодах кормовой свёклы и калия во всех видах продукции. Наблюдалось также снижение концентрации нитратов в корнеплодах свёклы на 4 - 7% относительно фона ($N_{120}P_{60}$).

В льноводстве калийным удобрениям уделяется повышенное внимание. Считается, что их применение является одним из обязательных условий для получения высококачественного льноволокна (Петрова Л.И., 1968, 1970; Григорьева Т.И., 1970; Паниткин В.А. и др., 1980; Небольсин А.Н. и др., 1997).

В условиях нашего исследования внесение под лён N_{60} и $N_{60}P_{60}$ способствовало увеличению длины горсти льносоломки на 2,5 см, но при этом другие технологические качества последней ощутимо ухудшались (табл. 43).

Таблица 43 - Влияние системы удобрения на технологические свойства льносоломки (Воробьёв В.А., 2001)

Вариант системы удобрения	Содержание в льносоломке K_2O , %	Технологические свойства		
		длина горсти, см	крепость, кгс	содержание луба, %
Без удобрений	0,98	86,7	25,1	28
N_{60}	0,98	89,1	18,3	26
$N_{60}P_{60}$	1,00	89,3	18,4	26
$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,09	90,8	19,2	27
$N_{60}P_{60}K_{90}$	1,10	91,9	19,6	26
$N_{60}P_{60}K_{120}$	1,15	92,5	19,7	27
HCP_{05}	0,11	8,1	2,1	3

Даже относительно невысокая доза азотного удобрения снижала крепость льносоломки и содержание в ней луба на 27 и 7% соответственно. Дополнение азота фосфором положение не изменяло.

Внесение на азотно-фосфатном фоне K_{60-120} сопровождалось повышением содержания в льносоломке калия на 9 - 15% при одновременном ослаблении отрицательного действия азота на технологические её свойства. Правда, положительные изменения в качестве продукции правильнее рассматривать как относительно устойчивую тенденцию. При этом преимущество варианта "без удобрения" по показателям крепости и содержания луба сохранялось.

Таким образом, даже при средней обеспеченности дерново-подзолистой почвы подвижным калием влияние калийного удобрения на качество основной продукции полевых культур чаще статистически не доказуемо, хотя и прослеживается достаточно устойчивая тенденция в положительных изменениях таких показателей, как сахаристость

корнеплодов, содержание минеральных солей и нитратов, технологические свойства льносоломки.

Заключение к главе 4

Обобщение данных главы 4 позволяет сделать заключение о возможном влиянии на качество растительной продукции комплекса факторов.

Во-первых - это наследственность растений. Так, зерновые культуры в составе зерновки накапливали много крахмала и протеина и ни в одном из лет не содержали нитраты в значительных концентрациях. Высоким содержанием протеина характеризовались также льносемена, зелёная масса клевера лугового, а среди овощных культур - корнеплоды репы. Столовые и кормовые корнеплоды отличала высокая обводнённость продукции при значительном содержании в сухом веществе сахаров и минеральных солей. Все они, и особенно свёкла, склонны к накоплению высоких концентраций нитратов.

Во-вторых, качество продукции зависит от уровня окультуренности почвы и обеспеченности её элементами питания. Растительная продукция, полученная на хорошо окультуренной почве, отличалась повышенным содержанием сахаров и минеральных солей, но с другой стороны, и более значимым накоплением нитратов.

В-третьих, на химический состав продукции растениеводства существенно влияет водный режим почвы. Выращиваемые в засушливых условиях столовые корнеплоды характеризовались более высоким содержанием сахаров, сырого протеина и нитратов и некоторой обеднённостью зольными веществами (относительно продукции, полученной на фоне благоприятного водного режима). Хотя, вероятно, такая закономерность не является универсальной, поскольку в полевом

севообороте в засушливый вегетационный период клубни картофеля содержали калия в 1,5 раза больше, чем в избыточно влажный.

Наконец, важным фактором регулирования качества продукции является система удобрения, а среди её составляющих главная роль принадлежит азоту. Его влияние, как положительное (увеличение содержания сырого протеина, уменьшение содержания клетчатки в кормах), так и отрицательное (снижение крахмалистости и сахаристости продукции, ухудшение технологических свойств льносоломки) проявлялось на почвах разной окультуренности. При этом степень влияния определялась дозами азота.

В сравнении с азотом, действия калия удобрений на качество растительной продукции значительно слабее, но зато оно, как правило, положительное. Среди условий, определявших эффективность этого питательного элемента, можно выделить окультуренность почвы, физиологические особенности сельскохозяйственных культур и связанные с ними конкретные качественные показатели.

К числу наиболее значимых изменений в качестве продукции следует отнести уменьшение её загрязнения нитратами: на хорошо окультуренной почве зелёной массы кукурузы на 16 - 21%, столовых корнеплодов - на 10%; на среднеокультуренной почве - корнеплодов кормовой свёклы на 6%; на слабоокультуренной почве - столовых корнеплодов на 5% (по неустановленным причинам, на других культурах такой закономерности не наблюдалось). На второе место можно поставить влияние удобрения на содержание калия в продукции, проявившееся на слабо- и среднеокультуренной почве. И лишь как весьма устойчивую тенденцию следует рассматривать положительное влияние калийного удобрения на сахаристость столовых корнеплодов (повышение содержания сахаров на 0,5 абс.%) и на технологические свойства льносоломки.

ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ С РАЗНЫМ БАЛАНСОМ КАЛИЯ

Россия принадлежит к числу ведущих производителей минеральных удобрений. Это же касается и объёмов накопления навоза, поскольку стойловый период содержания скота в нашей стране превышает полгода. Практически безграничны резервы других видов органических удобрений, в первую очередь торфа и сапропеля. Поэтому объёмы использования удобрений в сельском хозяйстве почти нацело зависят от экономической политики государства.

До 1990 года в Северо-Западном районе РФ на 1 га пашни вносилось около 200 кг д.в. минеральных удобрений, в том числе 70 – 100 кг отличающихся исключительной дешевизной (7 – 11 рублей за 1 т) калийных. И хотя последние уступали по агрономической эффективности азотным и фосфорным (Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф., 1977), в целом затраты по их применению окупались прибавками урожайности сельскохозяйственных культур (Прокошев В.В., 1984; Державин Л.М., 1987, 1992; Небольсин А.Н. и др., 1997).

С начала 90-х годов прошедшего века и по настоящее время происходил постоянный рост цен на удобрения на фоне экономического упадка сельского хозяйства. Отсюда – обвальное сокращение объёмов применения удобрений в целом, а калийных – особенно. Хотя ещё в конце 90-х годов, по мнению С.А. Шафрана и Ф.В. Янишевского (1998), чистый доход от внесения 1 кг хлористого калия находился на уровне от 1,3 рубля для ячменя до 26 рублей для картофеля. К сегодняшнему дню диспаритет цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию возрос настолько, что уже и ряд учёных видят выход в использовании калийдефицитных систем удобрения.

Как отмечалось ранее, наше исследование тоже базировалось, преимущественно, на таких системах удобрения, правда, в основном на исходно высокообеспеченных подвижным калием почвах. В разделах 2 – 4 было показано к каким негативным экологическим последствиям это приводит. Задача настоящего раздела работы – оценка экономических последствий отрицательного баланса калия в системах удобрения не только для нынешнего, но и будущих поколений землепользователей.

5.1. Экономические последствия применения калийдефицитных систем удобрения в полевых севооборотах на хорошо окультуренной почве

Принятые в нашей стране методики оценки экономической эффективности удобрений основаны на сравнении стоимости полученной от них прибавки урожайности с понесёнными при этом затратами. Последние, в свою очередь, включают стоимость удобрения, затраты по его применению (доставка, подготовка к внесению, внесение) и затраты по уборке прибавки урожайности (Баранов Н.Н., 1979, 1982; Токарев В.В., 1991; Иванов И.А. и др., 2002; Сычёв В.Г., Ладонин В.Ф. и др., 2005). В таблицах 44 – 47 приведены итоговые расчёты экономической эффективности основных вариантов системы удобрения по данным полевых опытов №№ 1 – 2.

В зернопропашном севообороте (полевой опыт №1) на хорошо окультуренной высокообеспеченной калием дерново-подзолистой почве в течение трёх с половиной ротаций использовались отдельные варианты минеральной системы удобрения с острым дефицитом баланса калия – в среднем за год от 122 до 173 кг/га. Максимальным он был в варианте моноазотной системы удобрения (N₉₀₋₁₂₀), в котором были получены лучшие показатели как агрономической (табл. 26), так и экономической эффективности (чистый доход – 103,5 тыс. руб/га, уровень рентабельности – 190%)

Таблица 44 - Экономическая эффективность систем удобрения в зернопропашном севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве

Показатели, единицы измерения	Культуры севооборота						В целом по севоо- бороту, з.е.
	картофель	рожь озимая	свёкла кормовая	овёс	кукуруза	ячмень	
1	2	3	4	5	6	7	8
N ₉₀₋₁₂₀							
Прибавка урожайности, т/га	5,7	1,07	13,8	0,79	12,9	0,76	8,84
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	91,2	10,7	23,2	6,6	18,4	7,9	158,0
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	13,6	7,5	11,8	7,1	8,4	6,1	54,5
в т. ч. стоимость удобрений, тыс. руб./га	4,9	4,4	4,9	4,4	4,9	4,4	28,0
Условно чистый доход, тыс. руб./га	77,6	3,2	11,4	-0,5	10,0	1,8	103,5
Рентабельность, %	571	43	97	-7	119	30	190
Окупаемость 1 кг д.в., руб.	760	100	193	62	153	74	231

Продолжение таблицы 44

1	2	3	4	5	6	7	8
N ₉₀₋₁₂₀ K ₆₀							
Прибавка урожайности, т/га	5,7	1,19	16,9	0,92	15,8	0,93	10,36
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	91,2	11,9	28,4	7,7	22,6	9,7	171,5
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	15,3	9,3	14,7	8,9	10,5	8,9	67,7
в т. ч. стоимость удобрений, тыс. руб./га	6,1	5,6	6,1	5,6	6,1	5,6	35,1
Условно чистый доход, тыс. руб./га	75,9	2,6	13,7	-1,2	12,1	0,8	103,8
Рентабельность, %	496	28	93	-13	115	9	153
Окупаемость 1 кг д.в., руб.	507	71	158	46	126	58	164
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀							
Прибавка урожайности, т/га	4,8	1,15	17,7	0,96	15,7	0,89	10,22
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	76,8	11,5	29,7	8,1	22,4	9,3	157,8

Продолжение таблицы 44

1	2	3	4	5	6	7	8
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	17,6	12,6	18,3	12,3	14,0	12,2	86,9
в т. ч. стоимость удобрений, тыс. руб./га	8,8	8,3	8,8	8,3	8,8	8,3	51,3
Условно чистый доход, тыс. руб./га	59,2	-1,1	11,4	-4,2	8,4	-2,9	70,9
Рентабельность, %	336	-9	62	-34	60	-24	82
Окупаемость 1 кг д.в., руб.	320	51	124	36	93	41	112

Таблица 45 - Экономическая эффективность систем удобрения на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве в среднем за ротацию зернопропашного севооборота с учётом затрат на воспроизводство плодородия

Вариант системы удобрения	Прямой чистый доход, тыс. руб/га	Изменение показателей плодородия, + -				Затраты на воспроизводство плодородия									Доход с учётом затрат на воспроизводство плодородия, тыс. руб/га
		pH _{ксл}	гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaCO ₃		навоз		P ₂ O ₅		K ₂ O		итого затрат, тыс. руб/га	
				МГ/КГ		т/га	тыс. руб/га	т/га	тыс. руб/га	т/га	тыс. руб/га	т/га	тыс. руб/га		
N ₉₀₋₁₂₀	103,5	-0,24	-0,09	-31	-97	1,9	6,2	68	33,4	202	10,0	631	14,9	64,5	39,0
N ₉₀₋₁₂₀ K ₆₀	103,8	-0,22	-0,10	-17	-61	1,8	5,9	75	38,3	111	5,5	397	9,4	59,1	44,7
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	70,9	-0,18	-0,07	-10	-73	1,4	4,6	53	27,0	65	3,2	475	11,2	46,0	24,9

Таблица 46 - Экономическая эффективность систем удобрения в плодосменном севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве

Показатели, единицы измерения	Культуры севооборота					В целом по севообороту, з.е.
	картофель	ячмень	клевер (2 года)	свёкла кормовая	овёс	
1	2	3	4	5	6	7
Навоз, 40 т/га						
Прибавка урожайности, т/га	8,9	0,26	9,4	6,2	0,18	5,47
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	142,4	2,7	15,8	10,4	1,5	172,8
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	31,3	0,7	1,4	23,8	0,5	57,8
в т.ч. стоимость удобрений, тыс. руб./га	8,0	-	-	8,0	-	16,0
Условный чистый доход тыс. руб./га,	111,1	2,0	14,4	-13,4	1,0	115,0
Рентабельность, %	355	286	1029	-56	200	199
Окупаемость 1 кг д.в., руб.	222	последейст вие	последейст вие	16	последейст вие	135

Продолжение таблицы 46

1	2	3	4	5	6	7
NP экв. 40 т/га навоза + K ₉₀						
Прибавка урожайности, т/га	5,8	0,57	10,6	7,3	1,03	6,10
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	92,8	5,9	17,8	12,3	8,3	137,1
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	24,3	6,3	1,5	19,9	7,0	58,9
в т.ч. стоимость удобрений, тыс. руб./га	13,1	4,1	-	13,0	4,0	34,2
Условный чистый доход, тыс. руб./га,	68,5	-0,4	16,3	-7,6	1,3	78,2
Рентабельность, %	282	-6	1087	-38	19	133
Окупаемость 1 кг д.в., руб.	265	59	последейств ие	35	83	152
NP экв. 40 т/га навоза + K ₁₁₅						
Прибавка урожайности, т/га	3,5	0,65	12,4	7,6	1,08	6,02
Стоимость прибавки, руб./га	56,0	6,8	20,8	12,8	9,1	105,5

Продолжение таблицы 46

1	2	3	4	5	6	7
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	22,1	6,4	1,8	20,5	7,0	57,8
в т.ч. стоимость удобрений, тыс. руб./га	13,5	4,1	-	13,5	4,1	35,2
Условный чистый доход, тыс. руб./га,	33,9	0,4	19,0	-7,7	2,1	47,7
Рентабельность, %	153	6	1056	-38	30	83
Окупаемость 1 кг д.в., руб.	149	68	последейст вие	34	91	111
NPK экв. 40 т/га навоза						
Прибавка урожайности, т/га	3,2	0,65	14,0	8,4	1,06	6,36
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	51,2	6,8	23,5	14,1	8,9	104,5
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	22,3	10,1	2,0	21,5	10,8	66,7
в т.ч. стоимость удобрений, тыс. руб./га	14,0	6,8	-	14,0	6,8	41,7
Условный чистый доход, тыс. руб./га,	28,9	-3,3	21,5	-7,4	-1,9	37,8

Продолжение таблицы 46

1	2	3	4	5	6	7
Рентабельность, %	130	-33	1075	-34	-18	57
Окупаемость 1 кг д.в., руб.	128	28	последейст вие	35	37	82

Таблица 47 - Экономическая эффективность систем удобрения на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве за ротацию плодосменного севооборота с учётом затрат на воспроизводство плодородия

Вариант системы удобрения	Прямой Чистый доход, тыс. руб/га	Изменение показателей плодородия, + -				Затраты на воспроизводство плодородия									Доход с учётом затрат на воспроизводство плодородия, тыс. руб/га
		pH _{ксл}	гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaCO ₃		навоз		P ₂ O ₅		K ₂ O		итого затрат, тыс. руб/га	
				мг/кг	т/га	тыс. руб / га	т/га	тыс. руб/ га	т/га	тыс. руб/ га	т/га	тыс. руб/ га			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Навоз, 40 т/га	115,0	+0,03	+0,03	+7	-63	-0,2	-0,7	-23	-11,5	-46	-2,3	410	9,7	-4,8	119,8
NP экв. 40 т/га навоза +K ₉₀	78,2	-0,16	-0,08	+13	-46	1,2	3,9	60	30,0	-85	-4,2	299	7,1	36,8	41,4
NP экв. 40 т/га навоза +K ₁₁₅	47,7	-0,17	-0,05	+16	-27	1,3	4,2	38	19,0	-104	-5,1	176	4,2	22,3	25,4

Продолжение таблицы 47

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
НРК экв. 40 т/га навоза	37,8	-0,09	-0,08	+12	-18	0,7	2,3	60	30,0	-78	-3,9	117	2,8	31,2	6,6

Дополнение азота калием в среднегодовой дозе 60 кг/га, хотя и сопровождалось незначительным повышением продуктивности севооборота, уровень рентабельности системы удобрения понизило до 153%. А на фоне полного удобрения рентабельность уменьшилась до 82%. Такое ухудшение экономических показателей объясняется высокой стоимостью удобрений и слабой реакцией культур севооборота на фосфор и калий. В структуре общих дополнительных затрат за ротацию севооборота на долю стоимости удобрений приходилось 51% в варианте «N₉₀₋₁₂₀», 52% - в варианте «N₉₀₋₁₂₀K₆₀» и 59% - в варианте «N₉₀₋₁₂₀P₆₀K₆₀». В целом же все изучавшиеся варианты системы удобрения были высокорентабельными, хотя по отдельным культурам севооборота экономические показатели сильно различаются.

Вследствие трудно объяснимых с позиций логики различий в рыночных ценах картофеля и зерна, на долю первой культуры приходилось от 73 до 83% получаемого за ротацию чистого дохода. В то же время при удовлетворительных показателях агрономической эффективности применения удобрений под зерновые культуры, использование их в ряде случаев было даже убыточным. Высокоурожайные пропашные кормовые культуры (кормовая свёкла, кукуруза) экономически эффективно использовали средние дозы минеральных удобрений, хотя и у них на фоне полного удобрения уровень рентабельности снижался на 48 - 53%.

Нельзя не обратить внимание на тот факт, что ощутимой причиной достаточно высокой окупаемости удобрений в зернопропашном севообороте является низкий уровень оплаты труда сельскохозяйственных рабочих. Так, если в структуре затрат, связанных с формированием прибавки урожайности, на стоимость удобрений приходилось более 50%, то на оплату труда всего 2,2 - 2,7%.

Но, все же основой для обеспечения экономической оправданности использования дорогостоящих минеральных удобрений (с конца 80-х годов прошлого века цена 1 т хлористого калия увеличилась в 1090 раз) являются

предшествующие многолетние вложения землепользователя в процессе окультуривания почвы. Соответственно, использованные в исследовании варианты ресурсосберегающей системы удобрения с отрицательным балансом гумуса и большинства макроэлементов и обеспечивающие высокий экономический эффект сегодня, в последующем потребуют значительных затрат на воспроизводство плодородия почвы. Как видно из данных таблицы 44, компенсация деграционных потерь за ротацию севооборота только по важнейшим агрохимическим параметрам плодородия потребует от 46 до 64,5 тыс. рублей на каждом гектаре. Правда, сегодняшняя рыночная цена картофеля позволяет покрывать и такие затраты. То есть, если бы выполнялось требование обязательного сохранения плодородия почвы, рентабельность вариантов системы удобрения могла бы составить: для «N₉₀₋₁₂₀» - 33%, «N₉₀₋₁₂₀K₆₀» - 35%, «N₉₀₋₁₂₀P₆₀K₆₀» - 19%. Указанные параметры экономической эффективности можно считать вполне приемлемыми для хозяйствования, ориентированного не только на сегодняшний день, но и на перспективу. Использование же ресурсосберегающих систем удобрения следует рассматривать как временную меру, рассчитанную на преодоление фос-мажорных ситуаций.

