

Воробьёв Вячеслав Анатольевич

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

Специальность 06.01.04 - агрохимия

**Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора сельскохозяйственных наук**

Брянск - 2016

Работа выполнена на кафедре агрохимии и почвоведения (в настоящее время - кафедра химии, агрохимии и агроэкологии) ФГБОУ ВО Великолукской государственной сельскохозяйственной академии

Научный консультант: **Иванов Алексей Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Официальные оппоненты: **Борисов Валерий Александрович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий отделом земледелия и агрохимии ФГБНУ Всероссийский НИИ овощеводства

Самсонова Наталия Евгеньевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры технологии переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО "Смоленская государственная сельскохозяйственная академия"

Романенков Владимир Аркадьевич, доктор биологических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова

Ведущая организация: ФГБОУ ВО "Санкт - Петербургский государственный аграрный университет"

Защита диссертации состоится 23 декабря 2016 года в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.005.01 при ФГБОУ ВО "Брянский государственный аграрный университет" по адресу: 243365, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, 2а, корп. 4, конференц-зал. E-mail: uchsovnet@bgsha.com, факс: 8-483-41-24-721

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО "Брянский государственный аграрный университет" и на сайте организации по адресу <http://www.bgsha.com>.

Автореферат 23 сентября 2016 года размещён на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации: <http://vak2.ed.gov.ru>.

Просим принять участие в работе совета или прислать свой отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью.

**Учёный секретарь
диссертационного совета**

Дьяченко Владимир Викторович

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. По уровню потребления большинством сельскохозяйственных культур калию принадлежит первое место среди основных питательных элементов. С его участием протекают важнейшие физиологические процессы в растительной клетке. Оптимальное питание растений калием - одно из условий их устойчивости к низким температурам, засухе, полеганию, грибным заболеваниям (Пчёлкин В.У., 1966; Курсанов А.Л., 1967; Прокошев В.В., Дерюгин И.П., 2000; Bruulsema T. e.a., 2010). А в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению, это и основной барьер на пути загрязнения продукции ^{137}Cs (Алексахин Р.М., 1992; Nisbet A.F., 1994; Белоус Н.М. и др., 2000; 2012; 2015).

Обеспеченность растений калием напрямую зависит от калийного состояния почвы. В отличие от ряда других типов почв (чернозёмов, каштановых), дерново-подзолистые чаще не способны полностью удовлетворять потребности сельскохозяйственных культур в калии. Применение на них калийсодержащих удобрений становится объективной необходимостью (Петербургский А.В., 1973). Но, вопреки научным требованиям, в последнюю четверть века произошёл почти полный отказ от использования этих удобрений. В результате, страна ежегодно недополучает сотни тысяч тонн продукции растениеводства (Шафран С.А., Янишевский Ф.В., 1998), а почвы обедняются калием (Ефимов В.Н., Иванов А.И., 2001; Никитина Л.В., Володарская И.В., 2007).

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 интенсивного их применения (Иванов И.А., 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 агрономической службой хозяйств.

Не способствовала повышению значимости калийных удобрений и противоречивость данных об их влиянии на калийное состояние почвы (Шафран С.А., 1984; Небольсин А.Н. и др., 1997; Мёрзлая Г.Е. и др., 2002), вплоть до отрицания существенности такого влияния (Johnston A.E., 1986; Шугля З.М., 1991; Кобзаренко В.И., 1999).

Возникшие неопределённости и противоречия не корректно объяснять отсутствием внимания к проблеме и, тем более, ошибками учёных. Вероятнее, они являются следствием сложности взаимосвязей в системе "почва - калий удобрения - растение". Даже при значительных валовых запасах этого элемента калийное питание может лимитироваться сорбционно-десорбционными процессами (Пчёлкин В.У., 1966; Mengel K., 1976). Характер же таких процессов сильно зависит от почвенных и метеорологических условий, вследствие чего обширная информация, полученная в разных частях огромной территории России, не может быть

механически перенесённой на дерново-подзолистые почвы Северо - Западного района. Специфика последних заключается в сравнительно молодом возрасте и формировании на бедных основаниями, зачастую легких по гранулометрическому составу породах. На фоне промывного водного режима в них активно протекают такие элементарные почвообразовательные процессы, как элювирование, лессиваж, илонакопление. Все названное имеет прямое отношение к калийному состоянию почвы и эффективности калия удобрений. К сожалению, ранее проводимые в условиях района исследования решали лишь частные задачи проблемы калия почвы и удобрений.

С учётом обозначенных выше причин, комплексное исследование по заявленной нами теме является весьма актуальным.

Степень разработанности темы. Детальный анализ имеющейся информации по тематике диссертационной дан в начале подразделов диссертации. Ниже характеризуются лишь работы, выполненные в условиях Северо - Западного района РФ.

Наиболее обширная, и в то же время ценная для производства информация о калийном состоянии почв сельхозугодий получена государственной агрохимической службой района. Она даёт возможность объективно оценить характер зависимости обеспеченности почв подвижным калием от уровня химизации земледелия (разумеется, при учёте факта постоянного сокращения обследуемой площади сельхозугодий).

В работах А.А. Короткова (1970, 1977, 1990) и его учеников (СПбГАУ) основное внимание уделялось изучению современных почвообразовательных процессов в дерново-подзолистых почвах, в том числе круговорота калия.

Учёные СПбГУ Э.И. Гагарина, Н.Н. Матинян, Л.С. Счастливая и Г.А. Касаткина на основе данных экспедиционных исследований установили отдельные генетические закономерности в содержании и профиле распределения калия почвы. В.К. Пестряковым (1974, 1977) одним из первых в Северо-Западном районе начата оценка влияния окультуривания на почвенные запасы валового и подвижного калия. Объектами сравнения при этом были избраны целинные дерново-подзолистые и окультуренные почвы сортоучастков.

Значительный вклад в решение проблемы внесён отделом агрохимии Северо-Западного НИИСХ и лично его руководителем А.Н. Небольсиным (1997). Последний на основе собранного банка данных полевых опытов 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. Им были уточнены оптимальные уровни обеспеченности почв подвижным калием и нормативы окупаемости калийных удобрений.

С 1986 года в исследования по изучению свойств и режимов дерново-подзолистых почв региона включились учёные Великолукского СХИ, в том числе и автор диссертационной работы.

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 калия удобрений в зависимости от калийного состояния почвы, её водно-физических свойств и 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 полевом и овощном севооборотах.

Научная новизна исследования состоит в том, что в нём:

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

- установлены отдельные закономерности в трансформации форм почвенного калия под влиянием системы удобрения и других факторов (в том числе с использованием энергетических характеристик);

- получена научная информация о зависимости агрономической и экологической эффективности калия удобрений от калийного состояния и водно-физических свойств почвы, а также от 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, отражённых в монографии "Почвы Псковской области и их сельскохозяйственное

использование" (Великие Луки: Изд. ВГСХА, 1998) и учебных пособиях "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 ООО "Веть" Себежского района Псковской области - 374 тыс. рублей.

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 почвы и химический 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 Великолукского СХИ (ГСХА) как составная часть зональной тематики по научному обоснованию системы удобрения с учётом особенностей свойств и режимов дерново-подзолистых почв Северо-Западного района (под общим руководством академика РАСХН В.Н. Ефимова). На региональном уровне включены в программу "Изучение почвенного покрова Псковской области и разработка мероприятий по воспроизводству его плодородия" под общим руководством Заслуженного агронома РСФСР, доктора с.-х. наук, профессора И.А. Иванова.

Соискатель был руководителем и ответственным исполнителем по большинству проведённых полевых опытов и почвенных экспедиций. Исключением является опыт 1, в котором, помимо проблемы калия почвы и удобрения, изучались и другие вопросы (гумусное, азотное, фосфатное, кислотное-основное, микроэлементное состояние) и в котором в разное время принимали участие А.И. Иванов, В.В. Ильющенков, Н.А. Цыганова, О.В. Назарова, Е.Г. Лямцева. Это нашло отражение в ряде совместных публикаций.

Соискателем лично выполнялись анализ экспериментального материала, статистическая обработка данных, химические и иные анализы почвы и растительной продукции, разработка структуры диссертации и её написание, подготовка научных статей к изданию.

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 - 55 %.

Публикации. По результатам диссертационных исследований опубликовано 78 печатных работ, в том числе 15 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 исследований 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 страниц печатного текста.

За оказанную помощь в организации и проведении исследований, а также в издании научных трудов выражаю искреннюю благодарность учёным Великолукской ГСХА И.А. Иванову, В.В. Ильющенкову, Н.А. Цыгановой, О.В. Назаровой, Е.Г. Лямцевой, Г.В. Гавриловой. Особая благодарность за всестороннюю помощь научному консультанту, доктору с.-х. наук, профессору РАН А.И. Иванову.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на севере и юго-востоке Псковской области (в Гдовском и Великолукском районах). Природные условия района исследований типичные для Северо-Запада России. Климат умеренно-континентальный с ощутимым влиянием Атлантического океана. Обилие осадков (560 - 645 мм в год) на фоне невысоких среднегодовых температур (3,8 - 4,4⁰ С) создаёт предпосылки к формированию промывного водного режима - одного из условий подзолообразовательного процесса. В пахотном фонде области на дерново-подзолистые почвы приходится 90% площади.

Погодные условия в годы проведения опытов отличались существенным варьированием. За вегетационный период выпадало от 231 до 605 мм осадков, среднесуточные температуры изменялись от 12,9 до 15,6⁰ С, ГТК - от 0,9 до 3,1. Соответственно широким был и диапазон варьирования полевой влажности почвы - от 6,9% (август 1995 г.) до 34,8% (май 2005 г.). Всё это не могло не оказывать влияния на процессы трансформации форм почвенного калия и в целом на эффективность удобрений.

Объекты изучения - дерново-подзолистые целинные и пахотные почвы - в силу не одинакового генезиса и окультуренности характеризовались весьма неоднородными агрохимическими и агрофизическими свойствами.

Для решения поставленных задач использовался комплекс методических подходов: сравнительно-генетический метод изучения почв (Никитин Б.А., 1976, 1986), полевой эксперимент и анализ статистических данных агрохимической службы.