В полевом опыте №2 на базе плодосменного полевого севооборота изучались варианты органической и минеральной систем удобрения со среднегодовым дефицитом баланса калия от 50 до 106 кг/га (то есть ощутимо меньшим, чем в опыте №1). Баланс азота тоже был дефицитным, а фосфора - с незначительным профицитом.

Поскольку культуры севооборота по-разному реагировали на органическую и минеральную системы удобрения, это соответствующим образом отражалось и на экономической эффективности последних. Прибавка урожайности картофеля по навозу составляла 8,9 т/га, а по минеральным удобрениям - только 3,2 - 5,8 т/га. По этой (но и не только) причине уровень рентабельности органической системы удобрения на посадках картофеля был

в 1,3 - 2,7 раза выше, чем минеральной. На посевах кормовой свёклы зависимость была противоположной: прибавка урожайности корнеплодов при внесении 40 т/га навоза составляла 6,2 т/га, а при внесении эквивалентной по NPK дозы минеральных удобрений - 8,4 т/га. Правда, при такой высоте прибавок урожайности удобрения не окупались, но убыточность минеральной системы удобрения была в 1,6 раза ниже.

В целом по ротации севооборота уровень рентабельности обоих типов системы удобрения был достаточно высоким - от 57 до 199%. Но формировался он, в основном, за счёт высокой рыночной цены картофеля, на долю стоимости прибавок которого приходилось до 82% от общей по севообороту. При этом преимущество органической системы удобрения было весьма значительным, с одной стороны, в связи с лучшей отзывчивостью картофеля на навоз, с другой, - с невысокой стоимостью навоза (80 т навоза оцениваются в 16 тысяч рублей, а эквивалентная по NPK доза туков - 41,7 тысяч рублей). Хотя комплекс работ по применению навоза существенно затратнее относительно минеральных удобрений.

Экономическая эффективность органической системы удобрения будет возрастать дополнительно, если присовокупить положительные последствия её использования в направлении воспроизводства почвенного плодородия (табл. 47). С учётом этого фактора уровень рентабельности использованных в опыте вариантов системы удобрения будет составлять: "навоз, 40 т/га" - 226%, "NP экв. 40 т/га навоза + K₉₀" - 43%, "NP экв. 40 т/га навоза + K₁₁₅" - 32%, "NPK экв. 40 т/га навоза" - 7%.

5.2. Экономическая эффективность калийного удобрения в овощном севообороте на почвах разной окультуренности

Большинство овощных культур и, в частности столовые корнеплоды, принадлежат к калиефильным растениям и, как показано в разделе 3.3, могут

Таблица 48 - Экономическая эффективность калийного удобрения в овощном севообороте на дерново-подзолистой почве

Показатели, единицы измерения	Культуры севооборота									
	на хорошо окультуренной почве					на слабоокультуренной почве				
	свёкла	морковь	горох- овёс	репа	звено, з.е.	свёкла	морковь	горох- овёс	репа	звено, з.е.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фон + K ₉₀										
Прибавка урожайности, т/га	14,0	8,0	2,8	8,0	5,28	14,0	18,0	3,4	14,0	7,94
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	168,0	96,0	4,0	96,0	364,0	168,0	216,0	4,9	168,0	556,9
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	61,7	35,9	2,8	35,9	136,3	61,7	77,7	3,0	61,7	204,0
в т. ч. стоимость удобрений, тыс. руб./га	1,8	1,8	1,8	1,8	7,2	1,8	1,8	1,8	1,8	7,2
Условно чистый доход, тыс. руб./га	106,3	60,1	1,2	60,1	227,7	106,3	138,3	1,9	106,3	352,9
Рентабельность, %	172	167	43	167	167	172	178	63	172	173
Окупаемость 1 кг д.в., руб.	1867	1067	44	1067	1011	1867	2400	54	1867	1547
Фон + K ₁₈₀										
Прибавка урожайности, т/га	24,0	12,0	2,6	6,0	7,06	16,0	32,0	6,4	32,0	13,89

Продолжение таблицы 48

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	288,0	144,0	3,7	72,0	507,7	192,0	384,0	9,1	384,0	969,1
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	105,3	55,1	5,3	30,0	195,7	71,8	138,6	5,8	138,6	354,9
в т. ч. стоимость удобрений, тыс. руб./га	3,6	3,6	3,6	3,6	14,4	3,6	3,6	3,6	3,6	14,4
Условно чистый доход, тыс. руб./га	182,7	88,9	-1,6	42,0	312,0	120,2	245,4	3,3	245,4	614,2
Рентабельность, %	174	161	-30	140	159	167	177	57	177	173
Окупаемость 1 кг д.в., руб.	1600	800	21	400	705	1067	2133	51	2133	1346
Фон + К ₂₇₀										
Прибавка урожайности, т/га	24,0	14,0	3,4	8,0	7,94	16,0	34,0	7,4	32,0	14,38
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	288,0	168,0	4,9	96,0	556,9	192,0	408,0	10,6	384,0	994,6
Дополнительные затраты, тыс. руб./га	107,7	66,6	7,9	40,8	223,0	75,6	149,4	8,4	141,1	374,4
в т. ч. стоимость удобрений, тыс. руб./га	5,5	5,4	5,4	5,4	21,6	5,5	5,4	5,4	5,4	21,6
Условно чистый доход, тыс. руб./га	180,3	101,4	-3,0	55,2	333,9	116,4	258,6	2,2	242,9	620,2

Продолжение таблицы 48

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Рентабельность, %	167	152	-38	135	150	154	173	26	172	166
Окупаемость 1 кг д.в., руб.	1067	622	18	356	497	711	1511	39	1422	888

положительно реагировать на калий удобрений даже на высокообеспеченных этим элементом почвах. А при оптимизации водного режима последних они эффективно используют и высокие дозы калийных удобрений.

В таблице 48 приведены усреднённые для двух уровней водного режима показатели экономической эффективности применения в звене овощного севооборота разных доз калийного удобрения, подтверждающие наличие таких закономерностей. Во-первых, рентабельность использования этого удобрения на хорошо окультуренной высокообеспеченной калием дерново-подзолистой почве (159 %) лишь немного уступала соответствующему показателю на бедной калием слабоокультуренной (170 %). Во-вторых, в отличие от полевых культур (опыты №№ 1 - 2), у столовых корнеплодов с кратным увеличением дозы удобрения экономическая эффективность снижалась незначительно. В частности, уровень рентабельности доз K_2O по звену севооборота составил: 90 кг/га - 170%, 180 кг/га - 166%, 270 кг/га - 158%. Конечно, при этом надо иметь в виду, что баланс калия по всем вариантам системы удобрения был отрицательным.

Калийное удобрение в изучавшихся дозах обеспечивало высокие экономические показатели на всех овощных культурах севооборота. В среднем уровень рентабельности применения туков на посевах столовой свёклы и моркови составил 168%, на посевах репы - 161%. Хотя по высоте урожая свёкла превосходила морковь и, тем более, репу. Но высокая затратность ручного труда на уборочных работах в значительной мере нивелировала экономические показатели по культурам. По этой же причине доля стоимости удобрений в структуре дополнительных затрат, связанных с получением прибавки урожайности, была многократно меньшей, чем в полевых севооборотах - всего от 4 до 10%.

5.3. Экономическая эффективность калийного удобрения в звене полевого севооборота на среднекультуренной почве

Несмотря на краткосрочность анализируемого исследования, полученная в нём информация больше соответствует реальным производственным условиям региона как относительно плодородия пахотных почв, так и относительно набора сельскохозяйственных культур. Два изучавшихся в опыте варианта системы удобрения ($N_{60-120}P_{60}K_{60}$ и $N_{60-120}P_{60}K_{90}$) были дефицитными по калию (среднегодовой дефицит 34 и 15 кг/га соответственно, третий ($N_{60-120}P_{60}K_{120}$) - профицитным (+31 кг K_2O на 1 га).

Выращиваемые в звене полевого севооборота сельскохозяйственные культуры по-разному отзывались на внесение калийного удобрения. Прибавки урожайности относительно контроля составляли: у ячменя - 20 - 45%, у кормовой свёклы - 30 - 53%, а у льна-долгунца - всего 4 - 7%. В соответствии с агрономической складывалась и экономическая эффективность применения калийного удобрения в дозах от 60 до 120 кг/га (табл. 49). Уровень рентабельности на посевах типичной калиефильной культуры - кормовой свёклы, достигал 180 - 196%, высоким он был и в посевах ячменя - 82 - 104%. А вот внесение хлористого калия под лён оказалось убыточным. Связано это не только с низкой агрономической эффективностью удобрения на посевах льна - долгунца (возможно, из-за фитотоксичности хлора), но и необоснованной заниженностью цен на льнопродукцию (цена 1 т льносемян приравнена к цене 1 т клубней картофеля при соотношении фактической урожайности 1 : 30 - 40).

В целом же по звену севооборота, размещённого на среднекультуренной супесчаной дерново-подзолистой почве, несмотря на высокую цену хлористого калия (12 тыс. руб за 1 т), а соответственно, и значительное участие его стоимости в общих дополнительных затратах на

Таблица 49 - Экономическая эффективность калийного удобрения в звене полевого севооборота на среднекультуренной дерново-подзолистой почве

Показатели, единицы измерения	Культуры звена севооборота				В целом по звену севообо- рота, з.е.
	ячмень	свёкла кормовая	лён-долгунец		
			соломка	семена	
1	2	3	4	5	6
Фон + K ₆₀					
Прибавка урожайности, т/га	0,4	9,0	0,2	0,02	2,52
Стоимость прибавки, тыс. руб/га	4,2	15,1	1,4	0,3	21,0
Дополнительные затраты, тыс. руб/га	2,2	5,1	1,5	0,7	9,5
в т. ч. стоимость удобрений, тыс. руб/га	1,2	1,2	1,2		3,6
Условно чистый доход, тыс. руб/га	2,0	10,0	-0,5		11,5
Рентабельность, %	91	196	-23		121
Окупаемость 1 кг д.в., руб	70	252	28		117
Фон + K ₉₀					
Прибавка урожайности, т/га	0,6	12,0	0,3	0,03	3,49
Стоимость прибавки, тыс. руб/га	6,2	20,2	2,1	0,5	29,0
Дополнительные затраты, тыс. руб/га	3,4	7,0	2,2	1,1	13,7
в т. ч. стоимость удобрений, тыс. руб/га	1,8	1,8	1,8		5,4
Условно чистый доход, тыс. руб/га	2,8	13,2	-0,7		15,3
Рентабельность, %	82	189	-21		112
Окупаемость 1 кг д.в., руб	69	224	29		107

Продолжение таблицы 49

1	2	3	4	5	
Фон + K ₁₂₀					
Прибавка урожайности, т/га	0,9	15,0	0,3	0,05	4,42
Стоимость прибавки, тыс. руб/га	9,4	25,2	2,1	0,8	37,5
Дополнительные затраты, тыс. руб/га	4,6	9,0	2,8	1,4	17,8
в т. ч. стоимость удобрений, тыс. руб/га	2,4	2,4	2,4		7,2
Условно чистый доход, тыс. руб/га	4,8	16,2	-1,3		19,7
Рентабельность, %	104	180	-31		111
Окупаемость 1 кг д.в., руб	78	210	24		104

получение прибавки урожайности (35 - 40%), рентабельность доз K₂O от 60 до 120 кг/га превысила 100%.

Заключение к главе 5

Произошедший за последние два - три десятилетия рост цен на минеральные удобрения в тысячу и более раз отрицательно отразился на экономике земледелия в регионе. Если в 80-е годы прошлого века в условиях Северо - Запада РСФСР каждый вложенный рубль мог приносить 3 - 4 рубля чистого дохода (Небольсин А.Н. и др., 1983), то в настоящее время такой экономический эффект считается, как правило, нереальным. Этим и объясняется обвальное сокращение объёмов использования туков, особенно калийных, при стабильно работающей в стране туковой промышленности.

Выполненный комплекс исследований на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности и в разных типах и видах севооборотов подтвердил факт снижения окупаемости удобрений. Тем не менее, и при современном

уровне цен ресурсосберегающие варианты системы удобрения в условиях полевых опытов обеспечивали показатели рентабельности от 57 до 190% в интенсивных зернопропашном и плодосменном севооборотах, 165% - в овощном и 112 - 121% - в звене севооборота на среднекультуренной дерново-подзолистой почве.

Такой уровень экономической эффективности мог бы считаться вполне удовлетворяющим сельхозпроизводителей, если бы не целый ряд неблагоприятных обстоятельств. Во-первых, это формирование положительных показателей рентабельности в основном за счёт не самых распространённых в структуре посевных площадей сельскохозяйственных культур - картофеля и овощей, в то время как на посевах зерновых и льна-долгунца применение удобрений зачастую убыточно. Во-вторых, в структуре общих затрат на формирование прибавки урожайности на долю стоимости удобрений приходится до 59%, а на оплату труда сельскохозяйственных рабочих - менее 3% (в полевых севооборотах). В-третьих, ресурсосбережение в форме отрицательного баланса элементов питания в системах удобрения сопровождается ухудшением определённых показателей почвенного плодородия. По данным многолетнего полевого опыта, компенсация деградационных потерь от использования в течение одной ротации систем удобрения с отрицательным балансом гумуса, азота и калия потребует в будущем затрат от 46 до 64,5 тыс. рублей на 1 га. При этом существенная часть таких затрат определяется необходимостью восстановления потерь почвой запасов обменного калия.

При сложившихся сегодня ценах стоимость 1 кг NPK в составе навоза в 2 - 3 раза меньше, чем в составе заводских туков. К тому же, положительное действие навоза на урожай сельскохозяйственных культур и плодородие почвы определяется не только содержанием в нём этих трёх макроэлементов. Поэтому в полевом опыте №2 уровень рентабельности системы удобрения, основанной на двухкратном внесении за ротацию севооборота по 40 т/га

навоза, многократно превысил показатель, соответствующий эквивалентной дозе NPK в составе минеральных удобрений. Хотя современные возможности замены туков навозом тоже ограничены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Калийное состояние дерново-подзолистых почв пахотных угодий Северо-Западного района РФ характеризуется неоднородностью, обусловленной пестротой минералогического и химического состава материнских пород, уровнем окультуренности, а на современном этапе и экстенсивностью используемых систем земледелия. Валовое содержание калия в суглинистых разновидностях объектов исследования было в полтора раза выше, чем в песчаных. Насыщенность материнской породы карбонатами не изменяла характер этой зависимости. Пахотный слой хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв содержал валового калия на 11% больше, в сравнении со слабоокультуренными, и на 9%, чем гумусовый горизонт целинных аналогов.

2. Профильное распределение в почве валовых запасов калия значительно равномернее, чем фосфора и азота. В исследовании оно удовлетворительно коррелировало с содержанием в соответствующем горизонте физической глины. У суглинистых разновидностей содержание K_2O возрастало с 19627 мг/кг в пределах гумусового (пахотного) горизонтов до 20592 мг/кг в составе материнской породы, а у песчаных – снижалось соответственно с 13448 до 10408 мг/кг.

3. Содержание подвижных форм калия тоже имеет некоторую связь с гранулометрическим составом почвы. Тяжелосуглинистые материнские породы объектов исследования содержали в среднем 8 мг/кг водорастворимого калия и 61 мг/кг подвижного, песчаные – 6 и 39 мг/кг соответственно. Но всё же главным фактором формирования соответствующего уровня обеспеченности дерново-подзолистой почвы доступными растениям формами калия является степень её окультуренности.

Хорошо окультуренные почвы содержали водорастворимого калия в 5,4 раза больше, чем целинные и слабоокультуренные, а обменного – в 4,6 и 3,2 раза соответственно. При этом у них отмечалось накопление подвижного калия и в подпахотных горизонтах (на глубину до 80 см). Интенсивность трансформационного процесса зависит от баланса калия в системах удобрения. За 70 – 80-е годы XX века при интенсивности баланса, превысившем 200%, средневзвешенный показатель содержания подвижного калия в пахотных почвах Северо-Западного района увеличился на 29 мг/кг.

4. Степень подвижности калия в целинных дерново-подзолистых почвах низкая по всему профилю, независимо от гранулометрического состава, наличия или отсутствия карбонатов. В процессе окультуривания она закономерно возрастала с 0,3% до 0,5% у слабоокультуренных и до 1,45% у хорошо окультуренных аналогов.

5. Доля водорастворимого калия в составе подвижного связана у дерново-подзолистых почв как с генезисом, так и уровнем окультуренности. Остаточно-карбонатные почвы содержали в составе подвижной формы 38% водорастворимого калия, а обычные – вдвое меньше. У слабоокультуренного вида доля легкорастворимого калия снижалась относительно целинных аналогов на 32%, а у хорошо окультуренного – возрастала на 19%.

6. Содержание в дерново-подзолистых почвах потенциально доступного, необменного, калия определяется главным образом их гранулометрическим составом. Гумусовые горизонты суглинистых разновидностей изучаемых почв содержали в среднем 933 мг/кг необменного калия, песчаных - 247 мг/кг. Хотя и не столь значительна, но тоже существенна зависимость от уровня их окультуренности: целинные аналоги содержали 485, слабоокультуренные - 473, хорошо окультуренные - 812 мг K_2O в 1 кг почвы.

7. Неудовлетворительное по большинству показателей калийное состояние целинных дерново-подзолистых почв Северо-Западного района

РФ за счёт значительных затрат нескольких поколений земледельцев оптимизируется на стадии хорошей окультуренности этих почв. Но, оторванное от своей генетической природы, оно не может быть устойчивым без соответствующих мероприятий по его поддержанию. В работе это обосновано данными агрохимической службы и результатами длительных стационарных опытов.

8. Не вполне корректно делать заключение о закономерностях трансформации калийного состояния почв по данным краткосрочных, да и длительных опытов, в которых изучалась только обменная форма калия, поскольку изменение других составляющих калийного состояния может иметь не меньшее хозяйственное и экологическое значение. Это же касается и использования статистических данных агрохимической службы без учёта произошедших изменений в обследуемой площади сельскохозяйственных земель.

9. Свойственный современному этапу функционирования земледелия деградационный процесс наиболее скоротечен в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах. На фоне калийдефицитной системы удобрения такие почвы утрачивали в среднем за год: в полевом севообороте по 7,7 мг/кг водорастворимого, 12 мг/кг подвижного и 56 мг/кг необменного калия; в овощном соответственно по 8, 83 и 86 мг/кг, что суммарно превысило показатели дефицита хозяйственного баланса этого элемента. Снижение содержания подвижного калия на 10 мг/кг происходило на фоне не возмещённых продуктивных потерь K_2O в 101 кг/га в полевом севообороте и 58 кг/га - в овощном. При этом деградационный процесс затронул и подпахотный слой почв. В то же время у слабоокультуренной почвы на фоне высоких доз минеральных удобрений имело место некоторое увеличение содержания подвижного калия и при отрицательном балансе K_2O .