На основе требований сравнительно-генетического метода исследований закладывались серии почвенных разрезов в сходных геоморфологических условиях. Расстояние между разрезами сравниваемых почвенных аналогов, как правило, не превышало 150 м. Почвенные образцы отбирались из горизонтов А₁ и А_{пах}. в 10 точках в радиусе 5 м от разреза, из нижележащих горизонтов - в 5 точках по стенке разреза.

Полевые опыты выполнялись на опытных полях Великолукской ГСХА и в АОЗТ "Авангард" в Великолукском районе Псковской области на базе развёрнутых во времени севооборотов. Схемы опытов соответствовали решаемым задачам. Площадь опытных делянок 42 - 112 м², повторность 3 - 4

кратная. Микрополевой опыт закладывался в полиэтиленовых сосудах без дна объёмом 0,5*0,5*0,5 м.

В опытах возделывались районированные сорта сельскохозяйственных культур по зональным технологиям. Наблюдения, учёт и анализы проводились на основе соответствующих методических руководств. Относительно содержания в почве и продукции калия использовались методики:

- валовое содержание калия в почве - пламеннофотометрически после спекания по Смитсу;

- калий необменный - по Пчёлкину;

- калий подвижный - по Кирсанову в модификации ЦИНАО;

- калий обменный - по Масловой;

- калий водорастворимый - по Дашевскому;

- калийный потенциал и ПБС^к - по Беккету с использованием иономера "Анион - 4100";

- минералогический состав почвы - рентген-дифрактометрическим методом на рентген-дифрактометре ДРОН - 3М;

- калий в растительной продукции - по Гинзбург - Щегловой - Вульфиус.

Анализы выполнены в лабораториях ВГСХА и АФИ. Данные учёта урожая (сплошным весовым методом) и важнейших химических анализов обрабатывались статистически дисперсионным или разностным методами с использованием ПК.

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

Наличие тесной связи между калийным состоянием почвы и природными факторами почвообразования доказано многочисленными исследованиями. Деятельность человека как фактор почвообразования тоже существенно влияет на калийный режим почвы. В зависимости от характера этой деятельности вектор направленности трансформационных процессов может сильно меняться. Положительные изменения в калийном статусе связываются с окультуриванием почв и, в частности, с внесением органических, известковых и минеральных удобрений (Липкина Г.С., 1979; Коротков А.А., 1990; Носов В.В., 1997; Сычёв В.Г., 2000; Федотова Л.С., 2003). Хотя научные данные по этой тематике не лишены многочисленных противоречий.

За некоторыми исключениями (Гаркуша И.Ф., 1970; Пестряков В.К., 1977), большинство исследователей считает несущественным влияние процесса окультуривания на общие запасы калия в дерново-подзолистых почвах (Никитин Б.А., 1986; Иваненко Н.К., 1997; Якименко В.Н., 2003 и др.). Относительно изменения пула мобильных форм почвенного калия преобладает мнение о положительной динамике, во всяком случае, начиная со среднеокультуренного вида почв (Важенин И.Г., 1959;

Горбунов Н.И., 1965; Пчёлкин В.У., 1966; Дёмин В.А., 2003; Гомонова Н.Ф., Минеев В.Г., 2003). Наряду с этим, не единичны сведения о снижении содержания обменного калия на фоне положительного баланса этого элемента и об увеличении - на фоне отрицательного (Прокошев В.В., 1985; Бабарина Э.А., 1990; Сычёв В.Г., 2000; Мёрзлая Г.Е., 2002). Ещё больше противоречий в данных о влиянии окультуривания на потенциальный резерв доступного растениям калия почвы - его необменную форму: от отсутствия такового (Пчёлкин В.У., 1966; Паников В.Д., Минеев В.Г., 1987; Переверзев В.Н., Иваненко Н.К., 1995) до весьма значительного (Важенин И.Г., 1965; Прокошев В.В., 1984; Шафран С.А., 1997; Якименко В.Н., 2006). Ряд учёных обращает внимание и на возможность изменения состава калийсодержащих минералов почвы в процессе её интенсивного окультуривания (Прокошев В.В., 1979; Niederbudde E., 1980; Муха В.Д., 2004).

Для решения задач по проблеме трансформации калийного состояния почв использовались сравнительно-генетический метод исследований и многолетние данные агрохимической службы Северо-Западного района.

Серии почвенных разрезов, представляющих песчаные и легкосуглинистые обычные и остаточно-карбонатные дерново-подзолистые почвы, закладывались на участках с известной историей земледелия. В табл. 1 представлены обобщённые данные исследования.

Несмотря на отдельные отклонения, по-видимому, связанные с признанной пространственной и вертикальной неоднородностью моренных отложений, зависимость калийного состояния почв как от уровня окультуренности, так и от генезиса прослеживалась достаточно отчётливо.

Общее содержание калия в пахотном слое хорошо окультуренных почв превышало показатель целинных аналогов на 9, слабоокультуренных - на 11%. У почв, сформировавшихся на тяжелосуглинистой морене, оно было в 1,5 раза больше в сравнении с почвами на рыхлых песках. Профильное распределение валовых запасов K_2O чаще удовлетворительно коррелировало с содержанием физической глины. У суглинистых разновидностей 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.

Хотя и почвообразующие породы оказывали влияние на содержание непосредственно участвующих в питании растений форм почвенного калия, всё же решающее значение имел уровень окультуренности. Пахотный слой хорошо окультуренных почв содержал водорастворимого калия в 5,4, подвижного - в 3,2 - 4,6 раза больше в сравнении с целинными и слабоокультуренными аналогами.

Степень подвижности калия в целинных почвах низкая - в среднем 0,3%. При этом уменьшение её с глубиной не обвальное, что указывает на возможность участия подпахотных горизонтов в калийном питании растений.

Таблица 1 - Групповой состав почвенного калия в зависимости от окультуренности дерново-подзолистых почв

Горизонт	Глубина, см	Среднее содержание K_2O , мг/кг						К _{подв} Квал	К _{лр} К _{подв}
		валовой	легкорастворимый	обменный	подвижный	необменный	силикатов		
Целинные (лесные и луговые) почвы									
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
Слабоокультуренные почвы									
A _{пах}	0-20	15835	17	117*	80	473	15282	0,005	0,21
A ₂ (A ₂ B)	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
Хорошо окультуренные почвы									
A _{пах}	0-24	17590	92	309*	252	812	16526	0,014	0,37
A ₂ (A ₂ B)	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

Относительная доля подвижного калия в общих запасах элемента не имела устойчивой связи с гранулометрическим составом и наличием карбонатов, но закономерно возрастала до 0,5% у слабо- и до 1,4% у хорошо окультуренных аналогов. Доля водорастворимого калия в составе подвижного у остаточного-карбонатных почв была вдвое больше по сравнению с обычными дерново-подзолистыми.

Не менее объективным показателем зависимости обеспеченности почв подвижным калием от уровня их окультуренности являются данные многолетнего мониторинга свойств почвенного покрова областей Северо-Западного района, осуществляемого агрохимической службой (табл. 2). 25-летие с 1965 по 1990 годы характеризовалось как время стабильного повышения окультуренности почв. За эти годы доля их хорошо окультуренных видов увеличилась с 3 - 5 до 17% (Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф., 1977; Иванов И.А., Иванов А.И., 2006). На фоне интенсивности баланса калия в системах удобрения, превысившей 200%, имело место постепенное улучшение обеспеченности почв подвижным калием, достигшее определённого максимума в Псковской и Новгородской областях к концу 80-х, а Ленинградской - к середине 90-х годов прошлого века. К этому времени площадь почв пашни с оптимальным содержанием калия (более 100 мг/кг) превысила половину от общей.

Таблица 2 - 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

Однако темпы улучшения калийного статуса почв абсолютно не соответствовали принятым нормативам затрат удобрений. Как отмечалось А.Н. Небольсиным (1997), они доходили до 900 кг/га K_2O в расчёте на 10 мг подвижного калия в 1 кг почвы. Причины этого известны лишь частично. И.А. Иванов (1989) считал одной из них значительные потери калийных удобрений на пути "завод - поле". К числу других можно отнести завышение в процессе расчётов данных о содержании калия в составе органических удобрений, интенсивное известкование почв в те годы, а также грубые нарушения агрохимических основ системы удобрения, имея в виду внесение высоких доз навоза и калийных туков в уже насыщенные обменным калием почвы.

В отличие от проанализированной выше информации, данные сравнительно-генетического исследования относительно трансформации необменной формы почвенного калия не столь однозначны, хотя в пределах пахотного и подпахотного горизонтов положительное влияние окультуривания проявлялось отчётливо. Прослеживалась связь и с гранулометрическим составом: верхний горизонт легкосуглинистых почв содержал в среднем 933 мг/кг K_2O (по Пчёлкину), а песчаных - только 247 мг/кг. Но, без выполнения минералогических анализов, сложно объяснить кратное увеличение содержания необменного калия в иллювиальном горизонте и в материнской породе суглинистых почв (вероятнее, это результат вертикальной неоднородности моренных отложений).

По понятным причинам менее изученным на сегодня является процесс постагрогенной эволюции ранее окультуренных почв, напрямую

затрагивающий и их калийное состояние (Караваяева Н.А., 1996, 2000; Ефимов В.Н., Иванов А.И., 2001; Литвинович А.В., 2006; Володарская И.В., 2007). Причиной деградации калийного состояния почв называется отказ от калийных удобрений (Бабарина Э.А., 1991; Милащенко Н.З., 1996; Державин Л.М., 1998). Но при этом степень опасности деградационных процессов трактуется весьма неоднозначно. Незначительность потерь подвижного калия даже за десятилетия наблюдений отмечается в работах S. Dubetz (1981), З.М. Шугля (1991), В.В. Прокошева (2004). Напротив, согласно исследованиям А.И. Иванова (2000) и А.В. Литвиновича (2006), они, как минимум, на порядок больше.

Наш анализ данных агрохимической службы по Псковской области тоже даёт основание говорить о существенности потерь (табл. 3)

Таблица 3 - 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

Если в 70 - 80-е годы XX века в области на гектар пашни вносилось 90 кг K_2O в составе минеральных и органических удобрений, то с 1990 по 2010 всего по 8 кг. Как следствие, за 20 лет почвы возвратились к исходному (естественному) состоянию. В 60-е годы 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. То есть, подтверждается мнение учёных ВНИИА (Никитина Л.В., Володарская И.В., 2007) о стабилизации содержания обменного калия на определяющемся гранулометрическом составе минимальном уровне, воспроизводимом почвой в условиях её калийного истощения.

Более объективное и полное представление о характере деградационного процесса даёт анализ данных полевых опытов, в первую очередь стационарных.

Опыт 1 был заложен в 1987 году на хорошо окультуренной остаточно-карбонатной легкосуглинистой дерново-подзолистой почве, содержащей 2,3% калия, в том числе 456 мг/кг подвижного и 188 мг/кг водорастворимого (позднее включён в Географическую сеть опытов ВИУА). Деградация калийного состояния почвы происходила на фоне длительного применения

остродефицитных по калию минеральных систем удобрения, нацеленных на мобилизацию почвенных запасов этого элемента. Продолжительность наблюдений - 21 год, или три с половиной ротации интенсивного зернопропашного севооборота.

Значительная оторванность показателей калийного состояния от целинного аналога, в частности по содержанию подвижной формы и доле ионов K^+ в ЕКО, предопределяло его неустойчивость. Как свидетельствуют данные по трём основным вариантам опыта (табл. 4), при общем дефиците баланса K_2O от 2562 до 3623 кг/га снижение содержания подвижного калия в почве пахотного слоя составило 254 - 339 мг/кг, или по 12 - 17 мг/кг в среднем за год. Уменьшение содержания на 10 мг/кг происходило при невозмещении выноса K_2O в 101 - 107 кг/га. Тем не менее, потери оказались кратно меньшими относительно теоретически возможных (854 - 1208 мг/кг), что указывает на высокую восстанавливающую способность почвы относительно обменного калия. Вероятно, подобные данные и служат основанием рекомендовать системы удобрения с дефицитом баланса калия (Литвак Ш.И. и др., 1991; Якименко В.Н., 2006). Однако, если оценить параметры деградации всех ёмкостных показателей калийного состояния почвы, станет очевидной недопустимость такой ситуации.

За 21 год исследования почвы в условиях зернопропашного севооборота содержание калия только в пределах пахотного слоя уменьшилось: легкорастворимого - в 5,8 - 8,5, подвижного - в 2,5 - 3,1, необменного - в 2,8 - 3,6 раза, валового - на 7 - 8%. В разы снизилась степень подвижности. Существенно ухудшилось калийное состояние и подпахотного горизонта.

Утрата почвой пахотного слоя разных форм калия происходила не синхронно. В первую ротацию севооборота содержание как легко-, так и потенциально доступных растениям форм снижалось постепенно и в основном коррелировало с балансом этого элемента. То есть, на первом этапе в потреблении сельскохозяйственными культурами был задействован и обменный, и необменный калий. Для второй ротации характерна опережающая потеря водорастворимого калия (уменьшение содержания в 3 раза) и несколько меньшая - обменного. Незначительно увеличились и параметры снижения содержания необменного калия. Все это указывает на определённое уменьшение восстановительной способности калийной буферной системы почвы. В последние годы содержание легкоподвижного калия изменялось уже несущественно, но зато сильно возросли потери обменного и, особенно, необменного калия. Можно предположить, что в это время потребление калия происходило в значительной мере за счёт трансформации его необменной формы.

Таблица 4 - Трансформация калийного состояния хорошо окультуренной почвы в полевом опыте №1

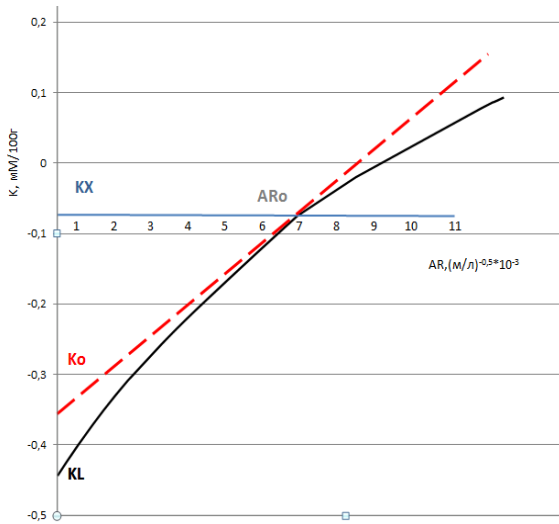
Вариант системы удобрения	Слой почвы, см	Баланс K ₂ O, кг/га	Содержание форм калия, мг K ₂ O в 1 кг почвы (над чертой - в 1987 г., под чертой - в 2007 г.)						К _{подв} Квал	К _{лр} К _{подв}
			валовой	легко-растворимый	обменный	подвижный	необменный	силикатов		
Контроль-0	0-22	-2646	23050	193	528	493	1752	20770	0,021	0,39
			21270	33	162	198	570	20538	0,009	0,17
	22-40		22070	72	244	196	1416	20410	0,009	0,37
			21840	40	128	124	1115	20597	0,006	0,32
N ₉₀₋₁₂₀	0-22	-3623	22960	195	512	499	1793	20655	0,022	0,39
			21290	23	150	160	502	20644	0,008	0,14
	22-40		21980	72	239	187	1391	20350	0,009	0,39
			21630	29	117	123	1088	20425	0,006	0,24
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0-22	-2562	22930	176	479	422	1671	20780	0,018	0,42
			21240	24	155	168	601	20484	0,008	0,14
	22-40		21710	70	237	180	1403	20070	0,008	0,39
			21680	40	135	125	1288	20257	0,006	0,32

Ежегодное внесение K₆₀, хотя и уменьшало дефицит баланса калия, решающих изменений в трансформационный процесс не превносило. Напротив, роль азотного удобрения в мобилизации почвенных запасов калия (а значит и в ускорении деградации калийного состояния) проявилось отчётливо. За период исследования на фоне N₉₀₋₁₂₀ вынос K₂O урожаями превысил контрольный вариант на 1 т/га.

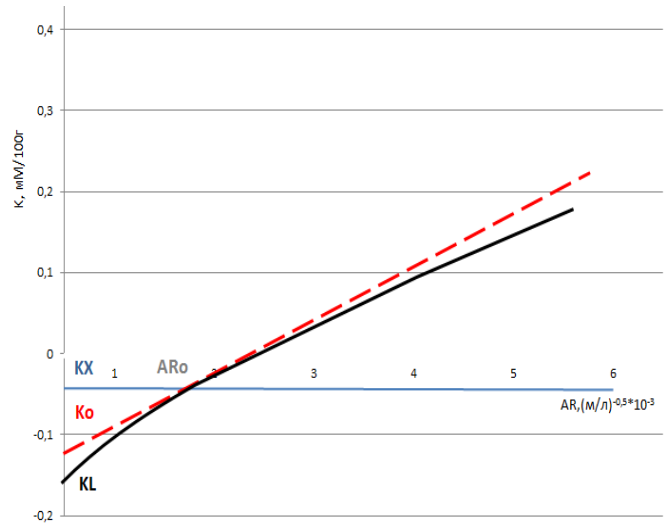
Негативные последствия длительного использования калийдефицитных систем удобрения проявились и на термодинамических показателях калийного состояния почвы (рис.1, табл. 5).

В год закладки опыта почва характеризовалась оптимальным калийным потенциалом - 2,0 (по Вудраффу - от 1,8 до 2,2). Оптимуму соответствовал и показатель энергетических затрат на реакции замещения обменного кальция ионами калия (-2728 кал.). Содержание легкообменного калия (ΔK₀) - 0,35 мМ/100 г, или 165 мг/кг K₂O, незначительно отличалось от содержания водорастворимого, установленного методом химического анализа по Дашевскому (188 мг/кг K₂O). На его долю приходилось 80% общих запасов доступного калия (ΔKL), что, как и в варианте химического анализа, указывает на высокую степень подвижности элемента в почве.

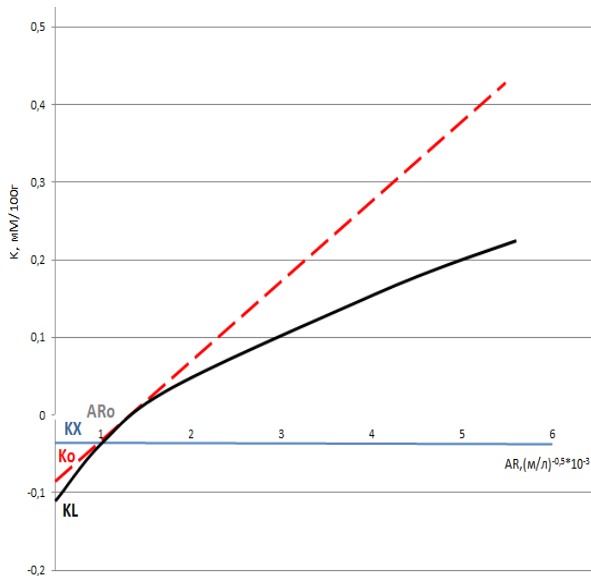
Длительное использование в насыщенном калиефильными культурами севообороте калийдефицитных систем удобрения привело к уменьшению содержания легкообменного калия в 3,3 - 4,4, доступного - в 2,8 - 3,9, равновесной активности ионов - в 3,9 - 5,8 раза. Калийный потенциал увеличился до 2,3 - 2,7, а энергетические затраты реакций обмена - до -3247 - 3586 калорий, что свидетельствует об усилении поглощения калия твёрдой фазой почвы и уменьшении способности ионов K⁺ к десорбции в почвенный раствор.



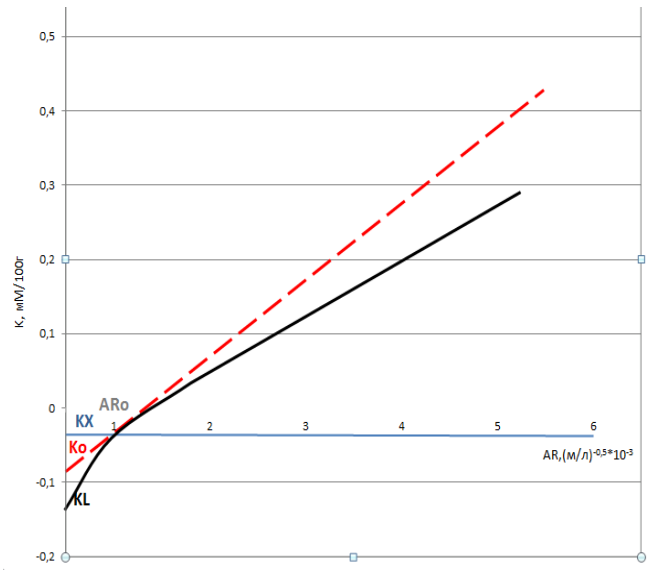
Изотерма сорбции калия в начале опыта



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



Изотерма сорбции калия в конце опыта (вариант «N₉₀₋₁₂₀»)



Изотерма сорбции калия в конце опыта (вариант «N₉₀₋₁₂₀ P₆₀ K₆₀»)

Рисунок 1 - Изотермы сорбции калия дерново-подзолистой почвой в опыте №1

KL - весь подвижный калий, K_0 - легкообменный калий, KX - труднообменный калий, AR_0 - отношение активностей ионов K^+ и Ca^{2+} , при котором калий раствора находится в равновесии с твёрдой фазой почвы.