10. Потеря хорошо окультуренной почвой разных форм калия при хронической дефицитности его баланса происходит не синхронно. В условиях 21 - летнего полевого опыта в первые годы она утрачивала преимущественно более подвижные соединения, а на определённом (вероятно, для каждой почвы своём) этапе начиналась ускоренная потеря необменного калия. На фоне азотного удобрения деградиционный процесс ускорялся.

11. В условиях почвенной засухи скорость деградации калийного состояния почвы замедлялась, вероятно, вследствие уменьшения продуктивных и непродуктивных потерь калия. Но в расчёте на единицу дефицита баланса K_2O показатель снижения содержания подвижного калия возрастал в полтора раза, что может указывать на усиление необменной фиксации калия почвы и удобрений.

12. Продолжительный остродефицитный баланс калия в системах удобрения на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве привёл к ухудшению и термодинамических показателей калийного состояния последней. За 21 год наблюдений в условиях полевого опыта калийный потенциал почвы увеличился в среднем на 27%, потенциальная буферная способность относительно калия - на 35%, содержание легкообменного калия уменьшилось в 3,9 раза, равновесная активность ионов - в 4,9 раза.

13. Минералогический состав легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы за 21 год исследования не претерпел существенных изменений. Наблюдалась лишь тенденция к некоторому снижению содержания калиевых слюд и повышению содержания хлоритов. Содержание же полевых шпатов и каолинита по всем вариантам системы удобрения осталось близким к исходному уровню.

14. Степень сопоставимости показателей содержания в дерново-подзолистых почвах обменного калия, полученных с использованием методов Масловой и Кирсанова, может изменяться в значительных пределах,

вероятно, вследствие различий в минералогическом составе почв. Распространённое мнение о завышенности показателей по методике А.Т. Кирсанова в исследовании не нашло подтверждения.

15. Агрономическая эффективность применяемых на дерново-подзолистых почвах калийсодержащих удобрений определялась окультуренностью почвы, её водным режимом, биологическими особенностями сельскохозяйственных растений, дозами удобрения. На хорошо окультуренных видах этих почв с высоким содержанием "остаточного" калия удобрений она не проявлялась многие годы, а на слабо- и среднеокультуренных в ряде случаев не уступала эффективности азотных удобрений .

16. Хорошо окультуренные дерново-подзолистые почвы Северо-Западного района, характеризующиеся значительными запасами доступных для растений форм калия и других элементов питания, обладают высоким потенциалом продуктивности. В длительных полевых опытах на таких почвах среднегодовая продуктивность полевых севооборотов на неудобренном фоне составляла 4,4 - 5,5 т зерновых единиц с 1 га. При этом на них наблюдалась высокая эффективность азотного удобрения, внесение которого сопровождалось увеличением в полтора раза коэффициента использования калия почвы.

17. Традиционные для земледелия Северо - Западного района РФ сельскохозяйственные культуры в условиях полевых опытов на порядок различались выносом калия урожаями - от нескольких десятков (зерновые, лён-долгунец) до нескольких сотен кг/га (клевер луговой, столовые и кормовые корнеплоды). В значительной степени по этой причине и разная интенсивность использования ими калия почвы, а соответственно, неодинаковая реакция на калийное удобрение. Если прибавки урожайности от последнего у льна-долгунца на почве, содержащей 108 мг/кг подвижного

калия, составляли 4 - 10%, то у столовой свёклы - 11 - 29% на почве с содержанием 525 мг K_2O в 1 кг.

18. Как и у других видов удобрений, агрономическая эффективность калийных была выше в условиях благоприятного для растений водного режима. Оптимизация последнего нормированными поливами повышало окупаемость 1 кг K_2O урожаем овощных культур на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве на 59%, на слабоокультуренной - в 2,5 раза. При этом становилось оправданным повышение доз калия до 180 - 270 кг/га даже на высокообеспеченной калием почве.

19. Качество сельскохозяйственной продукции и в полевых, и в овощном севооборотах определялось в основном уровнем окультуренности почвы, её водным режимом, физиологическими особенностями растений, действием азота удобрений, погодными условиями. Относительно этих факторов влияние калийного удобрения было менее существенным и проявлялось не на всех культурах. В частности, уменьшение загрязнения продукции нитратами установлено только в зелёной массе кукурузы (на 16 - 21%), столовых корнеплодах (на 5 - 10%); повышение сахаристости (на 0,5% абс.) у столовых корнеплодов. На слабо- и среднеокультуренных почвах имело место незначительное увеличение содержания в продукции калия и улучшение технологических свойств льносоломки.

20. При соблюдении определённых условий экономически оправданное применение удобрений в полевых и овощном севооборотах на дерново-подзолистых почвах Северо - Запада РФ возможно и при современных ценах туков. К таким условиям относятся наличие в севообороте культур, гарантирующих высокий уровень оплаты действующего вещества (в частности картофеля и овощных), а также учёт обеспеченности почвы калием. Хотя на хорошо окультуренных высокообеспеченных калием почвах наиболее рентабельны системы удобрения с дефицитным балансом этого элемента, их использование не

должно быть длительным вследствие неизбежности деградации почвенного плодородия.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Даже в современных кризисных для земледелия Северо - Западного района РФ условиях не допустим отказ от калийсодержащих удобрений на слабо- и среднеокультуренных дерново-подзолистых почвах, содержащих в пахотном слое менее 100 мг/кг подвижного калия, а в овощных севооборотах - и на хорошо окультуренных.

2. Хотя в полевых севооборотах на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах потребность сельскохозяйственных растений в калии может до 20 лет удовлетворяться за счёт почвенных запасов этого питательного элемента (особенно на фоне оптимизации азотного режима), тем не менее, длительный калийдефицитный баланс в системах удобрения следует исключать во избежание неизбежной катастрофической деградации калийного состояния почвы.

3. Искусственная оптимизация водного режима почвы в овощных севооборотах желательна не только с позиций повышения эффективности калийного удобрения, но и как один из факторов уменьшения необменной фиксации калия почвы и удобрений.

4. В целях снижения затратности систем удобрения и предотвращения деградации почвенного плодородия следует добиваться полного использования в каждом землепользовании местных запасов навоза.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективы дальнейшей разработки темы определяются, с одной стороны, требованием дополнения объектов исследования (почв тяжёлого гранулометрического состава, новых для региона сельскохозяйственных культур, ряда неизученных качественных показателей продукции), а также использования более точных методов анализа минералогического состава почвы. С другой стороны - необходимостью учёта сложившейся в земледелии региона ситуации. В частности, возникла необходимость изучения калийного состояния почв в условиях многолетней залежи. Кроме того, целесообразно использовать расширившуюся возможность для уточнения и детализации полученных нами представлений о характере деградационного процесса в дерново-подзолистых почвах за счёт мониторинга этого процесса в реальных производственных условиях на фоне калийдефицитных систем удобрения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авакян, Н.О. ППК и калийное питание растений / Н.О. Авакян // *Агрохимия*. - 1969. - № 8. - С. 35 - 43.
2. Авдонин, Н.С. Почвы, удобрения и качество растительной продукции / Н.С. Авдонин. - М.: Колос, 1979. - 300 с.
3. Агроклиматические ресурсы Ленинградской области. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 119 с.
4. Агроклиматические ресурсы Новгородской области. - Л.: Гидрометеиздат, 1972. - 128 с.
5. Агроклиматические ресурсы Псковской области. - Л.: Гидрометеиздат, 1972. - 111 с.
6. Агрохимические методы исследования почв. - М.: Наука, 1975. - 656 с.
7. Адерихин, П.Г. Подвижный калий механических фракций почв Центрально-Чернозёмных областей / П.Г. Адерихин, А.Б. Беляев // *Агрохимия*. - 1970. - № 11. - С. 46 - 52.
8. Адерихин, П.Г. Химический состав механических фракций чернозёмов центральных областей / П.Г. Адерихин, А.Б. Беляев // *Почвоведение*. - 1974. - № 4. - С.99 - 110.
9. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. - Л.: Наука, 1980. - 287 с.
10. Алексахин, Р.М. Агрохимия ^{137}Cs и его накопление сельскохозяйственными растениями / Р.М. Алексахин, И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // *Агрохимия*. - 1972. - № 2. - С. 129 - 142.
11. Алексахин, Р.М. Поведение ^{137}Cs в системе почва - растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р.М. Алексахин, И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // *Агрохимия*. - 1992. - № 8. - С. 127 - 132.

12. Алексеенко, В.А. Экологическая геохимия / В.А. Алексеенко. - М.: Лотос, 2000. - 627 с.
13. Алов, А.С. Действие удобрений на качество картофеля / А.С. Алов // Вестник с.-х. науки. - 1964. - № 3. - С. 14 - 18.
14. Альшевский, Н.Г. Влияние хлористого калия и калимагнезии на урожай и качество картофеля / Н.Г. Альшевский // Агрохимия. - 1990. - № 8. - С. 37 - 41.
15. Амелин, А.А. Калийные удобрения и аккумуляция нитратов в растениях / А.А. Амелин // Агрохимия. - 1999. - № 9. - С. 29 - 36.
16. Анисмов, В.С. Влияние калия и кислотности на состояние ^{137}Cs в почвах и его накопление проростками ячменя в вегетационном опыте / В.С. Анисмов, С.В. Круглов // Почвоведение. - 2002. - № 11. - С.1323 - 1332.
17. Анспок, П.И. О внесении фосфорных и калийных удобрений в запас / П.И. Анспок // Агрохимия. - 1988. - № 8. - С.31 - 37.
18. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. - М.: Изд. МГУ, 1970. - 488 С.
19. Аристархов, А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. - М.: ЦИНАО, 2000. - 524 с.
20. Аристархов А.Н. Влияние фосфорных и калийных удобрений на содержание крахмала в клубнях картофеля на почвах Московской области / А.Н. Аристархов, А.Н. Поляков // Тр. ЦИНАО, 1976. - Вып. 4. - Часть 2. - С. 3 - 6.
21. Бабарина, Э.А. Фосфатный и калийный режим дерново-подзолистых почв / Э.А. Бабарина // Агрохимия. - 1990. - № 7. - С. 40 - 46.
22. Бабарина, Э.А. Регулирование фосфатного и калийного режима дерново-подзолистых супесчаных почв / Э.А. Бабарина // Агрохимия. - 1991. - № 5. - С. 21 - 26.

23. Бабарина, Э.А. Продуктивность полевых севооборотов, фосфатный и калийный режим дерново-подзолистых среднесуглинистых почв / Э.А. Бабарина, Н.Г. Суров // *Агрохимия*. - 1991. - № 2. - С. 22 - 28.
24. Баранов, Н.Н. Экономическая эффективность применения удобрений / Н.Н. Баранов // *Удобрения, их свойства и способы использования*. - М.: Колос, 1982. - С. 399 - 408.
25. Баранов, Н.Н. Методические указания по определению экономической эффективности удобрений и других средств химизации, применяемых в сельском хозяйстве / Н.Н. Баранов. - М.: Колос, 1979. - 48 с.
26. Баранова, О.Ю. Изменение свойств пахотных дерново-подзолистых почв при зарастании лесом / О.Ю. Баранова, Г.Б. Номеров, М.Н. Строганова // *Почвообразование в лесных биогеоценозах*. - М.: Наука, 1989. - С. 60 - 79.
27. Барсова, Н.Ю. Кинетика десорбции калия из дерново-подзолистых почв / Н.Ю. Барсова // *Агрохимия*. - 1992. - № 10. - С. 39 - 46.
28. Басманов, А.Е. Нитраты в продукции растениеводства/ А.Е. Басманов, С.Р. Соколов // *Химия в сельском хозяйстве*. - 1989. - № 9. - С. 39 - 44.
29. Белоус, Н.М. Эффективность возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений при выращивании картофеля / Н.М. Белоус // *Химия в сельском хозяйстве*. - 1996. - № 2. - С. 28 - 30.
30. Белоус, Н.М. Повышение плодородия песчаных почв / Н.М. Белоус . М.: Колос, 1997. - 192 с.
31. Белоус, Н.М. Воспроизводство плодородия и реабилитация радиоактивно загрязнённых дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада России: дис. ... докт. биол. наук. - Обнинск, 2000. - 430 с.
32. Белоус, Н.М. Способы снижения поступления радионуклидов в растения на загрязнённых почвах / Н.М. Белоус, Г.Е. Мёрзлая, М.О. Смирнов // *Плодородие*. - 2006. - № 4.- С. 33 - 34.

33. Белоус, Н.М. Урожайность и качество картофеля в зависимости от системы удобрения на дерново-подзолистой песчаной почве / Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов, Ю.Л. Кондрашов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии - 2007. - № 5. - С. 30 - 33.
34. Белоус, Н.М. Продуктивность и качество клубней картофеля при различных системах удобрения / Н.М. Белоус, Н.К. Симоненко, В.Ф. Шаповалов, В.В. Талызин, Ю.Л. Кондрашов // Плодородие. - 2009. - № 5. - С. 13 - 15.
35. Белоус, Н.М. Продуктивность плодосменного севооборота и плодородие дерново-подзолистой песчаной почвы в условиях радиоактивного загрязнения / Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов, Д.Г. Кротов, В.В. Талызин // Агротехнический вестник. - 2009. - № 3. - С. 2 - 5.
36. Белоус, Н.М. Влияние удобрений на содержание азотистых веществ и тяжёлых металлов в клубнях картофеля / Н.М. Белоус, В.В. Талызин, В.Ф. Шаповалов, Н.К. Симоненко // Агротехника. - 2010. - № 3. - С. 22 - 28.
37. Белоус, Н.М. Влияние средств химизации на динамику накопления радиоцезия в сельскохозяйственных культурах, его миграцию и плодородие дерново-подзолистой песчаной почвы / Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов, В.Б. Корнеев // Проблемы агрохимии и экологии. - 2011. - № 2. - С. 5 - 12.
38. Белоус, Н.М. Калийные удобрения как фактор влияния на содержание в зелёной массе многолетних трав цезия - 137 / Н.М. Белоус, Ю.А. Анишина, В.Ф. Шаповалов, Е.В. Смольский // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2012. - № 1. - С. 54 - 61.

39. Белоус, Н.М. Влияние длительного применения средств химизации на продуктивность плодосменного севооборота и плодородие дерново-подзолистой почвы в условиях радиоактивного загрязнения / Н.М. Белоус, В.Г. Сычёв, В.Ф. Шаповалов, И.Н. Белоус // Плодородие. - 2013. - № 3. - С. 1 - 3.
40. Белоус, Н.М. Влияние средств химизации на урожайность и качество картофеля в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды / Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов, Г.П. Малявко, Д.П. Шлык // Земледелие. - 2015. - № 2. - С. 28 - 30.
41. Беляев, Г.Н. Эффективность разных по концентрации форм калийных удобрений на лёгких почвах Предуралья / Г.Н. Беляев, Г.Т. Беляева // Агрохимия. - 1973. - № 3. - С. 24 - 34.
42. Благовидов, Н.Л. Сущность окультуривания подзолистых почв / Н.Л. Благовидов // Почвоведение. - 1954. - № 2. - С. 218 - 234.
43. Благовидов, Н.Л. Почвы Ленинградской области / Н.Л. Благовидов. - Л.: Лениздат, 1962. - 133 с.
44. Благовидов, Н.Л. Природные условия и качественная оценка земель зоны / Н.Л. Благовидов // Система ведения сельского хозяйства Северо-Западной зоны РСФСР. - Л.: 1968. - С. 7 - 63.
45. Бобрицкая, М.А. Вынос элементов питания растений из почвы при инфильтрации осадков в зоне достаточного увлажнения / М.А. Бобрицкая, Н.Н. Москаленко // Агрохимия. - 1966. - № 10. - С. 65 - 75.
46. Болдырев, Н.К. Зависимость содержания нитратов в зерне и соломе озимой ржи от доз и соотношения элементов в удобрении и условий погоды / Н.К. Болдырев, Л.С. Вавилова // Экологические проблемы накопления нитратов в окружающей среде. - Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1989. - № 8. - С. 119 - 129.

47. Борисов, В.А. Удобрение овощных культур / В.А. Борисов. - М.: Колос, 1978. - 207 с.
48. Борисов, В.А. Регулирование содержания нитратов в овощах / В.А. Борисов // Картофель и овощи. - 1980. - № 7. - С. 22.
49. Борисов, В.А. Эффективность применения калийных удобрений в овощеводстве / В.А. Борисов // Химия в сельском хозяйстве. - 1994. - № 2. - С. 15 - 17.
50. Борисов, В.А. Плодородие почвы надо постоянно поддерживать / В.А. Борисов // Картофель и овощи. - 1998. - № 1. - С. 23.
51. Борисов, В.А. Экологически безопасные системы удобрений / В.А. Борисов // Картофель и овощи. - 2001. - № 5. - С. 19.
52. Борисов, В.А. Система земледелия и качество продукции в овощеводстве / В.А. Борисов // Картофель и овощи. - 2011. - № 6. - С. 15.
53. Борисов, В.А. Система земледелия и качество продукции в овощеводстве / В.А. Борисов // Картофель и овощи. - 2011. - № 6. С. 15.
54. Борисов, В.А. Оптимальные параметры плодородия и окультуривание почв в овощеводстве / В.А. Борисов // Вестник овощеводства. - 2012. - № 6. - С. 14.
55. Борисов, В.А. Калийный режим аллювиальной луговой почвы поймы р. Москвы при длительном применении удобрений в овощно-кормовом севообороте / В.А. Борисов, И.Ю. Васючков, О.Н. Успенская // Агрохимия. - 2013. - № 2. - С. 11 - 14.
56. Боул, С. Генезис и классификация почв / С. Боул, Ф. Хоул и др. - М.: Прогресс, 1977. - 415 с.
57. Бубнова, Т.В. Особенность транспорта и аккумуляция азота и калия у овощных культур / Т.В. Бубнова, О.А. Соколова, Б.И. Смагин // Агрохимия. - 1995. - № 5. - С. 13 - 22.

58. Важенин, И.Г. О причинах различной эффективности форм калийных удобрений на лёгких дерново-подзолистых почвах / И.Г. Важенин // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. - 1950. - Т. 33. - С. 127 - 191.
59. Важенин, И.Г. Сравнительная эффективность форм калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах лёгкого механического состава / И.Г. Важенин // Тр. Соликамской с.-х. опытной станции. - 1958. - Т. 1. - С. 18 – 65.
60. Вайтекунас, И.И. Сравнительная характеристика биологической продуктивности дерново-подзолистых почв Восточной Литвы, развивающихся под естественной и культурной растительностью / И.И. Вайтекунас, В.Ю. Янушене // Биогеохимический круговорот веществ: тезисы докладов Всесоюзной конференции. - Пушино, 1982. - С. 93 - 94.
61. Водяницкий, Ю.Н. Гидролюды Fe в биогенных новообразованиях лесных почв Русской равнины / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. - 2003. - № 12. - С. 1440 - 1452.
62. Возбуждая, А.Е. Химия почв / А.Е. Возбуждая М. - Высшая школа, 1968. - 428 с.
63. Воробьёв, В.А. Роль калия почвы и удобрений на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности в условиях Северо-Запада РФ: дис. канд. с.-х. наук: 06.01.04. - Великие Луки, 2001. - 141 с.
64. Воробьёв, В.А. Деградация калийного состояния хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв в условиях дефицита баланса калия в системах удобрения / В.А. Воробьёв // Гумус и почвообразование: тр. СПб ГАУ. - СПб., 2003. - С. 134 - 136.
65. Воробьёв, В.А. Деградация агрохимических свойств пахотных почв Псковской области / В.А. Воробьёв // Гумус и почвообразование: тр. СПб ГАУ. - СПб., 2004. - С. 160 - 171.