Таблица 5 – Показатели интенсивности калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы в опыте №1 (над чертой – 1987 г., под чертой – 2007 г.)

Варианты систем удобрения	КП	ΔK_0	ΔKL	ΔKX	AR_0 , (М/л) ^{0,5*} *10 ⁻³	ПБС ^к , мм/100г (М/л) ^{0,5}	ΔG , кал
		мм/100 г					
Контроль-0	2,0	0,36	0,45	0,09	7,0	51,6	-2728
	2,7	0,11	0,16	0,05	1,8	63,8	-3540
N ₉₀₋₁₂₀	2,0	0,35	0,43	0,08	6,9	50,7	-2728
	2,6	0,08	0,11	0,03	1,2	70,0	-3586
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	2,0	0,33	0,41	0,08	6,8	48,5	-2728
	2,3	0,09	0,13	0,04	1,3	69,9	-3247

По мнению ряда учёных, невосполняемые потери калия могут стать причиной преобразования ценных калийсодержащих минералов с увеличением необменной фиксации ионов K⁺ и нарушением природного минерало-геохимического фона, контролирующего видовое многообразие организмов и условия их существования (Чижикова Н.П., 1996 - 2002; Соколова Т.А., 1999; Прокошев В.В., Дерюгин И.П., 2000; Алексеенко В.А., 2000). В опыте №1 не установлено значительного изменения минералогического состава почвы пахотного слоя, несмотря на столь существенное ухудшение калийного состояния. Регистрировалось лишь некоторое уменьшение содержания ди- и триоктаэдрических калиевых слюд при увеличении в среднем на 13% содержания хлоритов.

В завершение анализа данных опыта №1 целесообразно отметить, что ухудшение калийного статуса почвы будет не совсем правильно увязывать только с дефицитом баланса калия. Ведь за 21 год наблюдений не претерпели существенных изменений только физические свойства почвы. Так, в среднем по трём вариантам опыта имело место снижение содержания гумуса на 0,33%, рН_{ксл} - на 0,71 ед., суммы обменных оснований - на 2 мм/100 г. легкогидролизуемого азота - на 32 мг/кг, подвижного фосфора - на 68 мг/кг. Вполне вероятно, что и подкисление почвы, и уменьшение ЕКО, и дегумификация тоже сказывались на процессах трансформации форм почвенного калия.

Опыт 2 проводился на той же, что и №1, хорошо окультуренной почве, но с несколько худшими показателями калийного состояния: K₂O валовой - 2,3%, подвижный - 227 мг/кг, водорастворимый - 87 мг/кг. В нём в течение ротации плодосменного севооборота оценивались варианты минеральной и органической (навозной) системы удобрения с отрицательным балансом калия. Результаты оценки по трём основным вариантам отражены в табл. 6.

При среднегодовом дефиците баланса K₂O от 46 до 106 кг/га (в опыте №1 - 122 - 173 кг/га) 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 наблюдений почва утрачивала преимущественно

Таблица 6 – Трансформация калийного состояния хорошо окультуренной почвы в опыте №2

Вариант системы удобрения	Баланс K ₂ O	Содержание форм калия, мг/кг (над чертой – в 2002 г., под чертой – в 2007 г.)			К _{лр} К _{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
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

легкодоступные растениям формы почвенного калия. В среднем по вариантам опыта снижение содержания подвижного калия составило 44 мг/кг, или по 7,4 мг/кг за год (в опыте №1 - по 14,1 мг/кг). Относительное замедление деградационного процесса объясняется меньшим дефицитом баланса калия и не столь значительной оторванностью калийного состояния почвы опыта №2 от показателей целинного аналога. В то же время уменьшение запасов подвижного калия на 10 мг/кг наблюдалось при практически том же, что и в опыте №1, дефиците баланса K₂O - 112 кг/га. Характер деградационного процесса мало зависел от типа системы удобрения. Лишь потери водорастворимых соединений калия оказались несколько большими на фоне минеральной системы удобрения.

Микрополевой опыт был заложен в полиэтиленовых сосудах без дна, в которых искусственно формировалась верхняя часть профиля слабо- и хорошо окультуренных среднесуглинистых дерново-подзолистых почв (содержание K₂O соответственно: валовое - 1,9 и 2,2%, подвижного - 78 и 524 мг/кг, водорастворимого - 13 и 59 мг/кг). Культуры звена овощного севооборота выращивались на фоне минеральных систем удобрения и двух уровней водного режима - благоприятного и засушливого.

Вследствие большого выноса калия урожаем овощных культур его отрицательный баланс регистрировался даже при дозах K₂O до 270 кг/га, а с учётом значительных различий в уровне дефицита наблюдалось сильное ухудшение калийного состояния хорошо окультуренной и существенно меньшее - слабоокультуренной почвы (табл. 7).

В пахотном слое хорошо окультуренной почвы на фоне благоприятного водного режима за 4 года содержание водорастворимого калия уменьшилось в 2,5 - 4 раза, подвижного - в 2,8 - 5,2 раза, необменного - на 9 - 34%; на фоне постоянного недостатка влаги - в 1,6 - 1,9; 2 - 2,9 раза и на 8 - 17% соответственно. Степень подвижности калия уменьшилась в 1,7 - 4,8 раза. Снижение содержания подвижного калия происходило намного

Таблица 7 - Трансформация калийного состояния дерново-подзолистых почв в овощном севообороте
(в среднем по двум уровням водного режима)

Вариант системы удобрения	Слой почвы, см	Баланс K_2O , кг/га	Содержание форм калия, мг K_2O в 1 кг почвы (над чертой - в 1995 г., под чертой - в 1999 г.)					$\frac{K_{подв}}{K_{вал}}$	$\frac{K_{лр}}{K_{подв}}$
			валовой	легкорастворимый	подвижный	необменный	силикатов		
Хорошо окультуренная почва									
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	0-24	-2196	21375	58	543	1780	19052	0,025	0,11
			20615	22	147	1336	19132	0,007	0,15
	24-50		21595	19	187	1188	20220	0,009	0,10
			21415	14	73	917	20425	0,003	0,19
Фон+K ₉₀	0-24	-2110	21680	60	493	1905	19282	0,023	0,12
			20825	23	163	1437	19225	0,008	0,14
	24-50		21660	18	182	1159	20319	0,008	0,10
			21430	15	89	1007	20334	0,004	0,17
Фон+K ₁₈₀	0-24	-1792	21350	60	524	1915	18911	0,025	0,11
			20800	29	219	1621	18960	0,011	0,13
	24-50		21715	18	188	1152	20375	0,009	0,10
			21570	18	112	1063	20395	0,005	0,16
Фон+K ₂₇₀	0-24	-1518	21660	58	541	1902	19217	0,025	0,11
			21245	33	255	1739	19251	0,012	0,13
	24-50		21760	17	189	1596	20395	0,009	0,09
			21620	20	133	1138	20350	0,007	0,15
Слабоокультуренная почва									
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	0-24	-756	18220	13	94	1088	17038	0,005	0,14
			17830	9	81	839	16910	0,005	0,11
	24-50		18465	5	68	618	17779	0,004	0,07
			18280	5	68	493	17719	0,004	0,07
Фон+K ₉₀	0-24	-710	18280	12	90	1089	17101	0,005	0,13
			17925	9	98	928	16899	0,005	0,09
	24-50		18515	7	65	610	17840	0,004	0,11
			18270	7	64	446	17760	0,004	0,11
Фон+K ₁₈₀	0-24	-704	18585	13	88	1090	17407	0,005	0,15
			18115	10	118	930	17067	0,007	0,08
	24-50		18540	6	68	617	17855	0,004	0,09
			18540	7	79	478	17763	0,004	0,09
Фон+K ₂₇₀	0-24	-300	18280	13	110	1104	17066	0,006	0,12
			18120	13	133	1024	16963	0,007	0,10
	24-50		18460	6	67	614	17779	0,004	0,09
			18435	7	103	582	17750	0,006	0,07

быстрее, чем в полевых севооборотах (на 10 мг/кг на фоне невозмещённого выноса K_2O в 68 кг/га в условиях хорошего увлажнения почвы и 44 кг/га в засушливых условиях). Вполне логично, что в условиях засухи абсолютные потери почвой калия замедлялись вследствие меньшего выноса урожаями и, вероятно, меньших инфильтрационных потерь. Однако, в расчёте на единицу

дефицита баланса они возрасали наполовину, что может служить косвенным подтверждением усиления необменной фиксации калия почвы и удобрения.

Характер трансформации калийного состояния слабоокультуренной почвы был иным. В частности, уменьшение содержания легкорастворимого калия (в 1,3 - 1,9 раза) и необменного (на 23 - 26%) наблюдалось только в вариантах с влажностью почвы 60 - 75% НВ, то есть при получении удовлетворительной урожайности овощных культур. Содержание же подвижного калия увеличивалось (от 3 до 44 мг/кг) во всех вариантах с калийным удобрением, в том числе и дефицитных по калию. По-видимому, имело место усиление мобилизации калия из необменных форм под влиянием высоких доз физиологически кислых удобрений.

Корневая система выращиваемых в сосудах столовых корнеплодов осваивала и подпахотный горизонт почвы, особенно хорошо окультуренной, что тоже отразилось на калийном состоянии. Снижение в этом слое почвы содержания подвижного калия на 10 мг/кг становилось следствием дефицита баланса K_2O в 268 кг/га (при влажности почвы 60 - 75% НВ) и в 183 кг/га (при влажности 40 - 50% НВ).

Полевой опыт 1998 - 2000 гг. на среднеокультуренной супесчаной дерново-подзолистой почве ($K_2O_{вал.}$ - 1,76%, легкорастворимый - 23 мг/кг, подвижный - 108 мг/кг), выполненный на базе звена полевого севооборота, не выявил статистически достоверных изменений калийного состояния. Этот факт служит подтверждением ограниченной возможности объективной оценки трансформационных процессов в калийном состоянии почвы на основе краткосрочных опытов.

3 АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ

Достоверная информация о калийном состоянии почвы - важнейшая основа для эффективного применения калийных удобрений, тем более в современных условиях при ценах последних, увеличившихся за 25 лет в тысячи раз. Анализируемые ниже данные полевых опытов и показывающие зависимость агрономической эффективности калия удобрений не только от почвенных условий, но и от других факторов, позволяют дать рекомендации для практического земледелия.

Опыт 1 охватывал по времени три с половиной ротации севооборота "картофель ранний - рожь озимая - свёкла кормовая - овёс - кукуруза - ячмень", введённого на хорошо окультуренной высокообеспеченной калием почве (табл. 4). Изучались варианты минеральной системы удобрения с калием и без него. Хлористый калий в составе тукоsmеси вносился под зерновые культуры перед предпосевной культивацией, под пропашные - перед весенней перепашкой зяби.

Результаты опыта подтвердили высокий потенциал эффективного плодородия хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы. В среднем за 1987 - 2007 гг. продуктивность севооборота без применения удобрений

составила 5,5 т зерновых единиц с 1 га (табл. 8). В то же время распространённое мнение о благоприятности климатических условий для проявления положительного действия удобрений и стабильности урожаев подтвердилось лишь отчасти. За время исследования урожайность зерновых культур изменялась от 2 до 5,7, картофеля - от 21 до 28, кормовой свёклы - от 31 до 90, зелёной массы кукурузы - от 39 до 45 т/га.

Таблица 8 - Агрономическая эффективность систем удобрения на хорошо окультуренной почве в опыте №1

Вариант системы удобрения	Продуктивность севооборота			Оплата 1 кг д.в., з.е.	Средне-годовой баланс K_2O , кг/га	Коэффициент использования K_2O , %	
	средне-годовая т/га з.е.	прибавка				почвы	удобрения
		т/га з.е.	%				
Без удобрений	5,5	-	-	-	-126	15	-
N_{90-120}	7,7	2,2	40	19,3	-173	22	-
$N_{90-120}P_{60}$	7,5	2,0	36	11,5	-171	23	-
$N_{90-120}K_{60}$	7,7	2,2	40	12,6	-130	21	29
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	8,0	2,5	45	10,7	-122	23	19
HCP_{05}	0,8						

Агрономическая эффективность всех вариантов системы удобрения была очень высокой - прибавки урожайности - 36 - 45%, оплата 1 кг д.в. - 10,7 - 19,3 зерновых единиц. Но эффект обеспечивался почти нацело азотным удобрением. Прибавки урожайности от калийного удобрения получены только на отдельных культурах. Высокая отзывчивость растений на азот, несмотря на весьма благополучное гумусное состояние почвы, можно объяснить неблагоприятностью гидротермических условий в начале почти каждого вегетационного периода. За годы проведения опыта лишь в двух случаях по состоянию на 1 мая содержание в почве минерального азота соответствовало оптимальным параметрам. После внесения 90 - 120 кг/га азота ситуация изменялась коренным образом. В отличие от азота, содержание подвижного калия, хотя и снижалось с годами, продолжало оставаться высоким в течение всей вегетации вплоть до последнего года.

Высокая обеспеченность почвы калием - не единственная причина низкой эффективности калийного удобрения. Ведь в выносе макроэлементов урожаями калию принадлежало первое место, а дефицит его баланса был большим, чем азота. Чтобы обеспечить такой вынос в отсутствие положительного действия на урожайность необходимы, как минимум, два условия: увеличение коэффициента использования калия почвы и (или) избыточное накопление элемента в составе продукции. И то, и другое в условиях опыта имели место. Так, в варианте моноазотной системы удобрения повышение продуктивности севооборота составило 40%, а увеличение выноса K_2O - 37%. Последнее обеспечивалось повышением в 1,5 раза коэффициента использования калия почвы, а полученная продукция характеризовалась незначительной (относительно контроля) обедненностью калием. Мобилизация запасов почвенного калия под влиянием азота

удобрений отмечалась и в более ранних работах (Иванов И.А., 1989; Никитишен В.И., 1994). В вариантах системы удобрения с калием продуктивность севооборота повысилась в среднем на 45,5%, а вынос элемента - на 48%, что указывает на некоторое обогащение продукции калием. При этом увеличение выноса K_2O на 60 кг/га обеспечивалось на 77% за счёт мобилизации почвенных запасов и только на 23% за счёт хлористого калия.

Все шесть культур севооборота положительно реагировали на азотное удобрение, повышая урожайность не менее чем на 21% (зерновые в среднем на 22, пропашные - на 36%), и очень слабо - на калийное. Несколько выше эффективность калия на посевах кормовой свёклы и кукурузы (средние прибавки урожайности - 10,5 и 8,5% соответственно).

Не отрицая факта относительно невысокой агрономической эффективности калийных удобрений, ряд учёных придерживаются мнения о её возрастании со временем (Кук Д.У., 1970; Прокошев В.В., 1984; Никитишен В.И., 1990; Якименко В.Н., 2006). Его справедливость, в определённой степени, подтверждается даже на хорошо окультуренной почве (табл. 9).

Таблица 9 - Изменение агрономической эффективности систем удобрения в полевом опыте №1

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	28
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	8,8	6,6	8,7	9,4	38	38	45	88	0	5	7	24	24

В первую ротацию севооборота ни одна из культур на внесение K_{60} не реагировала. В эти годы содержание в почве подвижного калия находилось в диапазоне 459 - 390, водорастворимого - 195 - 140 мг/кг. Во вторую ротацию существенные прибавки урожайности получены на посевах кукурузы и ячменя, что обеспечило увеличение продуктивности севооборота на 5%. За это время среднее по вариантам опыта содержание подвижного калия уменьшилось до 270, легкорастворимого - до 51 мг/кг. В течение третьей ротации содержание подвижного калия снизилось до 203, водорастворимого - до 43 мг/кг. В годы этой ротации уже половина культур севооборота положительно реагировала на калийное удобрение. А в первой половине четвёртой ротации, в течение которой содержание подвижного калия уменьшилось до 175 и водорастворимого - до 27 мг/кг, калийное удобрение впервые за годы исследования стало экономически окупаемым. Конечно, нельзя отрицать, что в этой динамике определённое значение имели

специфика складывающихся на каждом этапе погодных условий и биологические особенности сельскохозяйственных культур.

Опыт 2 проводился на хорошо окультуренной почве в течение ротации плодосменного севооборота "картофель - ячмень+клевер - клевер - клевер - кормовая свёкла - овёс". В этом опыте, наряду с минеральными, изучался вариант органической системы удобрения. А для улучшения азотного режима почвы в севооборот была введена бобовая культура. Кроме того, существенно расширился диапазон изучаемых разовых доз калийного удобрения - от 90 до 140 кг/га, или в среднегодовом исчислении - от 30 до 93 кг/га. Навоз вносился дважды за ротацию (под пропашные культуры), минеральные удобрения распределялись между пропашными и зерновыми культурами, клевер луговой выращивался по последствию удобрений.

Двухлетнее возделывание клевера способствовало улучшению азотного состояния почвы. За 6 лет среднее по вариантам опыта содержание легкогидролизуемого азота увеличилось с 68 до 88, минерального - с 25 до 38 мг/кг. Это негативно отразилось на агрономической эффективности удобрений. Относительно опыта №1, прибавки урожайности снизились на 40%, а оплата действующего вещества - в 2,3 раза (табл. 10). В целом по ротации севооборота органическая система удобрения уступила по показателям агрономической эффективности минеральной, но картофель на неё реагировал лучше.

Увеличение среднегодовой дозы K_2O с 30 до 93 кг/га не дало положительного результата, вероятно, по тем же, что и в опыте №1, причинам. Принципиальное различие в том, что мобилизация почвенных запасов калия происходила в большей степени не за счёт высокой дозы азотного удобрения, а за счёт симбиотически фиксированного азота. А поскольку этот фактор для вариантов без удобрений и с удобрениями был практически равноценен, то отмечаемой выше устойчивой зависимости коэффициента использования калия почвы от системы удобрения в данном опыте не наблюдалось. Намного значительнее сказывались различия в

Таблица 10 - Агрономическая эффективность систем удобрения на хорошо окультуренной почве в опыте №2

Вариант системы удобрения	Продуктивность севооборота			Оплата 1 кг д.в., з.е.	Средне-годовой баланс K_2O , кг/га	Коэффициент использования K_2O , %	
	средне-годовая т/га з.е.	прибавка				поч-вы	удоб-рения
		т/га з.е.	%				
Без удобрений	4,4	-	-	-	-106	15	-
Навоз, 40 т/га	5,3	0,9	20	4,2	-46	15	39
$NP_{э.кв.} 40$ т/га навоза+ K_{90}	5,5	1,1	25	7,3	-106	14	100
$NP_{э.кв.} 40$ т/га навоза+ K_{115}	5,5	1,1	25	7,0	-102	16	89
$NP_{э.кв.} 40$ т/га навоза	5,5	1,1	25	5,2	-50	20	40
$НСР_{05}$	0,4						

биологии сельскохозяйственных культур. Пропашные потребляли запасы подвижного калия пахотного слоя на 25,6; клевер - на 16,4; зерновые - на 6,3%.

Калий удобрения (в прямом действии) использовался пропашными культурами в среднем на 33,9%, зерновыми - на 12,5%. Но за счёт последствий коэффициент использования K_2O в целом по ротации достигал 39 - 40% на фоне среднегодовых доз в 93 кг/га и 89 - 100% при дозах 38 и 30 кг/га.

Таким образом, данные двух многолетних опытов показывают, что в полевых севооборотах на высокообеспеченных калием хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах района исследования агрономическая эффективность калия удобрений низка как при средних, так и высоких их дозах. А мобилизация почвенных запасов калия может быть усилена за счёт улучшения азотного режима применением повышенных доз азотного удобрения или введением в севооборот культур - азотфиксаторов.