66. Воробьёв, В.А. Оценка систем удобрения картофеля в полевых севооборотах / В.А. Воробьёв // Аграрная наука. - 2015. - № 3. - С. 14 - 16.
67. Воробьёв, В.А. Влияние минеральных систем удобрения на агрохимические свойства хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв / В.А. Воробьёв, Н.А. Цыганова // Агрохимические приёмы повышения плодородия и продуктивность сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: материалы 40-й международной научно-практической конференции ВНИИА. - Москва: ВНИИА, 2006. - С.19 - 21.
68. Воробьёв, В.А. Агроэкологические аспекты изменения калийного состояния хорошо окультуренных почв / В.А. Воробьёв, Е.Г. Лямцева, О.В. Назарова // Молодёжь в науке - 2007: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных. - Беларусь. - г. Горки. - 2007. - С. 15 - 16.
69. Воробьёв, В.А. Агрохимические свойства пахотных дерново-подзолистых почв Псковской области / В.А. Воробьёв, Г.В. Гаврилова // Научно обоснованные системы земледелия: теория и практика. Материалы международной научно - практической конференции. Ставрополь: Параграф - 2013. - С. 40 - 42.
70. Воробьёв, В.А. Эффективность систем удобрения в посевах ячменя / В.А. Воробьёв, Г.В. Гаврилова // Аграрная наука. - 2015. - № 7. - С. 24 - 26.
71. Воробьёв, В.А. Эффективность систем удобрения в посевах овса / В.А. Воробьёв, Г.В. Гаврилова // Аграрная наука. - 2016. - №2. - С. 7 - 9.
72. Гагарина, Э.И. Почвы и почвенный покров Северо - Запада России / Э.И. Гагарина, Н.Н. Матинян. - СПб.: Изд. СПбГУ, 1995. - 224 с.

73. Гаркуша, И.Ф. Окультуривание почв как современный этап почвообразования / И.Ф. Гаркуша. - Горки: Изд. БГСХА, 1956. - 156 с.
74. Гедройц, К.К. Сочинения / К.К. Гедройц. - М.: Т.З. - 1955. - 445 с.
75. Герасимов, И.П. Учение В.В. Докучаева и современность / И.П. Герасимов. - М.: Мысль, 1986. - 124 с.
76. Герасимова, М.И. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / М.И. Герасимова, М.Н. Строганова. - Смоленск: Ойкумена, 2003. - 268 с.
77. Гибс, Дж. У. О равновесии гетерогенных систем / Дж. У. Гибс // Термодинамические работы. М. - Л.: Гос. изд. техн.-теор. лит-ры, 1950. - С. - 103 - 106.
78. Глазовская, М.А. Общие закономерности накопления запасов элементов-органогенов в дерново-подзолистых почвах хвойно-широколиственных лесов / М.А. Глазовская, П.П. Кречетов, О.В. Чернецова // Почвоведение. - 2004. - № 12. - С. 1430 - 1439.
79. Гоголев, А.И. Процессы преобразования глинистого материала в почвах с глинисто-дифференцированным профилем разных природных зон / А.И. Гоголев, Т.Я. Дронова // Почвоведение. - 1996. - № 11. - С. 1367 - 1375.
80. Годовиков, А.А. Минералогия / А.А. Годовиков. - М.: Недра, 1975. - 520 с.
81. Гомонова, Н.Ф. Влияние длительного применения минеральных удобрений и извести на содержание форм калия в метровом профиле дерново-подзолистой почвы / Н.Ф. Гомонова, И.В. Панникова // Агрохимия. - 1983. - № 8. - С. 59 - 64.
82. Гомонова, Н.Ф. Трансформация форм Fe под влиянием длительного применения агрохимических средств в агроценозе / Н.Ф. Гомонова, В.Г. Минеев // Почвоведение. - 2003. - № 11. - С. 1361 - 1370.

83. Горбунов, Н.И. Высокодисперсные минералы и методы их изучения / Н.И. Горбунов. - М.: Изд. АН СССР, 1963. - 318 с.
84. Горбунов, Н.И. Минералы как источник общих, непосредственных, ближних и потенциальных резервов зольных элементов / Н.И. Горбунов // Агрохимия. - 1969. - № 9. - С. 67 - 73.
85. Горбунов, Н.И. Минералогия и коллоидная химия почв / Н.И. Горбунов. - М.: Наука, 1974. - 313 с.
86. Горбунов, Н.И. Прочность связи калия в минералах и почвах / Н.И. Горбунов, Т.В. Воронина // Агрохимия. - 1968. - № 5. - С. 45 - 50.
87. Горшкова, Е.И. Потенциальная буферная способность по отношению к калию почв зонально-генетического ряда / Е.И. Горшкова, А.Р. Массуд // Агрохимия. - 1984. - № 10. - С. 86 - 92.
88. Григорьев, Г.И. Диагностические показатели окультуренности дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв / Г.И. Григорьев // Повышение плодородия почв лёгкого гранулометрического состава. - М.: Колос, 1975. - С. 14 - 23.
89. Григорьев, Г.И. Диагностические показатели дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности / Г.И. Григорьев // Почвоведение. - 1980. - № 6. - С. 53 - 66.
90. Григорьева, Т.И. Калийные удобрения под лён / Т.И. Григорьева // Лён и конопля. - 1970. - № 1. - С. 8 - 10.
91. Гринченко, Т.А. Активность ионов и буферная способность в отношении калия дерново-подзолистых почв Белорусской ССР / Т.А. Гринченко, Ю.В. Дараган, Н.Н. Алексейчик // Агрохимия. - 1985. - № 3. - С. 39 - 43.
92. Дараган, Ю.В. Активность ионов Ca^{2+} , калий и калийный потенциал дерново-подзолистой известкованной почвы / Ю.В. Дараган, Н.Н. Алексейчик // Агрохимия. - 1986. - № 8. - С. 79 - 83.

93. Державин, Л.М. Содержание в почвах сельскохозяйственных угодий СССР подвижного калия и эффективность калийных удобрений / Л.М. Державин // Вестник с.-х. науки. - 1987. - № 7. - С. 30 - 37.
94. Державин, Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии / Л.М. Державин. - М.: Колос, 1992. - 271 с.
95. Державин, Л.М. Научно-методические подходы к определению выноса питательных веществ сорняками / Л.М. Державин, Н.К. Скворцова // Агрохимический вестник. - 1998. - № 5-6. - С. 10 - 12.
96. Дерюгин, И.П. Агрохимическое обоснование оптимальных параметров содержания в почве подвижных форм фосфора и калия и оптимизация доз фосфорных и калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах / И.П. Дерюгин., Н.А.Кирпичников, В.В. Прокошев // Агрохимия. - 1995. - № 2. - С. 3 - 8.
97. Дёмин, В.А. Формы калийных соединений в дерново-подзолистой почве при длительном применении удобрений / В.А. Дёмин, А. Муса // Изв. ТСХА, 2002. - Вып. 4. - С. 41 - 50.
98. Дёмин, В.А. Изменение содержания форм фосфора и калия в дерново-подзолистой почве и продуктивность севооборота при длительном применении удобрений / В.А. Дёмин, А. Муса // Агрохимия. - 2003. - № 3. - С. 115 - 119.
99. Дзикович, К.А. Картофель и калий / К.А. Дзикович, В.Г. Хованов // Химия в сельском хозяйстве. - 1986. - № 5. - С. 41 - 42.
100. Долотов, В.А. О принципах классификации пахотных почв / В.А. Долотов // Почвоведение. - 1965. - № 8. - С. 55 - 92.
101. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. - М.: Колос, 1979. - 416 с.
102. Дурбажева, Э.С. Агроэкономическая эффективность повышения запасов подвижных форм фосфора и калия в почвах на примере

- передовых хозяйств / Э.С. Дурбажева // Химия в сельском хозяйстве. - 1985. - № 4. - С. 55 - 58.
103. Духанин, А.А. Продолжительность влияния приёмов интенсивного окультуривания песчаных дерново-подзолистых почв на повышение их плодородия и урожайность сельскохозяйственных культур / А.А. Духанин, А.А. Колосова // Агрохимия. - 1996. - № 3. - С. 3 - 8.
104. Егоров, М.А. К вопросу об окультуривании почв / М.А. Егоров // Изв. Гос. ин-та опытной агрономии. - 1929. - № 5. - С. 16 - 27.
105. Ефимов, В.Н. Скрытая деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв России / В.Н. Ефимов, А.И. Иванов // Агрохимия. - 2001. - № 6. - С. 5 - 10.
106. Ефимов, В.Н. Система удобрения / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко. - М.: Колос, 2003. - 320 с.
107. Ефремов, Е.Н. Влияние химизации земледелия на содержание тяжёлых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / Е.Н. Ефремов, В.В. Носиков // Тр. ЦИНАО, М., 1988. - С. 91 - 99.
108. Жарикова, Е.А. Калий в почвах равнинных территорий юга Дальнего Востока / Е.А. Жарикова // Почвоведение. - 2001. - № 9. - С. 1060 - 1068.
109. Жарикова, Е.А. ПБС^к (на примере равнин Приамурья) / Е.А. Жарикова // Почвоведение. - 2004. - № 7. - С. 819 - 827.
110. Жарикова, Е.А. Изменение параметров калийного состояния лугово-бурых отбеленных почв при длительном применении удобрений в севообороте / Е.А. Жарикова, Р.Г. Хасбиуллина, Е.Н. Толтоконева // Агрохимия. - 2007. - № 5. - С. 5 - 9.

111. Жукова, Л.М. Влияние длительного применения удобрений на фиксацию калия и аммония в различных почвах / Л.М. Жукова // Удобрение и плодородие почв: тр. ВИУА. - 1974. - Вып. 2. - С. 85 - 99.
112. Жукова, Л.М. Влияние длительного применения удобрений на калийный режим дерново-подзолистых почв и выщелоченных чернозёмов / Л.М. Жукова, Н.К. Панкова // Тр. ВИУА. - 1985. - Вып. 8. - С. 5 - 22.
113. Забавская, К.М. Фиксация калия разными почвами и выделенными из них механическими фракциями / К.М. Забавская // Агрохимия. - 1974. - № 7. - С. 38 - 42.
114. Забавская, К.М. Влияние доз калийных удобрений на урожай и качество культур / К.М. Забавская, Е.А. Пименов // Агрохимия. - 1980. - № 10. - С. 152 - 164.
115. Забавская, К.М. Подвижность калия в почве при внесении калийных удобрений / К.М. Забавская, Н.К. Панкова, В.М. Чебан // Агрохимия. - 1981. - № 1. - С. 26 - 32.
116. Зайдельман, Ф.Р. Глееобразование - глобальный почвообразовательный процесс / Ф.Р. Зайдельман // Почвоведение. - 1994. - № 4. - С. 21 - 31.
117. Зайдельман, Ф.Р. О роли глееобразования в формировании светлых кислых элювиальных горизонтов / Ф.Р. Зайдельман // Почвоведение. - 1997. - № 11. - С. 1396 - 1407.
118. Захаров, С.А. О культурных почвах и плановом создании их в разных климатических зонах СССР / С.А. Захаров // Почвоведение. - 1936. - № 4. - С. 540 - 561.
119. Зверева, Т.С. О преобразовании вермикулита при окультуривании почв / Зверева Т.С. // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. - 1976. - Вып. 12. - С. 71 - 77.
120. Зверева, Т.С. Изменение микросложения и состава глинистых минералов по профилю дерново-подзолистых почв / Т.С. Зверева,

- Е.М. Лобанец, А.И. Горина // Биогеохимические процессы в подзолистых почвах. Л.: Наука, 1972. - С. 146 - 159.
121. Зеленин, В.М. Накопление нитратов в овощах / В.М. Зеленин // Химизация с.-х. - 1989. - № 9. - С. 36 - 37.
122. Иванов, А.И. Оптимизация условия питания культур на дерново-подзолистых почвах с высоким содержанием фосфора и калия. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук, С.-Пб.: СПГАУ, 1993. - 15 с.
123. Иванов, А.И. Распространение зафосфачено-закалиенных почв в Псковской области / А.И. Иванов // Тезисы докл. науч. - практ. конф. - Великие Луки, 1994. - С. 17.
124. Иванов, А.И. Влияние окультуренности дерново-подзолистой почвы и её водного режима на эффективность калийных удобрений / А.И. Иванов // Агрехимия. - 1998. - № 11. - С. 45 - 48.
125. Иванов, А.И. Почвенно-агрехимическое обоснование системы удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах Северо - Запада России: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. - СПб – Пушкин, 2000. - 40 с.
126. Иванов, А.И. Почвенно-агрехимическое обоснование системы удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах Северо - Запада России. Дисс. ... докт. с.-х. наук. - СПб – Пушкин, 2000. - 295 с.
127. Иванов, А.И. Калий имеет большое значение для овощных культур / А.И. Иванов // Картофель и овощи. - 2001. - № 6. - С. 21.
128. Иванов, А.И. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения / А.И. Иванов, И.А. Иванов, В.А. Воробьёв, Е.Г. Лямцева // Агрехимия. - 2009. - № 4. - С. 21 - 26.

129. Иванов, А.И. Ёмкостно - энергетическая оценка калийного состояния окультуренной дерново-подзолистой почвы / А.И. Иванов, В.А. Воробьёв, Е.Г. Лямцева // Плодородие. - 2009. - № 4. - С. 23 - 25.
130. Иванов, А.И. Оценка длительного использования хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения / А.И. Иванов, Н.А. Цыганова, В.А. Воробьёв // Агрохимия. - 2010. - № 3. - С. 17 - 21.
131. Иванов, А.И. Экономические и экологические проблемы систем удобрения в полевых севооборотах на дерново-подзолистых почвах / А.И. Иванов, В.А. Воробьёв // Международный сельскохозяйственный журнал. - 2016. - №2. - С. 52 - 54.
132. Иванов, И.А. Пути повышения эффективности минеральных удобрений в условиях Северо - Запада РСФСР: дис. ... докт. с.-х. наук. - Великие Луки, 1989. - 388 с.
133. Иванов, И.А. Эффективность удобрений на дерново-подзолистых почвах с очень высоким содержанием фосфора и калия / И.А. Иванов, А.И. Иванов // Агрохимия. - 1991. - № 5. - С. 17 - 21.
134. Иванов, И.А. Польза и вред удобрений / И.А. Иванов, В.Ф. Иванова. - Великие Луки: Изд. ВГСХА, 1993. - 84 с.
135. Иванов, И.А. Зафосфаченно - закалиенные почвы Северо - Запада как объект агроэкологического мониторинга / И.А. Иванов, В.Ф. Иванова, А.И. Иванов // Химия в сельском хозяйстве. - 1994. - № 2. - С. 16 - 18.
136. Иванов, И.А. Почвы Псковской области и их сельскохозяйственное использование / И.А. Иванов, В.П. Спасов, А.И. Иванов. - Великие Луки: Изд. ВГСХА, 1998. - 263 с.
137. Иванов, И.А. Гумусное состояние пахотных дерново-подзолистых почв Северо-Запада России и его трансформация в современных условиях / И.А. Иванов, А.И. Иванов // Агрохимия. - 2000. - № 2. - С. 22 - 26.

138. Иванов, И.А. Научно-производственные основы системы удобрения в Нечернозёмной зоне / И.А. Иванов, А.И. Иванов, В.Ф. Иванова. - Великие Луки: Изд. ВГСХА, 2002. - 216 с.
139. Иванов, И.А. Научно-практические основы системы земледелия Северо - Западного района России / И.А. Иванов, А.И. Иванов. - Великие Луки: Изд. ВГСХА, 2006. - 249 с.
140. Иванова, В.Ф. Совершенствование агрохимической классификации почв / В.Ф. Иванова, И.А. Иванов, А.И. Иванов // Химизация сельского хозяйства. - 1991. - № 12. - С. 24 - 25.
141. Иванова, В.Ф. Калийный фонд пахотных почв Псковской области / В.Ф. Иванова, И.А. Иванов, А.И. Иванов // Химия в сельском хозяйстве. - 1997. - № 4. - С. 38.
142. Иванова, Т.И. Содержание белка и клейковины в зерне озимой пшеницы в зависимости от доз азота, фосфора и калия / Т.И. Иванова // Агрохимия. - 1972. - № 11. - С. 63 - 74.
143. Иванова, Т.И. Действие возрастающих доз азота, фосфора и калия на урожай и качество клубней картофеля / Т.И. Иванова, А.А. Коваленко // Агрохимия. - 1973. - № 3. - С. 35 - 44.
144. Ивашкина, Н.В. Механизм взаимодействия нитратов и калия в процессе поглощения проростками кукурузы / Н.В. Ивашкина, О.А. Соколов // Докл. РАН. - 1996. - Т. 351. - № 1. - С. 137 - 139.
145. Иоселев, Л.Г. Применение калийных удобрений в Самарской области // Химизация сельского хозяйства. - 1991. - № 9. - С. 97 - 99.
146. Исаченко, А.Г. Физико - географическое районирование Северо - Запада РСФСР / А.Г. Исаченко, Е.В. Карнаухова. - Л.: Изд. ЛГУ, 1965. - 348 с.
147. Каменных, Н.Л. Оценка устойчивости калийного состояния серых лесных почв к антропогенному воздействию / Н.Л. Каменных, В.А.

- Дёмин, В.Г. Мамонов // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. - М.: 2002. - № 12. - С. 160 - 161.
148. Канунникова, Н.А. Термодинамические потенциалы и показатели буферных свойств почв / Н.А. Канунникова. - М.: Изд. МГУ, 1989. - 100 с.
149. Канунникова, Н.А. Буферные свойства дерново-подзолистой суглинистой почвы в отношении калия / Н.А. Канунникова, В.П. Ковриго // Биологические науки. - 1981. - № 9. - С. 90 - 96.
150. Караваева, Н.А. Антропогенные изменения таёжных почв на ленточных глинах Северо - Запада России / Н.А. Караваева // Почвоведение. - 1996. - № 11. - С. 1 - 10.
151. Караваева, Н.А. Длительная агрогенная эволюция дерново-подзолистых почв / Н.А. Караваева // Почвоведение. - 2000. - № 2. - С. 169 - 179.
152. Караваева, Н.А. Агрогенные почвы: условия среды, свойства и процессы // Почвоведение. - 2005. - № 12. - С. 1518 - 1529.
153. Караваева, Н.А. Пахотные почвы Нечерноземья: процессно - эволюционный подход к изучению / Н.А. Караваева, Жариков С.Н., Кончин А.Е. // Почвоведение. - 1985. - № 11. - С. 114 - 125.
154. Караваева, Н.А. О проблеме окультуривания почв / Н.А. Караваева, С.Н. Жариков // Почвоведение. - 1998. - № 11. - С. 1327 - 1338.
155. Караваева, Н.А. Генетическая концепция пахотных горизонтов и опыт их типизации / Н.А. Караваева, И.И. Лебедева // Почвоведение. - 2003. - № 12. - С. 1 - 9.
156. Карнаухова, Е.В. Сравнительная характеристика дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности / Е.В. Карнаухова // Тр. Великолукского СХИ. - 1969. - С. 103 - 108.