Микрополевой опыт проводился на слабо- и хорошо окультуренной почвах (табл. 7) в условиях развёрнутого во времени звена овощного севооборота "свёкла столовая - морковь - горохо-овсяная смесь на зелёный корм - репа". Нормированными поливами в опыте поддерживались два уровня полевой влажности почвы: 60 - 75% и 40 - 50% НВ. Изучались четыре варианта минеральной системы удобрения с высокими дозами NPK.

Среди изучаемых факторов агрономической эффективности наиболее значимым стала окультуренность почвы. Урожайность овощных культур на хорошо окультуренной почве была в 2 - 4 раза больше, чем на слабоокультуренной. Относительные же прибавки урожайности от калийного удобрения имели противоположную зависимость. Оплата 1 кг K_2O на слабоокультуренной почве превышала соответствующий показатель для хорошо окультуренной почвы в 1,7 раза (табл. 11). Хотя и на окультуренной почве она была достаточно высокой - от 6 до 21 з.е. Удовлетворительная агрономическая эффективность калийного удобрения даже в первый год опыта, когда содержание подвижного калия в почве превышало 500 мг/кг, объясняется исключительно высоким выносом K_2O столовыми корнеплодами (до 120 г/м²), в том числе и по причине значительного накопления калия в составе продукции (до 6% K_2O от массы сухого вещества).

Столь же важным фактором агрономической эффективности систем удобрения в овощном севообороте оказался и водный режим почвы. Продуктивность звена севооборота на фоне благоприятной для растений влажности почвы была в 1,8 раза больше, чем в засушливых условиях. Особенно страдали от недостатка влаги посеvy моркови и репы. Абсолютные прибавки урожайности от калийного удобрения, а значит, и оплата действующего вещества, тоже были лучшими при влажности почвы 60 - 75% НВ. То есть, распространённое мнение о возрастании роли калия удобрений в условиях почвенной засухи подтверждения не нашло. Хотя в относительных показателях прибавки в ряде вариантов опыта действительно возрастали.

Таблица 11 - Агронамическая эффективность калийного удобрения в овощном севообороте

Вариант системы удобрения (фактор В)	Влажность почвы (фактор Б)	Урожай основной продукции, кг/сосуд				Прибавка урожая, %				Оплата 1 кг К ₂ О, з.е.
		свёкла	морковь	горох-овёс (з.м.)	репа	свёкла	морковь	горох-овёс (з.м.)	репа	
Хорошо окультуренная почва (фактор А)										
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	60-75% НВ	2,8	2,4	0,71	1,5	-	-	-	-	-
Фон+K ₉₀		3,1	2,7	0,76	1,8	11	13	7	20	21
Фон+K ₁₈₀		3,6	2,8	0,79	1,7	29	17	11	11	14
Фон+K ₂₇₀		3,6	2,8	0,83	1,8	29	17	17	20	11
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	40-50% НВ	2,2	1,1	0,54	0,6	-	-	-	-	-
Фон+K ₉₀		2,6	1,2	0,63	0,7	18	9	17	12	15
Фон+K ₁₈₀		2,6	1,3	0,59	0,7	18	18	9	12	8
Фон+K ₂₇₀		2,6	1,4	0,59	0,7	18	27	9	12	6
Слабоокультуренная почва (фактор Б)										
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	60-75% НВ	1,3	1,0	0,37	0,4	-	-	-	-	-
Фон+K ₉₀		1,7	1,6	0,47	0,9	31	60	27	125	37
Фон+K ₁₈₀		1,8	2,2	0,61	1,7	38	120	65	325	34
Фон+K ₂₇₀		1,7	2,3	0,62	1,7	31	130	68	325	21
N ₁₂₀ P ₉₀ -фон	40-50% НВ	0,7	0,3	0,10	0,2	-	-	-	-	-
Фон+K ₉₀		1,0	0,6	0,17	0,4	43	100	70	100	17
Фон+K ₁₈₀		1,0	0,7	0,18	0,5	43	133	80	150	11
Фон+K ₂₇₀		1,0	0,7	0,22	0,5	57	133	120	150	9
НСР ₀₅	фак.А	0,16	0,07	0,10	0,08					
	фак.Б	0,16	0,07	0,10	0,08					
	фак.В	0,22	0,08	0,14	0,12					

Оптимизация водного режима стала одним из главных условий эффективности высоких (180 - 270 кг/га) доз калийного удобрения, особенно на слабоокультуренной почве.

К числу факторов эффективности калийного удобрения относились и биологические особенности растений. По размерам выноса калия (69 г/м²), балансовому коэффициенту использования удобрения (113%), продуктивности (2 з.е./м²), оплате 1 кг К₂О (27 з.е.) неоспоримое преимущество за столовой свёклой. Столовая морковь на фоне благоприятного водного режима по этим показателям почти не уступала свёкле. Но она сильно страдала от недостатка влаги, снижая при этом потребление калия в 3 - 6 раз и урожайность - в 2 - 2,8 раза.

Полевой опыт на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве проводился на базе звена полевого севооборота "ячмень - свёкла кормовая - лён-долгунец". Оценивалась агрономическая эффективность средней, повышенной и высокой дозы калийного удобрения на полевых культурах с разным выносом калия.

Более низкая, в сравнении со стационарными опытами №№ 1 - 2, окультуренность почвы имела следствием и относительно невысокую урожайность культур звена севооборота, особенно в варианте без удобрений (табл. 12). При этом и на среднеокультуренной почве более высокой агрономической эффективностью обладало азотное удобрение. На фосфорное удобрение, в силу высокого содержания в почве подвижных фосфатов, ни одна из культур не реагировала. Калийное удобрение, хотя и уступало по эффективности азотному, обеспечивало удовлетворительную окупаемость, а на посевах кормовой свёклы и ячменя - даже в дозе 120 кг/га.

Таблица 12 - Агрономическая эффективность систем удобрения в звене полевого севооборота

Вариант системы удобрения	Урожайность, т/га			Прибавка урожайности, %			Оплата 1 кг д.в., з.е.			Коэффициент использования K ₂ O, %**		
	яч-мень	свёкла	лён*	яч-мень	свёкла	лён*	яч-мень	свёкла	лён*	яч-мень	свёкла	лён
Без удобрения	1,6	12	3,6	-	-	-	-	-	-	<u>7</u> -	<u>20</u> -	<u>13</u> -
N ₆₀₋₁₂₀	2,0	29	3,9	25	142	8	3,8	36	2,0	<u>7</u> -	<u>52</u> -	<u>12</u> -
N ₆₀₋₁₂₀ P ₆₀ -фон	2,0	30	3,9	25	150	8	2,6	25	1,1	<u>9</u> -	<u>47</u> -	<u>13</u> -
Фон+K ₉₀	2,4	39	4,1	50	225	14	3,8	28	1,6	<u>8</u> 10	<u>46</u> 98	<u>11</u> 8
Фон+K ₉₀	2,6	43	4,2	63	258	17	4,2	28	1,6	<u>8</u> 10	<u>44</u> 88	<u>11</u> 8
Фон+K ₉₀	2,9	46	4,2	81	283	17	5,0	28	1,6	<u>8</u> 11	<u>44</u> 95	<u>11</u> 7
НСР ₀₅	0,2	2,9	0,39									

*- солома

** - над чертой - почвы, под чертой - удобрения

Хозяйственный вынос калия и коэффициента его использования из почвы и удобрения были очень высокими у типично калиефильной культуры - кормовой свёклы. Ячмень и лён удовлетворительно использовали калий почвы и весьма слабо - из удобрения.

4 ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ОТ УСЛОВИЙ КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Влияние калия на качество растительной продукции - ещё одна из важных его экологических функций. Поэтому данная проблема не обойдена вниманием сельскохозяйственной науки. Хотя имеющаяся на этот счёт информация не менее противоречива, чем данные о влиянии калийных удобрений на урожайность. Большинство учёных, учитывая незаменимую роль калия в углеводном и белковом обменах в растительной клетке, оценивает действие калийных удобрений на качественный состав продукции

как сугубо положительное (Пчёлкин В.У., 1966; Minotti P.L., 1968; Ониани О.Г., 1981; Прокошев В.В., 1985 - 2000; Борисов В.А., 1994; Амелин А.А., 1999). В то же время немало данных и о негативном влиянии калийных туков, особенно хлорсодержащих (Mengel K., 1965; Авдонин Н.С., 1979; Альшевский Н.Г., 1990; Черников В.А. и др., 2000). Весьма неоднозначны взгляды учёных на роль калия удобрений в азотном обмене и связанным с ним накоплением в продукции белка и нитратов (Турчин Ф.В., 1972; Коршунов А.В., 1988; Борисов В.А., 1994; Небольсин А.Н., 1997; Убугунов Л.А., 2005).

В тех наших опытах, где имелась возможность вычленить индивидуальное действие азота и калия на качество продукции, вновь наблюдалось (как и относительно агрономической эффективности) преимущество азотного удобрения. В частности, в опыте №1 при внесении N_{90-120} под зерновые культуры содержание в зерне сырого протеина увеличивалось на 14% (относительных), а при внесении N_{120} под пропашные - на 19% (в среднем по основным видам продукции). Содержание клетчатки в зелёной массе кукурузы уменьшилось на 13% (табл. 13). Крахмалистость картофеля и зерна либо не изменялась, либо имела тенденцию на снижение. Это же относится и к сахаристости корнеплодов кормовой свёклы. Увеличение содержания нитратов в клубнях картофеля (в среднем на 49%) и корнеплодах свёклы (на 76%) имело место все годы.

В опыте №2 среднегодовая доза азота составляла 67 кг/га, а разовая - от 100 кг/га в составе минеральной системы удобрения до 200 кг/га в составе навоза. Как следствие - повышение содержания сырого протеина в среднем в продукции пяти культур плодосменного севооборота на 13% на фоне навоза и на 12,8% - на фоне минеральных систем удобрения, содержания нитратов - на 14,6 и 6,4% соответственно.

В краткосрочном опыте на среднекультуренной почве тоже имело место увеличение содержания сырого протеина: в зерне ячменя и корнеплодах кормовой свёклы от дозы N_{120} на 13 и 20% соответственно, в льносеменах от дозы N_{60} - на 11%. Содержание нитратов в продукции увеличивалось в среднем на 26%. Несколько снижались крахмалистость зерна и сахаристость корнеплодов.