157. Карпинский, Н.П. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв / Н.П. Карпинский // Действие удобрений на урожай и его качество. - М.: Колос, 1965. - С. 288 - 308.
158. Карпинский, Н.П. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв в связи с их генезисом и окультуренностью / Н.П. Карпинский // Удобрения и основные условия их эффективного применения. - М.: Колос, 1970. - С. 306 - 318.
159. Кауричев, И.С. Почвоведение / И.С. Кауричев, Л.Н. Александрова. - М.: Колос, 1982. - 496 с.
160. Кириллова, Г.Б. Влияние различных систем удобрения культур в севообороте на калийный режим дерново-подзолистой почвы / Г.Б. Кириллова, Ю.П. Жуков // Агрохимия. - 2005. - № 9. - С. 13 - 19.
161. Кирюшин, В.И. Экологические основы земледелия / В.И. Кирюшин. - М.: Колос, 1996. - 366 с.
162. Клебанович, Н.В. Действие извести на свойства дерново-подзолистых легкосуглинистых почв / Н.В. Клебанович, Г.В. Василюк // Почвоведение и агрохимия / Минск, 1993. - Вып. 28. - С. 57 - 69.
163. Кобзаренко, В.И. Значение подпахотных горизонтов почв в снабжении растений фосфором и калием / В.И. Кобзаренко // Плодородие почв и пути его повышения / М.: Колос, 1983. - С. 84 - 91.
164. Кобзаренко, В.И. Ресурсы фосфора и калия дерново-подзолистой почвы и возможности их мобилизации / В.И. Кобзаренко // Агрохимия. - 1999. - № 10. - С. 12 - 23.
165. Козловский, Ф.И. Генетико - гранулометрический анализ изучения агрогенеза текстурно - дифференцированных почв / Ф.И. Козловский, Н.П. Сорокина // Минералогия почв: генезис, география, значение в плодородии / М.: РАСХН ПИД, 1996. - С. 125 - 144.

166. Кондратьев, И.Г. Действие форм калийных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур / И.Г. Кондратьев, Г.В. Подколзина // Агрохимия. - 1968. - № 4. - С. 46 - 57.
167. Кондратьев, И.Г. Поглощение нитратов и катионов растениями кукурузы при различной их обеспеченности элементами питания / И.Г. Кондратьев // Агрохимия. - 1981. - № 6. - С. 60 - 70.
168. Коновалова, А.С. Диагностические показатели окультуренных почв подзолистого типа / А.С. Коновалова. - М.: Наука, 1967. - 119 с.
169. Кононова, М.М. Органическое вещество почвы / М.М. Кононова. - М.: Наука, 1963. - 314 с.
170. Кононова, М.М. Процессы превращения органического вещества и их связь с плодородием почвы / М.М. Кононова // Почвоведение. - 1968. - № 5. - С. 1 - 14.
171. Копысов, И.Я. Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв в условиях антропогенного воздействия / И.Я. Копысов, А.В. Тюлькин, В.В. Тихонов // Земледелие. - 2010. - № 7. - С. 22 - 24.
172. Кораблёва, Л.И. Экологические основы применения удобрений / Л.И. Кораблёва, Т.Н. Авдеева // Химизация сельского хозяйства. - 1991. - № 1. - С. 12 - 19.
173. Кораблёва, Л.И. Влияние фиксирующей способности пойменных почв на доступность калия растениям / Л.И. Кораблёва, Л.Д. Слуцкая // Почвоведение. - 1972. - № 9. - С. 59 - 62.
174. Корзун, А.Г. Диагностика калийного питания озимой пшеницы с помощью калийного потенциала и показателей активности / А.Г. Корзун, Г.В. Слободническая // Почвенные исследования и применение удобрений. - 1988. - Вып. 19. - С. 87 - 90.
175. Кореньков, Д.А. Продуктивное использование минеральных удобрений / Д.А. Кореньков. - М.: Россельхозиздат, 1985. - 220 с.

176. Коровяковская, С.О. Влияние длительного применения калийных и магниевых удобрений и известкования на урожай растений и плодородие дерново-подзолистых почв, подвергшихся радиационному загрязнению / С.О. Коровяковская // Агрехимия. - 1997. - № 2. - С. 11 - 19.
177. Короневский, В.И. К методике статистической обработки данных многолетних полевых опытов / В.И. Короневский // Земледелие. - 1985. - № 11. - С. 56 - 57.
178. Королёв, А.В. Особенности земледелия на северо - западе Нечернозёмной зоны / А.В. Королёв. - Л.: Лениздат, 1982. - 176 с.
179. Коротков, А.А. Процессы накопления и выноса веществ в дерново-подзолистых пахотных и луговых почвах: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. - Л.: ЛСХИ, 1970. - 36 с.
180. Коротков, А.А. О характере почвообразования в пахотных дерново-подзолистых почвах / А.А. Коротков // Почвоведение. - 1972. - № 4. - С. 15 - 23.
181. Коротков, А.А. О круговороте элементов питания в дерново-подзолистых пахотных песчаных почвах / А.А. Коротков, Л.Ф. Ипполитова // Повышение плодородия дерново-подзолистых почв. - Л.: СЗНИИСХ, 1977. - С. 192 - 205.
182. Коротков, А.А. Содержание и формы калия в дерново-подзолистых почвах лёгкого гранулометрического состава / А.А. Коротков, В.П. Сахарцев // Агрехимия. - 1990. - № 9. - С. 30 - 37.
183. Коршунов, А.В. Качество и сохранность картофеля при разных методах расчёта доз удобрений / А.В. Коршунов // Химизация сельского хозяйства. - 1988. - № 4. - С. 36 - 39.
184. Круглов, С.В. Механизм влияния K^+ и NH_4^+ на накопление ^{137}Cs двухнедельными растениями ячменя из дерново-подзолистой почвы /

- С.В. Круглов, Л.Г. Суслина // Почвоведение. - 2005. - № 10. - С. 1222 – 1231.
185. Кудеяров, В.И. Экологические проблемы применения удобрений / В.И. Кудеяров, В.И. Башкин. - М.: Наука, 1984. - 214 с.
186. Кук, Д.У. Регулирование плодородия почв / Д.У. Кук. - М.: Колос, 1970. - 520 с.
187. Куликова, А.Х. Урожай картофеля и содержание нитратов в клубнях в зависимости от особенностей минерального питания / А.Х. Куликова // Агрохимия. - 1988. - № 4. - С. 60 – 67.
188. Кулаковская, Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т.Н. Кулаковская. - Мн.: Ураджай, 1978. - 272 с.
189. Кулаковская, Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская. - М.: Агропромиздат, 1990. - 218 с.
190. Курсанов, А.Л. Метаболизм растения в условиях калийной недостаточности / А.Л. Курсанов, Э.И. Выскребенцева // Агрохимия. - 1967. - № 1. - С. 65 – 77.
191. Кярблане, Х.А. Влияние минеральных удобрений на динамику лактатнорастворимого фосфора и калия в почве / Х.А. Кярблане, В.В. Ярвела // Химия в сельском хозяйстве. - 1986. - № 12. - С. 38 – 40.
192. Лабенец, Е.М. Химико - минералогический состав и свойства дерново-подзолистых почв, развитых на различных по механическому составу породах / Е.М. Лабенец // Почвоведение. - 1968. - № 4. - С. 94 - 104.
193. Лапа, В.В. Изменение плодородия дерново-подзолистых почв при систематическом применении удобрений / В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко, Е.М. Лимантова // Почвоведение. - 2000. - № 3. - С. 340 - 345.
194. Лапа, В.В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность зернотравяного севооборота и агрохимические

- показатели дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / В.В. Лапа, В.Н. Босак // *Агрохимия*. - 2002. - № 9. - С. 22 - 26.
195. Лапа, В.В. Продуктивность зернового севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы при различных системах применения удобрений / В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко // *Агрохимия*. - 2003. - № 1. - С. 20 - 29.
196. Лапа, В.В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборота и плодородие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / В.В. Лапа, В.Н. Босак // *Агрохимия*. - 2006. - № 10. - С. 15 - 18.
197. Лебедева, Л.А. Минеральные удобрения на дерново-подзолистых почвах / Л.А. Лебедева. - М.: Изд. МГУ, 1984. - 99 с.
198. Левин, Ф.И. Окультуривание подзолистых почв / Ф.И. Левин. - М.: Колос, 1972. - 264 с.
199. Левин, Ф.И. Вопросы окультуривания, деградации и повышения плодородия пахотных почв / Ф.И. Левин. - М.: Изд. МГУ, 1983. - 94 с.
200. Линник, П.Н. Формы миграции металлов в поверхностных водах / П.Н. Линник, Б.И. Набиванец. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. - 270 с.
201. Липкина, Г.С. Влияние удобрений на содержание питательных веществ и их подвижность на лёгких дерново-подзолистых почвах Мещёрской низменности / Г.С. Липкина // *Бюл. ВИУА*. - 1979. - № 47. - С. 15 - 20.
202. Липкина, Г.С. Содержание и соотношение форм подвижного калия в лёгких дерново-подзолистых почвах Нечернозёмного Центра РСФСР, сформировавшихся на разных по генезису почвообразующих породах / Г.С. Липкина // *Агрохимия*. - 1981. - № 10. - С. 47 - 51.
203. Липкина, Г.С. Подвижные формы фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах на суглинистых породах Нечерноземья / Г.С. Липкина // *Почвоведение*. - 1985. - № 11. - С. 126 - 137.

204. Липкина, Г.С. Содержание подвижных соединений калия в интенсивно удобряемых дерново-подзолистых суглинистых почвах / Г.С. Липкина // Почвоведение. - 1985. - № 12. - С. 69 - 75.
205. Литвак, Ш.И. Баланс фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах / Ш.И. Литвак, Э.А. Бабарина, Л.В. Никитина // Химизация сельского хозяйства. - 1991. - № 10. - С. 19 - 21.
206. Лукашов, К.И. Химические элементы в почвах / К.И. Лукашов, Н.Н. Петухова. - Мн.: Наука и техника, 1970. - 229 с.
207. Лукин, С.М. Калийные удобрения на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах / С.М. Лукин, Н.А. Шилова, Л.И. Ермакова // Агрохимический вестник. - 1997. - № 4. - С. 33 - 36.
208. Магницкий, К.П. Эффективность различных форм калийных удобрений на песчаных и супесчаных почвах / К.П. Магницкий // Калийные удобрения. - М.: Колос, 1964. - С. 7 - 56.
209. Майборода, Н.М. О вымывании элементов питания из злаковых культур атмосферными осадками / Н.М. Майборода // Агрохимия. - 1971. - № 8. - С. 135 - 140.
210. Медведева, О.П. Фиксация калия удобрений в необменной форме и его доступность растениям / О.П. Медведева // Агрохимия. - 1971. - № 12. - С. 12 - 19.
211. Медведева, О.П. К вопросу оценки обеспеченности растений доступным калием / О.П. Медведева // Агрохимия. - 1987. - № 1. - С. 116 - 137.
212. Методика исследований по культуре картофеля. - М.: НИИКХ, 1967. - 25 с.
213. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. М.: ВИУА, 1983. - 171 с.

214. Мёрзлая, Г.Е. Сравнительная эффективность систем удобрения в севооборотах на дерново-подзолистой песчаной почве / Г.Е. Мёрзлая, Н.М. Белоус, М.Г. Драганская // *Агрохимия*. - 2002. - № 1. - С. 42 - 47.
215. Милащенко, Н.З. Состояние плодородия почв России и меры по стабилизации производства зерна / Н.З. Милащенко // *Химия в сельском хозяйстве*. - 1996. - № 5. - С. 3 - 8.
216. Минеев, В.Г. Агрохимия и экологические функции калия / В.Г. Минеев. - М.: Изд. МГУ, 1999. - 331 с.
217. Минеев, В.Г. Состояние и перспективы применения минеральных удобрений в мировом и отечественном земледелии / В.Г. Минеев, Л.А. Бычкова // *Агрохимия*. - 2003. - № 8. - С. 5 - 12.
218. Минеев, В.Г. Токсикологические аспекты качества растениеводческой продукции / В.Г. Минеев, Н.К. Грачёва, Т.А. Гришина // *Агрохимия*. - 1986. - № 8. - С. 119 - 129.
219. Минеев, В.Г. Накопление нитратов и нитритов в клубнях картофеля / В.Г. Минеев, Н.К. Грачёва // *Химия в сельском хозяйстве*. - 1988. - № 5. - С. 50 - 52.
220. Минеев, В.Г. Действие и последствие удобрения на плодородие дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы / В.Г. Минеев, Н.Ф. Гомонова // *Агрохимия*. - 2005. - № 1. - С. 5 - 13.
221. Минеев, В.Г. Экологические проблемы агрохимии / В.Г. Минеев. - М.: Изд. МГУ, 1988. - 285 с.
222. Минеев, В.Г. Экологические последствия длительного применения повышенных и высоких доз минеральных удобрений / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе // *Агрохимия*. - 1991. - № 3. - С. 35 - 49.
223. Мирошниченко, Н.Н. Показатели буферности и устойчивости в оценке барьерной функции / Н.Н. Мирошниченко, Я.В. Пашенко, А.И. Фатеев // *Почвоведение*. - 2003. - № 7. - С. 808 - 817.

224. Мурашкина, М.А. Соединения Fe, Al, Si и Mn в почвах лесных экосистем таёжной зоны / М.А. Мурашкина, Г.Н. Копчик // Почвоведение. - 2004. - № 1. - С. 40 - 49.
225. Муха, В.Д. Естественно - антропогенная эволюция почв (общие закономерности и зональные особенности) / В.Д. Муха. - М.: Колос, 2004. - 271 с.
226. Мязин, Н.Г. Влияние удобрений на накопление нитратов и тяжёлых металлов в почве и растениях и на продуктивность звена зернопропашного севооборота / Н.Г. Мязин, Р.А. Павлов, В.В. Шеина // Агрохимия. - 2006. - № 2. - С. 22 - 29.
227. Нарокова, Р.П. Экспериментальное изучение устойчивости первичных силикатов при периодически промывном режиме почв / Р.П. Нарокова // Почвоведение. - 1990. - № 3. - С. 78 - 87.
228. Небольсин, А.Н. Оптимизация калийного питания растений / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина, Л.В. Яковлева // Химизация сельского хозяйства. - 1991. - № 12. - С. 26 - 27.
229. Небольсин, А.Н. Научные основы и технология использования удобрений и извести / Небольсин А.Н., Небольсина З.П. - СПб.: СЗНИИСХ, 1997. - 52 с.
230. Небольсин, А.Н. Оптимизация доз минеральных удобрений под лён на дерново-подзолистых почвах Северо – Запада / Небольсин А.Н., Небольсина З.П. // Агрохимия. - 1999. - № 4. - С. 67 - 74.
231. Небольсин, А.Н. Влияние известкования на использование калия растениями / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина, Л.В. Яковлева // Агрохимия. - 2001. - № 5. - С. 5 - 13.
232. Никитин, Б.А. Свойства и классификация окультуренных дерново-подзолистых почв / Б.А. Никитин. - Чебоксары: Чувашкнигоиздат, 1976. - 161 с.

233. Никитин, Б.А. Окультуривание пахотных почв Нечерноземья и регулирование их плодородия / Б.А. Никитин. - Л.: Агропромиздат, 1986. - 277 с.
234. Никитина, Л.В. Динамика обменного калия и его минимальные уровни в агроценозах на дерново-подзолистых почвах / Л.В. Никитина, И.В. Володарская // Агрохимия. - 2007. - № 2. - С. 14 - 18.
235. Никитина, Л.В. Обменный калий и его подвижность в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава / Л.В. Никитина, В.А. Романенков, М.П. Листова // Плодородие. - 2014. - № 5. - С. 18 - 21.
236. Никитишен, В.И. Обеспеченность серой лесной почвы калием в агроценозах Центральной России / В.И. Никитишен, Л.К. Дмитракова, А.В. Заборин // Почвоведение. - 1994. - № 2. - С. 112 - 118.
237. Никитишен, В.И. Продуктивность использования растениями калия на фоне длительного внесения удобрений в агроценозах / В.И. Никитишен, Л.К. Дмитракова, А.В. Заборин // Агрохимия. - 1996. - № 2. - С. 11 - 20.
238. Никитишен, В.И. О потерях калия посевами озимой пшеницы в период созревания / В.И. Никитишен, В.И. Личко // Агрохимия. - 2004. - № 10. - С. 86 - 94.
239. Носов, В.В. Влияние содержания и состава глинистого материала на калийное состояние дерново-подзолистых почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук. - М., 1997. - 31 с.
240. Носов, В.В. Изменение некоторых показателей калийного состояния дерново-подзолистых почв под влиянием применения калийных удобрений в длительных полевых опытах / В.В. Носов, Т.А. Соколова // Агрохимия. - 1997. - № 5. - С. 13 - 19.
241. Носов, С.И. Методы определения валового фосфора и валового калия / С.И. Носов. - М.: Изд. стандартов, 1984. - 11 с.

242. Ониани, О.Г. Агрохимия калия / О.Г. Ониани. - М.: Наука, 1981. - 199 с.
243. Паниткин, В.А. Влияние длительного применения калийных удобрений на урожай и качество картофеля / В.А. Паниткин, К.А. Дзикович // Агрохимия. - 1981. - № 8. - С. 25 - 28.
244. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение, урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. - М.: Агропромиздат, 1987. - 512 с.
245. Переверзев, В.Н. Калий в окультуренных подзолистых почвах Мурманской области / В.Н. Переверзев, Н.К. Иваненко // Агрохимия. - 1995. - № 12. - С. 11 - 21.
246. Переверзев, В.Н. Калий в подзолистых почвах тундры и лесотундры Кольского полуострова / В.Н. Переверзев, Н.К. Иваненко // Почвоведение. - 1997. - № 4. - С. 450 - 457.
247. Переверзев, В.Н. Влияние удобрений на калийный режим подзолистой почвы и урожайность зелёной массы овса / В.Н. Переверзев, Н.К. Иваненко // Агрохимия. - 2001. - № 8. - С. 11 - 17.
248. Пестряков, В.К. Окультуривание почв Северо – Запада / В.К. Пестряков. - Л.: Колос, 1977. - 343 с.
249. Петербургский, А.В. Изменение форм калия в кислой дерново-подзолистой почве при длительном применении калийных удобрений в связи с особенностями удобрения культур / А.В. Петербургский // Докл. сов. почвоведов к 7-му Междунар. конгр. в США. - М.: Изд. АН СССР, 1960. - С. 215 - 222.
250. Петербургский, А.В. Усвоение растениями калия и других обменно - поглощённых почвой катионов в свете учения К.К. Гедройца / А.В. Петербургский // Почвоведение. - 1973. - № 6. - С. 50 - 59.
251. Петербургский, А.В. Использование калийного потенциала для характеристики условий питания растений калием / А.В. Петербургский, О.А. Репина // Агрохимия. - 1981. - № 4. - С. 151 - 156.