Действие калия удобрений на химический состав растительной продукции культур полевых севооборотов было весьма слабым и при очень высоком, и при среднем содержании в почве подвижного калия. В частности, в опыте №1 уменьшение содержания нитратов (на 16 - 21%) регистрировалось только в зелёной массе кукурузы. В опыте на среднекультуренной почве калийное удобрение в дозах от 60 до 120 кг/га несколько ослабляло отрицательное действие азота на технологические свойства льносоломки.

Таблица 13 - Влияние минеральных удобрений на качество основной продукции культур зернопропашного севооборота

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	
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
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
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
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
N ₉₀₋₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	11,9	53,1	не опр.	не опр.	0,74	0,56	17
Кукуруза (зелёная масса)							
Без удобрений	3,0	не опр.	не опр.	8,6	0,13	0,63	253
N ₁₂₀	3,4	не опр.	не опр.	7,1	0,15	0,58	233
N ₁₂₀ P ₆₀	3,6	не опр.	не опр.	7,7	0,16	0,67	196
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	3,8	не опр.	не опр.	7,7	0,16	0,67	185
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

В насыщенном калиефильными культурами овощном севообороте положительная роль калийного удобрения проявилась отчётливее (табл. 14). Особенно это касается их влияния на содержание нитратов в овощной продукции. Уменьшение концентрации последних регистрировалось у всех изучаемых культур на фоне доз от 90 до 270 кг/га K₂O (в среднем на 18%). Менее значительным, но тоже весьма стабильным было увеличение сахаристости корнеплодов свёклы, моркови и репы, правда, при

параллельном снижении содержания сырого протеина. Сколь-либо существенного изменения зольного состава продукции, выращенной на хорошо окультуренной почве, не наблюдалось. Внесение K_{90-270} в слабоокультуренную почву привело к повышению содержания K_2O в сухом веществе корнеплодов с 2,76 до 2,98%. Хотя содержание зольных веществ зависело больше от биологических особенностей растений, а отчасти, и от водного режима. Так, корнеплоды столовой свёклы содержали 0,64% P_2O_5 и 3,09% K_2O , а репы - 1,24 и 3,65% соответственно. В засушливых условиях содержание в корнеплодах фосфора снижалось на 5%, калия - на 13%. Водный режим почвы отражался и на других качественных показателях продукции. В среднем столовые корнеплоды, выращенные на фоне постоянного недостатка влаги, содержали больше сахаров на 7, сырого протеина - на 9, нитратов - на 17%.

Таблица 14 - Влияние системы удобрения на химический состав столовых корнеплодов в микрополевым опыте

Вариант системы удобрения	Содержание в % (в среднем по всем вариантам опыта)				NO_3^* мг/кг	каротин*, мг/кг
	сахара*	сырой протеин**	$P_2O_5^{**}$	K_2O^{**}		
$N_{120}P_{90}$ -фон	8,3	10,2	0,74	3,29	303	38
Фон+ K_{90}	8,8	9,4	0,83	3,24	263	48
Фон+ K_{180}	8,8	9,3	0,82	3,32	246	42
Фон+ K_{270}	8,7	9,5	0,81	3,43	235	33

* при естественной влажности, ** в сухом веществе

5 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ С РАЗНЫМ БАЛАНСОМ КАЛИЯ

До начала 90-х годов прошлого века в Северо-Западном районе РФ на 1 га пашни вносилось 200 кг действующего вещества минеральных удобрений, в том числе 70 - 100 кг отличающихся исключительной дешевизной (7 - 11 руб. за 1 т) калийных. В те годы рубль, вложенный в удобрения, мог приносить 3 - 4 рубля чистого дохода (Небольсин А.Н. и др., 1983). Сегодня из-за диспаритета цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию ситуация осложнилась настолько, что уже и многим учёным видится выход из положения использованием калийдефицитных систем удобрения. Поскольку объектом нашего исследования были, по преимуществу, именно такие системы удобрения, экономический анализ позволяет оценить возможную их доходность на сегодняшний день и неизбежные издержки для будущих поколений земледельцев (экологический ущерб оценивался выше).

Экономическая эффективность калийсодержащих систем удобрения в полевых севооборотах на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве (опыты 1-2). В опыте №1 изучались варианты минеральной системы удобрения с острым дефицитом баланса калия - в среднем от 122 до 173 кг/га. Такой дефицит был обусловлен не столько низкой насыщенностью удобрениями, сколько интенсивностью севооборота, в котором половина площади отводилась калиефильным пропашным культурам. Агрonomическая эффективность всех вариантов системы удобрения была высокой - на 1 кг д.в. удобрений получено от 10,7 до 19,3 зерновых единиц. В опыте №2 дефицитность систем удобрения по калию была меньшей - от 50 до 106 кг K_2O на 1 га. Меньшей более в чем в два раза была и их агрономическая эффективность, главным образом, по причине лучшего азотного режима почвы на фоне двухлетнего возделывания клевера лугового. Результаты экономической оценки (на примере основных вариантов системы удобрения) представлены данными табл.15.

В зернопропашном севообороте (опыт №1) лучшие показатели экономической эффективности у варианта моноазотной системы удобрения: условно чистый доход за ротацию превысил 100 тыс. рублей при уровне рентабельности 190%. Рентабельность варианта $N_{90-120}K_{60}$ значительно меньше, но тоже весьма высокая (153%). К сожалению, переносить полученную информацию на реальные условия современного земледелия не корректно без соответствующих поправок. Причина в том, что от 73 до 83% чистого дохода за ротацию получены на культуре картофеля, рыночная цена которого, относительно зерна, необоснованно завышена. А на долю картофеля приходилось 17% севооборотной площади, что значительно больше, чем в производственных условиях Северо-Западного района. В то же время, несмотря на высокую агрономическую эффективность удобрений, производство зерна было низкорентабельным.

Нельзя не обратить внимание на ограниченность возможностей у земледельца для снижения затратности систем удобрения. Ведь в структуре общих дополнительных затрат, связанных с получением прибавки урожайности, на долю стоимости удобрений приходилось 51 - 59%, в то время как на оплату труда всего 2,2 - 2,7%. И это касается хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв, на которых высокая агрономическая эффективность удобрений является, в значительной мере, следствием предшествующих вложений землепользователя в процесс окультуривания.

Данные последней графы табл. 15, полученные в результате расчёта затрат на воспроизводство утраченного плодородия по принятым нормативам, позволяют судить о последствиях дефицитности систем удобрения для будущих поколений земледельцев. Всего шестилетнее применение таких систем в условиях зернопропашного севооборота потребует в будущем затратить на компенсацию деградиационных потерь от 59,1 до 64,5 тыс. рублей на каждом гектаре.

Таблица 15 - Экономическая эффективность систем удобрения по данным полевых опытов №№1 - 2

Показатели, тыс. руб./га	Культуры севооборота			В целом по ротации	
	картофель	зерновые (в среднем)	свёкла кормовая	прямые показа- тели эффе- ктивности	с учётом затрат на воспро- изводство плодо- родия
Опыт №1 - вариант N ₉₀₋₁₂₀					
Стоимость прибавки урожая	91,2	8,4	23,2	158,0	158,0
Дополнительные затраты	13,6	6,9	11,8	54,5	119
в т.ч. стоимость удобрений	4,9	4,4	4,9	28,0	92,5
Условно чистый доход	77,6	1,5	11,4	103,5	39,0
Рентабельность,%	571	22	97	190	33
Опыт №1 - вариант N ₉₀₋₁₂₀ K ₆₀					
Стоимость прибавки урожая	91,2	9,8	28,4	171,5	171,5
Дополнительные затраты	15,3	9,0	14,7	67,7	126,8
в т.ч. стоимость удобрений	6,1	5,6	6,1	35,1	94,2
Условно чистый доход	75,9	0,8	13,7	103,8	44,7
Рентабельность,%	496	9	93	153	35
Опыт №2 - вариант навоз, 40 т/га					
Стоимость прибавки урожая	142,4	2,1	10,4	172,8	172,8
Дополнительные затраты	31,3	0,6	23,8	57,8	53,0
в т.ч. стоимость удобрений	8,0	-	8,0	16,0	-4,8
Условно чистый доход	111,1	1,5	-13,4	115	119,8
Рентабельность,%	355	250	-56	199	226
Опыт №2 - вариант NPK экв. 40 т/га навоза					
Стоимость прибавки урожая	51,2	7,9	14,1	104,5	104,5
Дополнительные затраты	22,3	10,5	21,5	66,7	97,9
в т.ч. стоимость удобрений	14,0	6,8	14,0	41,7	72,9
Условно чистый доход	28,9	-2,6	-7,4	37,8	6,6
Рентабельность,%	130	-25	-34	57	7

В плодосменном севообороте (опыт 2) прямой экономический эффект систем удобрения был тоже высоким (уровень рентабельности от 57 до 199%). Но, как и в опыте №1, формировался он в основном за счёт культуры картофеля. Производство зерна на фоне минеральной системы удобрения было даже убыточным. Органическая система удобрения обеспечивалакратно лучшие экономические показатели, во-первых, из-за более высокой эффективности на картофеле, во-вторых, вследствие меньшей затратности (80 т навоза оценивались в 16 тыс. рублей, а эквивалентная по NPK доза туков - 41,7 тыс. рублей), в-третьих, по причине положительного действия на плодородие почвы.

Экономическая эффективность калийного удобрения в овощном севообороте (микрополевой опыт). В силу достаточно высокой агрономической эффективности калийного удобрения не только на слабо-, но и на хорошо окультуренной почве, а также современной оценённости

овощной продукции, применение этого удобрения в овощном севообороте было экономически эффективным (средний уровень рентабельности на слабоокультуренной почве - 170%, на хорошо окультуренной - 159%). Двух- и трёхкратное увеличение доз калия незначительно снижало уровень рентабельности, поскольку в структуре затрат на стоимость удобрений приходилось всего от 3,5 до 9,7% (основной затратной статьёй в этом севообороте стала оплата труда на ручной уборке прибавки урожайности).

Экономическая эффективность калийного удобрения в звене полевого севооборота на среднеокультуренной почве. В трёхлетнем полевом опыте изучались два варианта системы удобрения с дефицитным и один - с профицитным балансом калия. В целом по звену севооборота все они были рентабельными (уровень рентабельности - 111 - 121%). Но на посевах льна-долгунца применение калийного удобрения было убыточным как по причине низкой агрономической эффективности, так и вследствие недооценённости льнопродукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 деградационный 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 льносомки.