252. Петербургский, А.В. Изучение поведения калия в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах при длительном применении удобрений в условиях бесменного пара и монокультур - ржи и картофеля / А.В. Петербургский, Ф.В. Янишевский // Изв. ТСХА. - 1959. - № 5. - С. 18 - 24.
253. Петербургский, А.В., Янишевский Ф.В. О вымывании калия из почвенных горизонтов / А.В. Петербургский, Ф.В. Янишевский // Изв. ТСХА, 1960. - № 4. - С. 82 - 87.
254. Петров, В.П. Геолого - минералогические исследования уральских белых глин и некоторые выводы по минералогии и генезису глин вообще / В.П. Петров // Тр. ин-та геологических наук. - 1948. - Вып. 95. - № 29. - С. 8 - 15.
255. Петрова, Л.И. Эффективность различных форм калийных удобрений на дерново-подзолистой почве / Л.И. Петрова // Химия в сельском хозяйстве. - 1968. - № 8. - С. 8 - 10.
256. Петрова, Л.И. Удобрение льна – долгунца / Л.И. Петрова, Э.С. Карпова, А.А. Тихомирова. - М.: Колос, 1970. - 15 с.
257. Пивоварова, Е.Г. Влияние калийных удобрений на содержание форм калия и урожайность сельскохозяйственных культур / Е.Г. Пивоварова // Агрехимия. - 1993. - № 2. - С. 44 - 49.
258. Поддубный, Н.Н. Развитие современного почвообразовательного процесса в автоморфных почвах и изменение их вещественного состава под влиянием сельскохозяйственного использования: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. - М., 1973. - 40 с.
259. Поддубный, Н.Н. Содержание калия в подзолистых почвах в зависимости от их минералогического состава и степени окультуренности / Н.Н. Поддубный, В.Г. Дикарев // Докл. ТСХА. - 1970. - Вып.160. - С. 63 - 67.

260. Пономарёва, В.В. Теория подзолообразовательного процесса / В.В. Пономарёва. - М.-Л.: Наука, 1964. - 364 с.
261. Прищеп, Н.И. Эффективность доз и форм калийсодержащих удобрений в зависимости от калийного уровня серых лесных почв / Н.И. Прищеп, П.И. Каратуша, Ф.В. Янишевский // *Агрохимия*. - 1995. - № 4. - С. 22 - 34.
262. Прокошев, В.Н. Повышение плодородия песчаных и супесчаных почв дерново-подзолистого типа / В.Н. Прокошев. - М.: Изд.АН СССР, 1952. - 440 с.
263. Прокошев, В.В. Агрохимия калийных удобрений (по материалам исследований на дерново-подзолистых почвах): дис. ... докт. биол. наук. - М., НИУИФ, 1984. - 438 с.
264. Прокошев, В.В. Актуальные вопросы агрохимии калийных удобрений / В.В. Прокошев // *Агрохимия*. - 1985. - № 4. - С. 32 - 41.
265. Прокошев, В.В. Оптимизация калийного питания растений / В.В. Прокошев // *Параметры плодородия основных типов почв*. - М.: Агропромиздат, 1988. - С. 95 - 100.
266. Прокошев, В.В. Калийные удобрения - фактор экологический / В.В. Прокошев // *Химия в сельском хозяйстве*. - 1993. - № 5, 6. - С. 17 - 18.
267. Прокошев, В.В.. Освещение проблемы калия в журнале "Агрохимия" / В.В. Прокошев // *Агрохимия*. - 2004. - № 1. - С. 18 - 24.
268. Прокошев, В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. - М.: Ледум, 2000. - 185 с.
269. Прокошев, В.В. Минеральный состав и структурные особенности минералов дерново-подзолистых почв и их изменение под влиянием удобрений / В.В. Прокошев, Н.П. Чижикова // *Агрохимия*. - 1979. - № 11. - С. 32 - 37.

270. Прокошев, В.В. Активность почвенного калия как показатель эффективности калийных удобрений на известкованных почвах / В.В. Прокошев, А.В. Кузнецова // *Агрохимия*. - 1975. - № 6. - С. 36 - 39.
271. Прудников, В.А. Влияние обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия на эффективность удобрений в севообороте / В.А. Прудников, М.П. Шкель // *Агрохимия*. - 1989. - № 5. - С. 26 - 33.
272. Пчёлкин, В.У. Динамика калия в поглощающем комплексе почвы / В.У. Пчёлкин // *Почвоведение*. - 1941. - № 1. - С. 18 - 22.
273. Пчёлкин, В.У. Почвенный калий и калийные удобрения / В.У. Пчёлкин. - М.: Колос, 1966. - 336 с.
274. Ремезов, Н.П. Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв / Н.П. Ремезов. - М.: Сельхозгиз, 1957. - 224 с.
275. Роговой, П.П. Обменный калий в дерново-подзолистых почвах на лёссовидных суглинках / П.П. Роговой // *Свойства почв и их плодородие*. - Минск, 1967. - С. 179 - 190.
276. Роде, А.А. Генезис почв и современные процессы почвообразования / А.А. Роде. - М., 1984. - 256 с.
277. Романенков, В.А. Изучение географических закономерностей действия удобрений на продуктивность зерновых культур с учётом агрометеорологических условий на территории Нечернозёмной зоны / В.А. Романенков, М.В. Беличенко, М.П. Листова, В.Н. Павлова // *Агрохимия*. - 2012. - № 4. - С. 21 - 29.
278. Рылушкин, В.И. Влияние удобрений на условия минерального питания и урожай картофеля / В.И. Рылушкин, П.Я. Крышковец // *Почвенные исследования и применение удобрений*. - Минск: Ураджай, 1989. - Вып. 20. - С. 32 - 40.

279. Савченко, Е.Г. Воздействие высушивания и нагревания почв на подвижность питательных веществ / Е.Г. Савченко // Почвоведение. - 2004. - № 3. - С. 322 - 331.
280. Самойлович, М.П. Влияние различных доз удобрений на термодинамические показатели и калийную буферную способность почвы при выращивании многолетних злаково-бобовых трав / М.П. Самойлович, С.А. Касьянчик // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. трудов. - Минск, 1993. - С. 15 - 21.
281. Самсонова, Н.Е. Влияние соединений кремния и минеральных удобрений на урожайность яровых зерновых культур и содержание в них антиоксидантных ферментов / Н.Е. Самсонова, М.В. Капустина, З.Ф. Зайцева // Агрохимия. - 2013. - № 10. - С. 66 - 74.
282. Самсонова, Н.Е. Влияние соединений кремния и сложного NPK-удобрения на водный режим листьев и урожайность яровой пшеницы / Н.Е. Самсонова, З.Ф. Зайцева, М.В. Капустина, Н.А. Антонова // Агрохимия. - 2014. - № 9. - С. 58 - 66.
283. Сапожников, Н.А. Методы прогноза эффективности азотных удобрений / Н.А. Сапожников. // Азот в земледелии Нечернозёмной полосы. - Л.: Колос, 1973. - С. 186 - 304.
284. Сапожников, Н.А. Научные основы системы удобрения в Нечернозёмной полосе / Н.А. Сапожников, М.Ф. Корнилов. - Л.: Колос, 1977. - 296 с.
285. Середина, В.П. Калий в автоморфных почвах на лёссовидных суглинках / В.П. Середина. - Томск: Изд. ТГУ, 1984. - 215 с.
286. Сиротенко, О.Д. Оценка и прогноз эффективности минеральных удобрений в условиях изменяющегося климата / О.Д. Сиротенко, В.А. Романенков, В.Н. Павлова, М.П. Листова // Агрохимия. - 2009. - С. 26 - 33.

287. Скоропанова, П.С. Резервы и запасы калия в дерново-подзолистых почвах БССР / П.С. Скоропанова // Почвоведение и агрохимия. - 1988. - № 24. - С. 17 - 22.
288. Слободницкая, Г.В. Влияние удобрений, известкования и выноса калия сельскохозяйственными культурами на термодинамические показатели Q/I дерново-подзолистых почв / Г.В. Слободницкая // Почвенные исследования и применение удобрений. - Минск, 1991. - Вып. 21. - С. 42 - 52.
289. Смян, Н.И. Агрозёмы и их место в классификации почв Белоруссии / Н.И. Смян, Г.С. Цитрон // Проблемы антропогенного почвообразования. - М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1997. - Т. 2. - С. 113 - 118.
290. Соколов, А.В. Почвенно-агрохимические условия применения удобрений / А.В. Соколов // Агрохимия. - 1964. - № 1. - С. 12 - 22.
291. Соколов, А.В. Состояние и задачи теоретических и методических работ в области агрохимии / А.В. Соколов // Агрохимия. - 1967. - № 1. - С. 3 - 22.
292. Соколова, Т.А. Глинистые минералы в почвах гумидных областей СССР / Т.А. Соколова. - Новосибирск: Наука, 1985. - 256 с.
293. Соколова, Т.А. Калийное состояние почв, методы его оценки и пути оптимизации / Т.А. Соколова. - М.: Изд. МГУ, 1987. - 48 с.
294. Соколова, Т.А. Влияние длительного внесения калийных удобрений на катионный обмен $K - Ca$ в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического и минералогического состава / Т.А. Соколова, М.А. Исаенко // Агрохимия. - 1999. - № 4. - С. 5 - 13.
295. Соколова, Т.А. Факторы, определяющие формы соединений и валовое содержание калия в серых лесных почвах / Т.А. Соколова, И.П. Куйбышева // Почвоведение. - 1989. - № 2. - С. 23 - 34.

296. Соловьёв, В.Г. Изменение агротехнических свойств дерново-подзолистой почвы в льняном севообороте при систематическом применении удобрений / В.Г. Соловьёв, С.Ю. Карпова, Л.И. Петрова // Химия в сельском хозяйстве. - 1998. - № 5. - С. 6 - 7.
297. Сычёв, В.Г. Возможности совершенствования градаций содержания доступного калия / В.Г. Сычёв // Агрохимический вестник. - 2000. - № 5. - С. 30 - 34.
298. Сычёв, В.Г. Интегрированное применение удобрений в адаптивно-ландшафтном земледелии в Нечернозёмной зоне Европейской части России / В.Г. Сычёв, В.Ф. Ладонин. - М.: ВНИИА, 2005. - 160 с.
299. Сычёв, В.Г. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений / В.Г. Сычёв, С.А. Шафран. - М.: ВНИИА, 2012. - 200 с.
300. Сычёв, В.Г. Влияние калийных удобрений на содержание Cs-137 в зелёной массе природных кормовых угодий при поверхностном улучшении / В.Г. Сычёв, Н.М. Белоус, Е.В. Смольский // Плодородие. - 2012. - № 1. - С. 2 - 4.
301. Тихомирова, В.Я. Повышение урожайности и качества льнопродукции на основе совершенствования технологии применения удобрений и десикантов: автореф. дис. ... докт. биол. наук. - М., 1996. - 41 с.
302. Тихонов, Н.И. Влияние органических и минеральных удобрений на урожайность, содержание крахмала и кулинарные качества картофеля / Н.И. Тихонов, Н.П. Зуева // Действие удобрений на урожай и его качество. - М: Колос, 1965. - С. 225 - 233.
303. Токарев, В.В. Методика определения эффективности минеральных удобрений в условиях сельскохозяйственного производства и её совершенствование / В.В. Токарев // Повышение экономической эффективности применения минеральных удобрений. - М.: ЦИНАО,

1991. - С. 3 - 14. Толстоусов В.П. Удобрения и качество урожая / В.П. Толстоусов. - М.: Агропромиздат, 1987. - 190 с.
304. Тори́ков, В.Е. Влияние минеральных удобрений и норм высева семян на кормовую ценность зерна ярового ячменя / В.Е. Тори́ков, О.В. Мельникова, В.В. Тори́ков, О.А. Аксёнов // Агрохимический вестник. - 2012. - № 2. - С. 36 - 37.
305. Турчин, Ф.В. Азотное питание растений и применение азотных удобрений / Ф.В. Турчин. - М.: Колос, 1972. - 241 с.
306. Тюлин, В.В. Влияние длительного сельскохозяйственного освоения почв подзолистого типа на почвенные процессы и свойства почв / В.В. Тюлин // Тр. Горьковского СХИ, 1971. - Т. 41. - С. 59 - 64.
307. Тюрин, И.В. Почвообразовательный процесс, плодородие почвы и проблемы азота в почвоведении и земледелии / И.В. Тюрин // Почвоведение. - 1956. - № 2. - С. 49 - 56.
308. Убугунов, Л.Л. Влияние возрастающих доз калийных удобрений на урожайность, качество, сохранность картофеля и динамику обменного калия в орошаемых каштановых почвах Забайкалья / Л.Л. Убугунов, М.Г. Меркушева, Б.Х. Будаев // Агрохимия. - 2005. - № 3. - С. 44 - 54.
309. Федотова, Л.С. Условия минерального питания, продуктивность и качество картофеля / Л.С. Федотова // Агрохимия. - 2003. - № 2. - С. 31-36.
310. Францессон, В.А. Об окультуривании и окультуренности почв / В.А. Францессон // Химизация соц. земледелия. - 1934. - № 11. - С. 3 - 8.
311. Фролова, А.Ф. Урожай и качество льна-долгунца в зависимости от формы и срока внесения удобрений / А.Ф. Фролова, Г.Н. Лаптева // Тр. Горьковского СХИ, 1984. - С. 22 - 25.
312. Хлыстовский, А.Д. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборота, баланс питательных веществ и плодородие дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы / А.Д.

- Хлыстовский, Ю.И. Касицкий, С.Л. Бахтин // *Агрохимия*. - 1989. - № 3. - С. 27 - 39.
313. Чеботарёв, Н.Т. Влияние длительного внесения удобрений на плодородие подзолистой почвы и продуктивность культур в кормовом севообороте / Н.Т. Чеботарёв, В.И. Ермолина, В.М. Кормановская // *Агрохимия*. - 2005. - № 4. - С. 5 - 9.
314. Черкасова, Л.П. К проблеме калия в земледелии // *Земельные ресурсы Ставропольского края и приёмы повышения производительности почв* / Л.П. Черкасова. – Ставрополь, 1985. - С. 106 - 118.
315. Черников, В.А. *Агроэкология* / В.А. Черников, Р.М. Алексахин. - М.: Колос, 2000. - 536 с.
316. Чернов, Д.В. Вымывание элементов питания из дерново-подзолистой суглинистой пахотной почвы / Д.В. Чернов // *Тр. ЛСХИ*, 1980. - Т. 394. - С. 22 - 28.
317. Чижикова, Н.П. Агротехногенные преобразования минералогического состава дерново-подзолистых почв / Н.П. Чижикова // *Почвоведение*. - 1994. - № 4. - С. 85 - 91.
318. Чижикова, Н.П. Изменение минералогического состава тонких фракций под влиянием агротехногенеза / Н.П. Чижикова // *Почвоведение*. - 2002. - № 7. - С. 867 - 875.
319. Чижикова, Н.П. Взаимосвязь содержания гидрослюды илистой фракции со степенью обеспеченности растений калием на территории европейской части России / Н.П. Чижикова, И.Е. Королёва // *Антропогенная деградация почвенного покрова: тез. докл. конф.*, 1998. - Т. 2. - С. 322 - 333.
320. Чижикова, Н.П. Изменение содержания тонкодисперсных минералов под влиянием калийных удобрений / Н.П. Чижикова, Н.И. Прищеп // *Докл. РАСХН*. - 1996. - № 3. - С. 20 - 21.
- 321.

322. Чириков, Ф.В. Агрохимия калия и фосфора / Ф.В. Чириков. - М.: Гос. изд-во с.-х. литературы, 1965. - 464 с.
323. Шаймухаметов, М.Ш. Обменный калий и калийный потенциал как показатели обеспеченности дерново-подзолистых почв доступным калием / М.Ш. Шаймухаметов, Л.В. Никитина // Почвоведение. - 1991. - № 7. - С. 78 - 86.
324. Шаймухаметов, М.Ш. Использование физико-химических методов определения обеспеченности почв калием и расчёта потребности в удобрениях / М.Ш. Шаймухаметов, Л.С. Травникова // Совершенствование методов агрохимических исследований. - М.: Изд. МГУ, 1997. - С. 315 - 324.
325. Шаймухаметов, М.Ш. Калийное состояние пахотных почв европейской территории России / М.Ш. Шаймухаметов, Л.С. Травникова // Почвоведение. - 2000. - № 3. - С. 329 - 339.
326. Шаповалов, В.Ф. Влияние систем удобрения на продуктивность и содержание Cs-137 в урожае / В.Ф. Шаповалов, Л.П. Харкевич, Н.М. Белоус // Агрохимический вестник. - 2007. - № 1. - С. 11 - 12.
327. Шаповалов, В.Ф. Влияние калийных удобрений на урожай и качество многолетних злаковых трав, возделываемых в условиях радиоактивного загрязнения / В.Ф. Шаповалов, О.А. Маркелов, М.М. Кабанов, И.А. Божин, Л.М. Батуро // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. Материалы XI международной научной конференции. Брянск. - 2014. - С. 290 - 294.
328. Шафран, С.А. Оптимизация содержания подвижных форм фосфора и калия в различных почвах / С.А. Шафран // Химия в сельском хозяйстве. - 1984. - № 2. - С. 6 - 8.
329. Шафран, С.А. Прогнозирование обеспеченности подвижными формами фосфора и калия почв Нечернозёмной зоны / С.А. Шафран // Агрохимия. - 1997. - № 5. - С. 5 - 13.

330. Шафран, С.А. Динамика применения удобрений и плодородие почв / С.А. Шафран // *Агрохимия*. - 2004. - № 1. - С. 18 - 24.
331. Шафран, С.А. Применение удобрений и изменение содержания питательных веществ в почвах России / С.А. Шафран, Ю.С. Авдеев // *Агрохимия*. - 1993. - № 7. - С. 3 - 9.
332. Шафран, С.А. Применение калийных удобрений и их эффективность на почвах России / С.А. Шафран, Ю.С. Авдеев, В.А. Пряшкин // *Химия в сельском хозяйстве*. - 1994. - № 2. - С. 10 - 12.
333. Шафран, С.А. Агроэкономическое обоснование применения калийных удобрений в Нечернозёмной зоне России / С.А. Шафран, Ф.В. Янишевский // *Агрохимия*. - 1998. - № 4. - С. 5 - 17.
334. Шугля, З.М. Баланс калия и затраты калийных удобрений / З.М. Шугля // *Химизация сельского хозяйства*. - 1991. - № 7. - С. 97 - 100.
335. Юдинцева, Е.В. О роли калия в доступности цезия-137 растениям / Е.В. Юдинцева, Э.М. Левина // *Агрохимия*. - 1982. - № 4. - С. 75 - 81.
336. Якименко, В.Н. Калийные удобрения под овощные культуры / В.Н. Якименко // *Химизация с.-х.* - 1991. - № 9. - С. 48 - 50.
337. Якименко, В.Н. Калийные удобрения и урожайность зерновых культур / В.Н. Якименко // *Химия в сельском хозяйстве*. - 1993. - № 3 - 4. - С. 22 - 23.
338. Якименко, В.Н. Влияние калийных удобрений на урожайность и качество овощных культур и содержание форм калия в серой лесной почве / В.Н. Якименко // *Агрохимия*. - 1993. - № 12. - С. 16 - 22.
339. Якименко, В.Н. Фиксация и десорбция калия некоторыми автоморфными почвами / В.Н. Якименко // *Агрохимия*. - 1995. - № 2. - С. 12 - 18.
340. Якименко, В.Н. Эффективность калийных удобрений на почвах с различной обеспеченностью калием / В.Н. Якименко // *Агрохимия*. - 1995. - № 12. - С. 71 - 76.

341. Якименко, В.Н. Влияние калийных удобрений на продуктивность овощных культур и баланс калия в серой лесной почве / В.Н. Якименко // *Агрохимия*. - 1997. - № 2. - С. 56 – 59
342. Якименко, В.Н. Баланс, формы и запасы калия в агроценозах на серой лесной почве / В.Н. Якименко // *Агрохимия*. - 2000. - № 11. - С. 5 - 9.
343. Якименко, В.Н. Изменение содержания форм калия в гранулометрических фракциях некоторых автоморфных почв в агроценозе / В.Н. Якименко // *Агрохимия*. - 2001. - № 6. - С. 11 - 16.
344. Якименко, В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири / В.Н. Якименко. - Новосибирск: Изд. СО РАН, 2003. - 231 с.
345. Якименко, В.Н. Подвижность форм калия в почве / В.Н. Якименко // *Агрохимия*. - 2005. - № 9. - С. 5 - 12.
346. Якименко, В.Н. Влияние баланса калия в агроценозе на продуктивность культур и калийное состояние серой лесной почвы / В.Н. Якименко // *Агрохимия*. - 2006. - № 5. - С. 3 - 11.
347. Amberger, A.K. Kaliumernährunger Pflanzen und Kaliumfixierender Boden / A.K. Amberger, P. Qutser, K. Teider // *Plant and Soil*. - 1974. - V. 40. - № 2. - P. 116-123.
348. Barber, S.A. Mechanismus for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root / S.A. Barber, J.M. Walker, E.N. Vasey // *Agric. Food Chem*. - 1963. - V. 11. - P. 204-207.
349. Beckett, P.H. Kalium-Potentiale-eine Übersicht / P.H. Beckett // *Kali-Briefe*. - 1971. - Fachgebiet 5. - Folge 30.
350. Beckett, P.H. K-activity rations and the uptake of potassium by ryegrass in the field // *J. Soil Sci*. 1973. V. 24. № 1. P. 82-93.
351. Blevins, D.G. The influence of nitrate and chloride uptake expressed sap pH, organic acid synthesis, and potassium accumulation in hinher plants / D.G. Blevins, A.J. Hiatt, P.H. Lowe // *Plant Physiol*. - 1974. - V. 54. - P. 82-89.

352. Bolt, G.H. A study of the equilibria between three categories of potassium in an illitis soil / G.H. Bolt, M.E. Sumner, A.A. Kamphors // Soil Sci. Soc. Amer. Proc.. - 1963. - V. 27. - № 3. - P. 294-299.
353. Brown, J. Nitrate accumulation in vegetable crops as influenced by soil, fertility practices / J. Brown, G.E. Smith // Missouri Agric. Exp. Sth. Res. Bull.. - 1967. - V. 920. P. 43-48.
354. Bruulsema, T. How potassium nutrition can suppress soybean aphids / T. Bruulsema, C. Di Fonzo, C. Gratton // Better Crops with Plant Food. - 2010. - V. 94. - № 2. - P. 11-13.
355. Buytas, C. Effect of heavy metals and chelating agents on potassium uptake cereal roots / C. Buytas, E. Casch // Plant Soil. - 1981. - V. 63. - № 1. - P. 97-100.
356. Carson, C.D. Potassium selectivity in certain montmorillonitic soil clays / C.D. Carson, J.B. Dixon // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. . - 1972. - V. 36. - № 2. - P. 838-843.
357. Conyers, E.S. Effect of plant weathering of soil clays on plant availability of native and added potassium and on clay mineral structure / E.S. Conyers, E.O. Mac Lean // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. . -1972. - V. 32. - № 3. - P. 341-345.
358. Cremers, A.A. Adsorption of the silver-thiourea complex in montmorillonite / A.A. Cremers, J. Pleysier. // Nature Phys. Sci. . - 1973. - V. 243. - P. 86-87.
359. Cremers, A.A. Quantitative analysis of radiocaesium retention in soils / A.A. Cremers, A. Elsen e.a. // Nature. - 1988. - V. 335. - № 6187. - P. 247-249.
360. Diest, A. Factors affecting the availability of potassium in soils / A. Diest // Proc. 11-th Cong. Int. Potash. Inst., Bern: 1978. - P. 75-97.
361. Diest, A. Ion exchange in soils from the ion pairs K-Ca, K-Rb and K-Na / A. Diest, O. Talibudeen // J. Soil Sci. . - 1967. - V.18. - № 1. - P. 125-137.

362. Geger, B. Untersuchungen zur Wirkung hoher Stickstoffgaben auf den Nitratgehalt von Freilandgemüse / B. Geger // Archiv für Gartenbau. - 1978. - Bd. 26. - S. 1-13.
363. Hege, U. Kalidüngung auf gut versorgten Boden / U. Hege // Kartoffelbau. - 1986. - Bd. 37. - № 2. - S. 60-61.
364. James, D.W. Potassium in acid loessial soil: characterization by equilibrium release-adsorption to strong salt solutions / D.W. James, W.H. Weaver // Soil Sci. Soc. Amer. J. . - 1975. - V. 39. - № 1. - P. 106-111.
365. Johnston, A.E. The use of plant and soil analyses to predict the potassium supplying capacity of soil / A.E. Johnston, K.W.T. Goulding // Proc. of the 22 Coll. of the IPI. Soligorsk: USSR, 1990. - P. 177-204.
366. Johnston, A.E. Understanding potassium and its use in Agriculture / A.E. Johnston. - EFMA, 2003. - 40 p.
367. Kirkby, E.A. Influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation and cat-anion balance in whole tomato plants / E.A. Kirkby, A.H. Knight // Plant Physiol. . - 1977. - V. 60. - P. 249-276.
368. Knibbe, W.G. Potassium- calcium exchange coefficients in clay fractions of some vertisols / W.G. Knibbe, G.W. Thomas // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. . - 1972. - V. 36. - № 4. - P. 568-572.
369. Kunze, G. X-ray characteristics of clay minerals as related to potassium fixation / G. Kunze, C.D. Jeffries // Soil Sci. Amer. Proc. . - 1953. - V. 17. - № 1. - P. 118-127.
370. Mac Lean, A.J. Fixation and release of potassium in relation to the mineralogy of the clay fraction of some selected soil horizon samples / A.J. Mac Lean, J.E. Brydon // Can. J. Soil. Sci. . - 1971. - V. 51. - № 3. - P. 449-459.
371. Mac Lean, E.O. Improved corrective fertilizer recommendations based on a two-step alternative usage of soil tests: recovery of soil-equilibrated

- potassium / E.O. Mac Lean, J.L. Adams, R.C. Hartwig // J. Soil Sci. Soc. Amer. . - 1982. - V. 46. - № 6. - P. 1198-1201.
372. Manfred, M. Zur Hohe der Kalibedarfs der Kartoffel auf gut versorgten Boden / M. Manfred, E. Ulrich // Bauer Landwirt. Jahrbuch. - 1985. - Bd. 62. - № 3. - S. 354-364.
373. Mengel, K. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze / K. Mengel. Jena, 1965. - 470 s.
374. Minotti, P.L. Nitrate uptake and reduction as affected by calcium and potassium / P.L. Minotti, D.S. Williams, W.A. Jackson // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. . - 1968. - V. 32. - № 4. - P. 692-696.
375. Mittal, S.B. Potassium depletion under long-terms fertilization in a semiarid soil in India / S.B. Mittal, R. Singh // J. Agr. Sci. . - 1990. - V 115. - № 2. - P. 173-178.
376. Munn, D.A. Potassium release from sand, silt and clay soil separates / D.A. Munn, L.P. Wilding // Soil Sci. Soc. Amer. J. . - 1976. - V. 40. - № 3. - P. 364-366.
377. Nemeth, K. The concentration of K, Ca and Mg in the saturation extract in relation to exchangeable K, Ca and Mg / K. Nemeth, K. Mengel, H. Grimme // Soil Sci. . - 1972. - V. 114-115. - P. 349-354.
378. Niederbudde, E. Clay mineral transformation as influenced by K-release from biotite / E. Niederbudde, W.R. Fisher // Soil Sci. . - 1980. - V. 130. - № 4. - P. 225-231.
379. Nisbet, A.F. Laboratory investigation in to the potential effectiveness of soil-base countermeasures for soil contaminated with radiocaesium and radiostrontium / A.F. Nisbet, N. Mocanu, S. Shaw // Sci. Total. Environ. - 1994. - V. 149. - P. 145-154.

380. Pettygrove, S. Potassium fixation and its significance for California crop production / S. Pettygrove, T. O'Geen, K. Sothard, S. Pettygrove, T. O'Geen, K. Sothard // Better Crops with Plant Food. - 2011. - V. 95. - № 4. - P. 16-18.
381. Prugar, J. Dusicnani v zelenine / J. Prugar, A. Prugarova. - Bratislava: Priroda, 1985. - 150 s.
382. Reichenbach, H. Potassium release from muscovite as influenced by particle size / H. Reichenbach, C.I. Rich // Clays and clay minerals. - 1969. - V. 17. - № 1. - P. 23-29.
383. Rich, C.I. Mineralogy of soil potassium / C.I. Rich // The role of potassium in agriculture. - Madison, Wisconsin, USA, 1968. - P. 79-108.
384. Rich, C.I. Potassium in soil minerals / C.I. Rich // Potassium in soil: Proc. 9 th Coll. Int. Potash. Inst. Bern, 1972. - P. 15-31.
385. Ross, G.J. Transformation of vermiculite to pedogenic mica by fixation of potassium and ammonium in a six year field manure application experiments / G.J. Ross, P.A. Phillips, R. Culley // Canad. J. Soil Sci. . - 1985. - V. 65. - № 3. - P. 599-603.
386. Schachtschabel, P. Fixierung und Nachlieferung vom Kalium und Ammonium-ionen Beurteilung und Bestimmung des Kalium-Versorgungsgrades von Boden / P. Schachtschabel // Sonderheft. Z. Landwirt. Forschungs. - 1961. - № 15. - S. 29-47.
387. Sawhney, B.L. Selective sorption and fixation of cations by clay minerals: a review / B.L. Sawhney // Clays and clay minerals. - 1972. - V. 20. - № 2. - P. 93-100.
388. Tributh, H. Development of K-containing minerals during weathering and suitable methods for their determination / H. Tributh // Methodology in soil R-research: Proc. 20 th Coll. Int. Potash. Inst. Bern, 1987. - P. 65-83.

389. Tukey, H.B. Loss of nutrients by foliar leaching as determined by radioisotope / H.B. Tukey, A.B. Tukey, S.H. Wittwer // Proc. Soc. Hort. Sci.. - 1958. - V. 71. - P. 496-499.
390. Woodruff, C.M. The energies of replacement of calcium by potassium in soil / C.M. Woodruff // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. . - 1955. - № 1. - P. 36-40.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1 п – Технологическая карта работ по использованию минеральных удобрений в дозе N120P60K90
(0,65 т/га) (в расчете на 1 га)

Наименование работ, ед. измерения	Объем работ			Состав агрегата		Обслуживающий персонал		Норма выработки за 1 час, га, т	Кол-во часов в объеме работ	Затраты труда, чел.-час		Расход топлива		Авто-транспорт, ткм	Электроэнергия, кВт-час	Тарифная ставка		Тарифный фонд оплаты труда, руб.	
	га, т, ткм	К	эт. га	Энергетическое средство	с.-х. машины, орудия	механизаторы	рабочие			механизаторы	рабочие	удельн., кг/га, кг/т	Всего, кг			механизаторы	рабочие	механизаторы	рабочие
Доставка удобрений (50 км), ткм	32,5	-	-	КамАЗ-5502	-	1	-	50	0,7	0,7	-	-	-	32,5	-	-	-	-	-
Растваривание и измельчение удобрений, т	0,65	-	-	30 квт	АИР-20	-	2	6,5	0,1	-	0,2	-	-	-	1,6	-	54,10	-	10,82
Смешивание удобрений, т	0,65	-	-	13 квт	СЗУ-20	-	2	6,5	0,1	-	0,2	-	-	-	0,7	-	54,10	-	10,82
Погрузка удобрений, т	0,65	0,10	0,1	МТЗ-1221	ПКУ-0,8	1	-	6,5	0,1	0,1	-	0,46	0,3	-	-	74,90	-	7,49	-
Транспортировка и внесение удобрений, га	1	0,26	0,3	МТЗ-1221	МТТ-49	1	-	2,5	0,4	0,4	-	3,24	3,2	-	-	74,90	-	29,96	-
Всего			0,4							1,2	0,4		3,5	32,5	2,3			37,45	21,64

Таблица 2 п – Технологическая карта работ по внесению навоза в дозе 40 т/га (в расчете на 1 га)

Наименование работ, ед. измерения	Объем работ			Состав агрегата		Обслуживающий персонал		Норма выработки за 1 час, га, т	Кол-во часов в объеме работ	Затраты труда, чел.-час		Расход топлива		Авто-транспорт, ткм	Электро-Энергия, кВт-час	Тарифная ставка		Тарифный фонд оплаты труда, руб.	
	га, т, ткм	К	этал, га	энергетическое средство	с.-х. машины, орудия	механизаторы	рабочие			механизаторы	рабочие	удел., кг/га, кг/т	всего, кг			механизаторы	рабочие	механизаторы	рабочие
Погрузка навоза, т	40	0,02	0,8	Т-150 К	ПФП-2	1	-	40	1	1	-	0,3	12,0	-	-	91,90	-	91,90	-
Транспортировка навоза на поле, т	40	0,16	6,4	МТЗ-1523	ПТУ-6	1	-	4,5	8,9	8,9	-	1,2	48,0	-	-	67,60	-	600,29	-
Формирование буртов, т	40	0,02	0,8	Т-150 К	ПБ-35	1	-	30	1,3	1,3	-	0,2	8,0	-	-	67,60	-	87,88	-
Погрузка в расбрасыватель, т	40	0,02	0,8	Т-150 К	ПФП-2	1	-	40	1	1	-	0,3	12,0	-	-	91,90	-	91,90	-
Внесение навоза, га	1	0,72	0,7	МТЗ-1523	IBISL-4	1	-	2	0,5	0,5	-	23,2	23,2	-	-	82,80	-	41,40	-
Всего			9,5							12,7	-		103,2	-	-			913,37	-

Таблица 3 п – Технологическая карта работ по уборке и доработке прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в полевых опытах (в расчете на 1 га)

Наименование работ, ед. измерения	Объем работ			Состав агрегата		Обслуживающий персонал		Норма выработки за 1 час, га, т	Кол-во часов в объеме работ	Затраты труда, чел.-час		Расход топлива		Авто-транспорт, ткм	Электроэнергия, кВт-час	Тарифная ставка		Тарифный фонд оплаты труда, руб.	
	га, т, ткм	К	этал, га	Энергетическое средство	с.-х. машины, орудия	механизаторы	рабочие			механизаторы	рабочие	Удел., кг/га, кг/т	Всего, кг			механизаторы	рабочие	механизаторы	рабочие
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Озимая рожь, овес и ячмень (прибавка урожайности 1 т/га)																			
Транспортировка зерна от комбайна (5 км), ткм	6	-	-	ЗИЛ-555	-	1	-	12	0,5	0,5	-	-	-	6	-	-	-	-	-
Сушка и очистка зерна, т	1,2	-	-	160 кВт	ЗС-40	2	10	18	0,1	0,2	1,0	-	-	-	10,7	82,80	59,80	16,56	59,80
Транспортировка зерна от комбайна (30 км), ткм	30	-	-	ЗИЛ-555	-	1	-	12	2,5	2,5	-	-	-	30	-	-	-	-	-
Всего			-							3,2	1,0		-	36	10,7			16,56	59,80
Картофель (прибавка урожайности 5 т/га)																			
Транспортировка клубней к сортировальному пункту, ткм	5,5	0,1	0,5	МТЗ-1221	2ПТС-6	1	-	6,5	0,8	0,8	-	1,2	6,6	-	-	67,60	-	54,08	-
Сортировка клубней с погрузкой, т	5,5	-	-	50 кВт	Grimme RH	1	12	45	0,1	0,1	1,2	-	-	-	6,1	82,80	59,80	8,28	71,76
Транспортировка клубней на реализацию (30 км), ткм	150	-	-	КамАЗ-5502	-	1	-	50	3,0	3,0	-	-	-	150	-	-	-	-	-
Всего			0,5							3,9	1,2		6,6	150	6,1			62,36	71,76

Продолжение таблицы 3п																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Лен-долгунец (прибавка урожайности соломки 0,5 т/га, семян – 0,05 т/га)																			
Постановка снопов соломки в бабки для сушки, т	0,6	-	-	вручную		-	1	0,2	3,0	-	3,0	-	-	-	-	-	44,00	-	132,00
Погрузка и укладка снопов в автомашину, т	0,5	0,32	0,2	МТЗ-1221	ППС-3	1	2	2,4	0,2	0,2	0,4	3,4	1,7	-	-	82,80	48,80	16,56	19,52
Транспортировка соломки на льнозавод (30 км), ткм	15	-	-	ЗИЛ-130	-	1	-	12,5	1,2	1,2	-	-	-	15	-	-	-	-	-
Всего по льносоломке			0,2							1,4	3,4		1,7	15	-			16,56	151,52
Транспортировка льновороха от комбайна, т	0,15	0,16	0,1	МТЗ-1221	2ПТС-6	1	-	4,2	0,1	0,1	-	1,9	0,3	-	-	67,60	-	6,76	-
Загрузка льновороха в сушилку, т	0,15	0,21	0,1	Т-16	ПМГ-0,2	1	1	9,6	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	-	-	74,90	48,80	7,49	4,88
Сушка льновороха, т	0,15	-	-	4 кВт	ОСВ-60	-	2	0,4	0,1	-	0,2	-	-	-	1,8	-	48,80	-	9,76
Обмолот льновороха с очисткой семян, т	0,10	-	-	13 кВт	МВ-2,5	1	4	1,2	0,1	0,1	0,4	-	-	-	1,1	82,80	48,80	8,28	19,52
Погрузка семян в автомашину, т	0,05	-	-	10,5 кВт	ЗПС-100	-	1	3,5	0,1	-	0,1	-	-	-	0,1	-	48,80	-	4,88
Транспортировка семян на льносемянную станцию (30 км), ткм	1,5	-	-	ЗИЛ-130	-	1	-	12,5	0,1	0,1	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-
Всего по льносеменам			0,2							0,4	0,8		0,4	1,5	3,0			22,53	39,04
Свекла кормовая (прибавка урожайности 15 т/га)																			
Транспортировка корнеплодов на хранение, т	15	0,16	2,4	МТЗ-1221	2ПТС-6	1	-	6,5	2,3	2,3	-	1,2	18,0	-	-	67,60	-	155,48	-
Буртование с укрытием соломой, т	15	-	-	вручную		-	1	1,5	10,0	-	10,0	-	-	-	-	-	48,80	-	488,00
Укрытие буртов земель, т	15	0,16	2,4	МТЗ-1221	БН-100	1	-	8,0	1,9	1,9	-	1,1	16,5	-	-	74,90	-	142,31	-
Всего			4,8							4,2	10,0		34,5	-	-			297,79	488,00

Продолжение таблицы 3п																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Кукуруза, клевер и горохово-овсяная смесь на зеленый корм (прибавка урожайности 10 т/га)																			
Транспортировка зеленой массы с поля до фермы, т	10	0,08	0,8	МТЗ-1221	2ПТС-4	1	-	3,9	2,6	2,6	-	1,6	16	-	-	67,60	-	175,76	-
Всего			0,8							2,6	-		16					175,76	-
Столовая свекла, морковь и репа (прибавка урожайности 20 т/га)																			
Подвоз контейнеров для корнеплодов, шт.	80	0,02	1,6	МТЗ-1221	2ПТС-4	1	2	30	2,7	2,7	5,4	0,05	4,0	-	-	67,60	48,80	250,37	263,52
Уборка с обрезкой, сортировкой и затариванием в контейнеры, т	20	-	-	Вручную		-	1	0,5	40	-	40	-	-	-	-	-	59,80	-	2392,0
Погрузка контейнеров в транспортные средства, т	20	0,04	0,8	МТЗ-1221	ПЭ-0,8	1	-	12,0	1,7	1,7	-	0,35	7,0	-	-	82,80	-	140,76	-
Транспортировка в хранилище, т	20	0,16	3,2	МТЗ-1221	2ПТС-6	1	-	7,5	2,7	2,7	-	0,6	12,0	-	-	67,60	-	182,52	-
Погрузка контейнеров для отправки на реализацию, т	20	0,04	0,8	МТЗ-1221	ПЭ-08	1	-	12	1,7	1,7	-	0,35	7,0	-	-	82,80	-	140,76	-
Транспортировка овощей на реализацию (100 км), ткм	2000	-	-	КамАЗ-5502	-	1	-	50	40	40	-	-	-	2000	-	-	-	-	-
Всего			6,4							48,8	45,4		30,0	2000	-			714,41	2655,52

Таблица 4 п - Расчёт затрат на формирование прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в зернопропашном севообороте (полевой опыт № 1)

Показатели, единицы измерения	Культуры севооборота						В целом по севооборо ту
	картофель	рожь озимая	свёкла кормовая	овёс	кукуруза	ячмень	
1	2	3	4	5	6	7	8
№ ₉₀₋₁₂₀							
Норма удобрений в физической массе, т/га	0,35	0,32	0,35	0,32	0,35	0,32	2,01
Прибавка урожайности, т/га	5,7	1,07	13,8	0,79	12,9	0,76	8,84 з.е.
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	179	111	757	89	257	87	1480
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	120	75	509	60	173	58	995
Страховые взносы (30 %), руб.	54	33	227	27	77	26	444
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	384	96	2208	96	576	95	3455
ГСМ (32 руб./кг), руб.	301	54	1078	54	736	54	2277
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	36	54	5	43	5	41	184

Продолжение таблицы 4 п

1	2	3	4	5	6	7	8
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	5828	1705	558	1364	558	553	10566
Удобрения, руб.	4942	4407	4942	4407	4942	4407	28047
Итого прямых затрат, руб.	11844	6535	10284	6140	7324	5321	47448
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	1777	980	1543	921	1099	798	7117
Всего затрат на 1 га, руб.	13621	7515	11827	7061	8423	6119	54565
N ₉₀₋₁₂₀ K ₆₀							
Норма удобрений в физической массе, т/га	0,45	0,42	0,45	0,42	0,45	0,42	2,61
Прибавка урожайности, т/га	5,7	1,19	16,9	0,92	15,8	0,93	10,36 з.е.
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	194	128	929	108	319	109	1787
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	130	86	645	73	214	73	1221
Страховые взносы (30 %), руб.	58	38	279	32	96	33	536
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	432	144	2736	144	768	144	4368

Продолжение таблицы 4 п

1	2	3	4	5	6	7	8
ГСМ (32 руб./кг), руб.	320	74	1328	74	880	74	2750
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	39	64	7	51	7	51	219
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	6014	1984	713	1674	713	1674	12772
Удобрения, руб.	6142	5607	6142	5607	6142	5607	35247
Итого прямых затрат, руб.	13329	8125	12779	7763	9139	7765	58900
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	1999	1219	1917	1164	1371	1165	8835
Всего затрат на 1 га, руб.	15328	9344	14696	8927	10510	8930	67735
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀							
Норма удобрений в физической массе, т/га	0,58	0,55	0,58	0,55	0,58	0,55	3,39
Прибавка урожайности, т/га	4,8	1,15	17,7	0,96	15,7	0,89	10,22 з.е.
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	182	134	980	120	386	115	1917
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	122	90	659	81	259	77	1288
Страховые взносы (30 %), руб.	55	40	294	36	116	35	576

Продолжение таблицы 4 п

1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	403	154	2890	154	778	154	4533
ГСМ (32 руб./кг), руб.	304	90	1404	90	905	90	2883
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	36	64	9	54	9	51	223
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	5372	2089	908	1879	908	1798	12954
Удобрения, руб.	8802	8267	8802	8267	8802	8267	51207
Итого прямых затрат, руб.	15276	10928	15946	10681	12163	10587	75581
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	2291	1639	2329	1602	1824	1588	11336
Всего затрат на 1 га, руб.	17567	12567	18338	12283	13987	12175	86917

Таблица 5 п - Расчёт затрат на формирование прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в плодосменном севообороте (полевой опыт № 2)

Показатели, единицы измерения	Культуры севооборота					В целом по севооборо ту
	картофель	ячмень	клевер (2 года)	свёкла кормовая	овёс	
1	2	3	4	5	6	7
Навоз, 40 т/га						
Норма органического удобрения, т/га	40	-	-	40	-	80
Норма минеральных удобрений, т/га	-	-	-	-	-	-
Прибавка урожайности, т/га	8,9	0,26	9,4	6,2	0,18	5,47 з.е.
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	1152	20	165	1400	14	2751
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	774	13	111	941	9	1848
Страховые взносы (30 %), руб.	346	6	50	420	4	826
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	4987	-	384	6000	-	11371
ГСМ (32 руб./кг), руб.	3674	301	480	3968	208	8631

Продолжение таблицы 5 п

1	2	3	4	5	6	7
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	49	13	-	-	9	71
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	8277	291	-	-	201	8769
Удобрения, руб.	8000	-	-	8000	-	16000
Итого прямых затрат, руб.	27259	644	1190	20729	445	50267
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	4089	97	179	3109	67	7541
Всего затрат на 1 га, руб.	31348	741	1369	23838	512	57808
NP экв. 40 т/га навоза + K ₉₀						
Норма органического удобрения, т/га	-	-	-	-	-	-
Норма минеральных удобрений, т/га	0,8	0,29	-	0,8	0,29	2,18
Прибавка урожайности, т/га	5,8	0,57	10,6	7,3	1,03	6,10
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	228	70	187	458	105	1048
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	153	47	126	308	71	705
Страховые взносы (30 %), руб.	68	21	56	137	32	314

Продолжение таблицы 5 п

1	2	3	4	5	6	7
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	528	96	407	1392	96	2519
ГСМ (32 руб./кг), руб.	384	51	544	682	51	1712
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	45	32	-	13	54	144
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	6634	1085	-	1240	1603	10562
Удобрения, руб.	13060	4060	-	13060	4060	34240
Итого прямых затрат, руб.	21100	5462	1320	17290	6072	51244
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	3165	819	198	2594	911	7687
Всего затрат на 1 га, руб.	24265	6281	1518	18884	6983	58931
NP экв. 40 т/га навоза + K ₁₁₅						
Норма органического удобрения, т/га	-	-	-	-	-	-
Норма минеральных удобрений, т/га	0,84	0,29	-	0,84	0,29	2,26
Прибавка урожайности, т/га	3,5	0,65	12,4	7,6	1,08	6,02 з.е.
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	170	76	196	469	109	1020

Продолжение таблицы 5 п

Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	114	51	132	315	73	685
Страховые взносы (30 %), руб.	51	23	59	141	33	307
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	432	86	480	1392	86	2476
ГСМ (32 руб./кг), руб.	291	50	672	694	50	1757
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	33	36	-	14	57	140
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	4557	1176	-	1302	1659	8694
Удобрения, руб.	13540	4060	-	13540	4060	35200
Итого прямых затрат, руб.	19188	5558	1539	17867	6127	50279
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	2878	834	231	2680	919	7542
Всего затрат на 1 га, руб.	22066	6392	1770	20547	7046	57821
NPK экв. 40 т/га навоза						
Норма органического удобрения, т/га	-	-	-	-	-	-
Норма минеральных удобрений, т/га	0,88	0,52	-	0,88	0,52	2,80

Продолжение таблицы 5 п

Прибавка урожайности, т/га	3,2	0,65	14,0	8,4	1,06	6,36 з.е.
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	166	96	246	520	128	1156
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	112	65	165	349	86	777
Страховые взносы (30 %), руб.	50	29	74	156	38	347
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	384	154	528	1536	154	2756
ГСМ (32 руб./кг), руб.	285	90	717	766	90	1948
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	32	39	-	14	59	144
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	4340	1519	-	1364	1984	9207
Удобрения, руб.	14020	6820	-	14020	6820	41680
Итого прямых затрат, руб.	19389	8812	1730	18725	9359	58015
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	2908	1322	260	2809	1404	8703
Всего затрат на 1 га, руб.	22297	10134	1990	21534	10763	66718

Таблица 6 п - Расчёт затрат на формирование прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в овощном севообороте на дерново-подзолистой почве

Показатели, единицы измерения	Культуры севооборота									
	на хорошо окультуренной почве					на слабоокультуренной почве				
	свёкла	мор- ковь	горох- овёс	репа	звено, з.е.	свёк- ла	мор- ковь	горох- овёс	репа	звено, з.е.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фон + К ₉₀										
Норма калийного удобрения, т/га	0,15	0,15	0,15	0,15	0,6	0,15	0,15	0,15	0,15	0,6
Прибавка урожайности, т/га	14,0	8,0	2,8	8,0	5,28	14,0	18,0	3,4	14,0	7,94
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	2676	1362	63	1362	5463	2676	3047	74	2676	8473
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	1799	915	42	915	3671	1799	2048	50	1799	5696
Страховые взносы (30 %), руб.	803	409	19	409	1640	803	914	22	803	2542
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	2208	1296	144	1296	4944	2208	2832	192	2208	7440
ГСМ (32 руб./кг), руб.	698	410	170	410	1688	698	890	198	698	2484
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	3	3	3	3	12	3	3	3	3	12

Продолжение таблицы 6 п

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	43623	25033	233	25033	93922	43623	56033	233	43623	143512
Удобрения, руб.	1800	1800	1800	1800	7200	1800	1800	1800	1800	7200
Итого прямых затрат, руб.	53610	31228	2474	31228	118540	53610	67567	2572	53610	177359
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	8042	4684	317	4684	17781	8042	10135	386	8042	26605
Всего затрат на 1 га, руб.	61652	35912	2845	35912	136312	61652	77702	2958	61652	203964
Фон + К ₁₈₀										
Норма калийного удобрения, т/га	0,3	0,3	0,3	0,3	1,2	0,3	0,3	0,3	0,3	1,2
Прибавка урожайности, т/га	24,0	12,0	2,6	6,0	7,06	16,0	32,0	6,4	32,0	13,89
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	4072	2050	74	1039	7235	2724	5420	139	5420	13703
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	2737	1378	50	698	4863	1831	3643	93	3643	9210
Страховые взносы (30 %), руб.	1222	615	22	312	2171	817	1626	42	1626	4111
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	3840	1968	192	1056	7056	2592	4992	336	4992	12912

Продолжение таблицы 6 п

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ГСМ (32 руб./кг), руб.	1203	627	186	339	2355	819	1587	378	1587	4371
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	5	5	5	5	20	5	5	5	5	50
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	74865	37665	465	19065	132060	50065	99665	465	99665	249860
Удобрения, руб.	3600	3600	3600	3600	14400	3600	3600	3600	3600	14400
Итого прямых затрат, руб.	91544	47908	4594	26114	170160	62453	120538	5058	120538	308587
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	13732	7186	689	3917	25524	9368	18081	759	18081	46289
Всего затрат на 1 га, руб.	105276	55094	5283	30031	195684	71821	138619	5817	138619	354876
Фон + К ₂₇₀										
Норма калийного удобрения, т/га	0,45	0,45	0,45	0,45	1,8	0,45	0,45	0,45	0,45	1,8
Прибавка урожайности, т/га	24,0	14,0	3,4	8,0	7,94	16,0	34,0	7,4	32,0	14,38
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	4086	2704	102	1390	8282	2738	5729	172	5434	14073
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	2746	1817	69	934	5566	1840	3850	116	3652	9458

Продолжение таблицы 6 п

Страховые взносы (30 %), руб.	1226	8/11	31	417	2785	812	1719	52	1630	4222
Амортизация, текущий ремонт (480 руб.эт. га), руб.	3888	2304	288	1392	7872	3408	5376	432	5040	14256
ГСМ (32 руб./кг), руб.	1229	749	250	461	2689	1190	1709	454	1613	4966
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	7	7	7	7	28	7	7	7	7	28
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	75098	44098	698	25498	145392	50298	106098	698	99898	256992
Удобрения, руб.	5400	5400	5400	5400	21600	5400	5400	5400	5400	21600
Итого прямых затрат, руб.	93680	57890	6875	35499	193944	65702	129888	7331	122674	325595
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	14052	8684	1031	5325	29092	9855	19483	1100	18401	48839
Всего затрат на 1 га, руб.	107732	66574	7906	40824	223036	75557	149371	8431	141075	374434

Таблица 7 п - Расчёт затрат на формирование прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в звене полевого севооборота на среднекультуренной почве

Показатели, единицы измерения	Культуры звена севооборота				В целом по звену севооборота
	ячмень	свёкла кормовая	лен-долгунец		
			соломка	семена	
1	2	3	4	5	6
Фон+K ₆₀					
Норма калийного удобрения, т/га	0,1	0,1	0,1		0,3
Прибавка урожайности, т/га	0,4	9,0	0,2	0,02	2,52 з.е.
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	39	481	67	25	612
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	26	323	45	17	411
Страховые взносы (30 %), руб.	12	144	20	8	184
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	29	1416	53	53	1551
ГСМ (32 руб./кг), руб.	16	678	32	13	739
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	21	1	1	6	29
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	589	155	279	81	1104

Продолжение таблицы 7п

1	2	3	4	5	6
Удобрения, руб.	1200	1200	1200		3600
Итого прямых затрат, руб.	1932	4398	1900		8230
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	290	660	285		1235
Всего затрат на 1 га, руб.	2222	5058	2185		9465
Фон+К ₉₀					
Норма калийного удобрения, т/га	0,15	0,15	0,15		0,45
Прибавка урожайности, т/га	0,6	12,0	0,3	0,03	3,49 з.е.
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	60	643	110	41	854
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	40	432	74	28	574
Страховые взносы (30 %), руб.	18	193	33	12	256
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	43	1872	82	77	2074
ГСМ (32 руб./кг), руб.	26	909	48	31	1014
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	31	2	1	8	42
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	902	233	419	136	1690

Продолжение таблицы 7 п

1	2	3	4	5	6
Удобрения, руб.	1800	1800	1800		5400
Итого прямых затрат, руб.	2920	6084	2900		11904
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	438	913	435		1786
Всего затрат на 1 га, руб.	3358	6997	3335		13690
Фон+К ₁₂₀					
Норма калийного удобрения, т/га	0,2	0,2	0,2		0,6
Прибавка урожайности, т/га	0,9	15,0	0,3	0,05	4,42 з.е.
Тарифный фонд оплаты труда, руб.	86	804	110	70	1070
Начисления на зарплату (67,21 %), руб.	58	540	74	47	719
Страховые взносы (30%), руб.	26	241	33	21	321
Амортизация, текущий ремонт (480 руб./эт. га), руб.	58	2362	96	115	2631
ГСМ (32 руб./кг), руб.	32	1136	51	26	1245
Электроэнергия (4,50 руб./кВтч), руб.	48	3	2	14	67

Продолжение таблицы 7 п

1	2	3	4	5	6
Автотранспорт (31 руб./ткм), руб.	1302	320	465	171	2258
Удобрения, руб.	2400	2400	2400		7200
Итого прямых затрат, руб.	4010	7806	3695		15511
Затраты по организации производства и управлению (15 %), руб.	602	1171	554		2327
Всего затрат на 1 га, руб.	4612	8977	4249		17838

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научных исследований
ВОРОБЬЁВА Вячеслава Анатольевича по теме научных исследований:
"АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИРОДНО-
АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ" в
ООО "Веть" Себежского района Псковской области

Сохранение и воспроизводство почвенного плодородия пахотных дерново-подзолистых почв Нечернозёмной зоны России является важнейшей агрономической задачей. Однако в условиях существующей ценовой политики на сельскохозяйственную продукцию и минеральные удобрения добиться существенных результатов в данном направлении весьма сложно. Методической основой для решения такой задачей должны быть данные многолетних научных исследований, максимально приближенных к производственным условиям.

Результаты научных исследований Воробьёва В.А. по теме "Агроэкологические аспекты природно - антропогенной трансформации калийного состояния дерново-подзолистых почв Северо - Запада России" прошли производственные испытания на зерновых культурах в ООО "Веть" в 2008 - 2015 гг. и были внедрены в производство. Отмечена высокая эффективность на среднекультуренных супесчаных дерново-подзолистых почвах, преобладающих в хозяйстве. Прибавки от внесения 90 кг/га калия достигали 21 - 25 %. При этом отмечалась стабилизация и некоторый рост подвижного калия в почве.

Считаем, что результаты научных исследований имеют важную практическую ценность для хозяйств любых форм собственности в Нечернозёмной зоне РФ.



Генеральный директор

ООО "Веть"

"Веть"

Главный агроном

ООО "Веть"

25.11.2015 г.

182274

Псковская область,

Себежский район,

д. Томсино

А.И. Трофимов

А.М. Буров

АКТ**внедрения результатов научных исследований ВОРОБЬЁВА Вячеслава
Анатольевича по теме научных исследований:
"АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИРОДНО-
АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ"**

Повышение плодородия пахотных дерново-подзолистых почв является важнейшей задачей в современном сельском хозяйстве. Особенно это касается калийной составляющей почвенного плодородия, поскольку объёмы внесения калийных туков не обосновано занижены. В связи с этим научные исследования Воробьёва В.А., направленные на оптимизацию калийного состояния дерново-подзолистых почв в полевых и овощных севооборотах на почвах разной окультуренности являются актуальными.

Результаты научных исследований Воробьёва В.А. по теме "Агроэкологические аспекты природно - антропогенной трансформации калийного состояния дерново-подзолистых почв Северо - Запада России" прошли производственное внедрение в КХ "Прометей" Гдовского района Псковской области в 2011 - 2015 гг. Благодаря внесению 90 - 120 кг/га д.в. K_2O на среднеокультуренных почвах хозяйства удалось повысить урожайность клубней картофеля на 17 %, зерна ячменя, озимой ржи - на 12 %. Использование органической системы удобрения под картофель на хорошо окультуренной почве привело к повышению продуктивности клубней картофеля на 22 %.

Работа имеет важную научную и практическую значимость для хозяйств Псковской области и других областей Северо - Запада России.

Глава КХ "Прометей"
доктор с.-х. наук

18.12.2015 г.

Псковская область,
Гдовский район,
д. Добручи
181613



А.А. Конашенков