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.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В числе 78 опубликованных по теме диссертации работ основными являются:

Публикации в изданиях перечня ВАК

1. 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 // Агрохимия. - 2009. - № 4. - С. 21 - 26.

2. Иванов, А.И. Ёмкостно - энергетическая оценка калийного состояния окультуренной дерново-подзолистой почвы / А.И. Иванов, Е.Г. Лямцева, **В.А. Воробьёв** // Плодородие. - 2009. - № 4. - С. 23 - 25.

3. 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.

4. Иванов, А.И. Влияние различных систем удобрения на микроэлементный состав почвы / А.И. Иванов, П.А. Суханов, Е.А. Дымова, **В.А. Воробьёв** // *Агрохимия*. - 2010. - № 12. - С. 3 - 9.
5. **Воробьёв, В.А.** Оценка систем удобрения картофеля в полевых севооборотах / В.А. Воробьёв // *Аграрная наука*. - 2015. - № 3. - С. 14 - 16.
6. **Воробьёв, В.А.** Эффективность систем удобрения в посевах ячменя / В.А. Воробьёв, Г.В. Гаврилова // *Аграрная наука*. - 2015. - № 7. - С. 24 - 26.
7. Иванов А.И. Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах / А.И. Иванов, **В.А. Воробьёв**, Ж.А. Иванова // *Проблемы агрохимии и экологии*. - 2015. - № 3. - С. 15 - 19.
8. **Воробьёв, В.А.** Агрономическая эффективность систем удобрения в полевых севооборотах на дерново-подзолистых почвах / В.А. Воробьёв // *Международный сельскохозяйственный журнал*. - 2016. - № 1. - С. 37 - 39.
9. **Воробьёв, В.А.** Эффективность систем удобрения в посевах овса / В.А. Воробьёв, Г.В. Гаврилова // *Аграрная наука*. - 2016. - № 2. - С. 7 - 9.
10. **Воробьёв, В.А.** Экологические функции калия в аспекте влияния на качество растительной продукции / В.А. Воробьёв // *Вестник ТвГУ. Серия "Биология и экология"*. - 2016. - № 1. - С. 127 - 134.
11. 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.
12. **Воробьёв В.А.** Эффективность калия в полевом севообороте на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве / В.А. Воробьёв, Г.В. Гаврилова // *Аграрная наука*. - 2016. - № 4. - С. 15 - 17.
13. Иванов, А.И. Агроэкологические последствия длительного применения дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, **В.А. Воробьёв**, Н.А. Цыганова // *Агрохимия*. - 2016. - № 4. - С. 10 - 17.
14. Иванов, А.И. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала / А.И. Иванов, А.А. Конашенков, Ж.А. Иванова, **В.А. Воробьёв**, М.А. Фесенко, Т.А. Данилова, П.А. Филиппов // *Агрофизика*. - 2016. - № 2. - С. 35 - 44.
15. **Воробьёв, В.А.** Особенности систем удобрения зерновых культур на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности / В.А. Воробьёв, Г.В. Гаврилова, О.В. Назарова // *Международный сельскохозяйственный журнал*. - 2016. - № 5. - С. 26 - 29.

Публикации в других изданиях

16. Иванов, А.И. Эффективность калийного удобрения в зависимости от окультуренности почвы и её водного режима / А.И. Иванов, **В.А. Воробьёв** // *Биологические и технико-экологические проблемы в сельском хозяйстве. Тезисы 33 научно-практической конференции*. - Великолукская ГСХА. - Великие Луки, 2000. - С. 4 - 5.

17. **Воробьёв, В.А.** Роль калийных удобрений в повышении продуктивности ячменя и кормовой свёклы на среднеокультуренной почве / В.А. Воробьёв // Проблемы природопользования и форма активного воспитания и образования: материалы Псковской областной экологической конференции. - Великолукская ГСХА. - Великие Луки, 2000. - С. 192 - 193.
18. Иванов, А.И. Калийный режим хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при интенсивном сельскохозяйственном использовании / А.И. Иванов, **В.А. Воробьёв** // Гумус и почвообразование. Санкт - Петербургский ГАУ. - Санкт - Петербург, 2000. - С. 186 - 189.
19. Иванов, И.А. Влияние калийных удобрений на продуктивность и калийное состояние дерново-подзолистых почв разной окультуренности / И.А. Иванов, **В.А. Воробьёв** // Наука - возрождению сельского хозяйства в XXI веке. Тезисы 34 научно-практической конференции. - Великолукская ГСХА. - Великие Луки, 2001. - С. 57 - 58.
20. Иванов, И.А. Трансформация калийного состояния дерново-подзолистых почв разной окультуренности при их использовании в полевых севооборотах / И.А. Иванов, **В.А. Воробьёв** // Гумус и почвообразование. Санкт - Петербургский ГАУ. - Санкт - Петербург, 2001. - С. 134 - 136.
21. **Воробьёв, В.А.** Роль калия почвы и удобрений на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности в условиях Северо-Запада Российской Федерации / В.А. Воробьёв // Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Санкт-Петербург - Пушкин, 2001. - 19 с.
22. Иванов, А.И. Влияние калийного удобрения на качество продукции полевых и овощных культур / А.И. Иванов, **В.А. Воробьёв** // РИО+10: охрана, природопользование, образование: материалы Псковской областной экологической конференции, выпуск 7. - Великолукская ГСХА. - Великие Луки, 2002. - С. 202 - 203.
23. **Воробьёв, В.А.** Эффективность калийного удобрения на дерново-подзолистой среднеокультуренной почве в звене полевого севооборота "ячмень - кормовая свёкла - лён-долгунец" / В.А. Воробьёв // РИО+10: охрана, природопользование, образование: материалы Псковской областной экологической конференции, выпуск 7. - Великолукская ГСХА. - Великие Луки, 2002. - С. 204 - 206.
24. **Воробьёв, В.А.** Экологическая оценка хозяйственной деятельности сельскохозяйственных предприятий (на примере изменения калийного состояния пахотных почв) / В.А. Воробьёв // Природные и культурные ландшафты: проблемы экологии и устойчивого развития: материалы общественно-научной конференции с международным участием. Часть 2. Псковский ГПИ. - Псков, 2002. - С. 30 - 31.
25. **Воробьёв, В.А.** Значение калия почвы и удобрений в условиях разной окультуренности почв дерново-подзолистого типа / В.А. Воробьёв // Наука и передовой опыт - аграрному производству: сборник трудов Великолукской ГСХА, Выпуск 1 (часть 1). - Великолукская ГСХА. - Великие Луки, 2002. - С. 47 - 58.

26. **Воробьёв, В.А.** Экологические последствия отказа от применения калийных удобрений на пахотных угодьях Псковской области / В.А. Воробьёв // Проблемы экологической устойчивости жизни на Земле: материалы Псковской областной экологической конференции, выпуск 8. - Великолукская ГСХА. - Великие Луки, 2003. - С. 202 - 204.
27. **Воробьёв, В.А.** Экономическая эффективность применения калийных удобрений на дерново-подзолистой среднеокультуренной почве в звене полевого севооборота / В.А. Воробьёв // Проблемы экологической устойчивости жизни на Земле: материалы Псковской областной экологической конференции, выпуск 8. - Великолукская ГСХА. - Великие Луки, 2003. - С. 207 - 209.
28. **Воробьёв, В.А.** Деграция калийного состояния хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв в условиях дефицита баланса калия в системах удобрения / В.А. Воробьёв // Гумус и почвообразование. Санкт - Петербургский ГАУ. - Санкт - Петербург, 2003. - С. 134 - 136.
29. **Воробьёв, В.А.** Влияние дефицита баланса калия в системе удобрения на калийное состояние дерново-подзолистых почв разной окультуренности / В.А. Воробьёв // Региональные проблемы народного хозяйства: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных. Часть 1. - Ульяновская ГСХА. - Ульяновск, 2004. - С. 37 - 40.
30. **Воробьёв, В.А.** К вопросу об использовании калия почвы и удобрения культурами полевых севооборотов / В.А. Воробьёв // Единое экологическое пространство - основа устойчивого развития: материалы Псковской областной экологической конференции, выпуск 9. - ДЭП. - Великие Луки, 2004. - С. 156 - 160.
31. **Воробьёв, В.А.** Деграция агрохимических свойств пахотных почв Псковской области / В.А. Воробьёв // Гумус и почвообразование. Санкт - Петербургский ГАУ. - Санкт - Петербург, 2004. - С. 169 - 171.
32. **Воробьёв, В.А.** Динамика агропроизводственных свойств пахотных почв Псковской области за 1965 - 2000 гг. / Наука - сельскохозяйственному производству: сборник научных трудов межрегиональной научно-практической конференции. Великолукская ГСХА. - Великие Луки, 2004. - С. 196 - 198.
33. **Воробьёв, В.А.** Экологические последствия изменения калийного состояния дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности при их сельскохозяйственном использовании / В.А. Воробьёв, О.В. Назарова // Агроэкологические проблемы сельскохозяйственного производства в условиях антропогенного загрязнения: материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Ульяновская ГСХА. - Ульяновск, 2004. - С. 171 - 173.
34. **Воробьёв, В.А.** К вопросу о трансформации соединений калия в дерново-подзолистых почвах разной окультуренности при их интенсивном сельскохозяйственном использовании / В.А. Воробьёв // АПК: состояние и перспективы: сборник научных трудов межрегиональной научно-

практической конференции. Великолукская ГСХА. - Великие Луки, 2005. - С. 203 - 205.

35. **Воробьёв, В.А.** Калийное состояние дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности при интенсивном сельскохозяйственном использовании и эффективность на них калийных удобрений / В.А. Воробьёв // Наука сельскохозяйственному производству и образованию: сборник материалов международной научно-практической конференции. Том 2 - "Агрономия". Смоленский СХИ. - Смоленск, 2004. - С. 37 - 40.

36. **Воробьёв, В.А.** Изменение агропроизводственных показателей пахотных дерново-подзолистых почв Псковской области за последние 40 лет / В.А. Воробьёв // Современное развитие АПК: региональный опыт, проблемы, перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Часть 2 - Ульяновская ГСХА. - Ульяновск, 2005. - С. 212 - 215.

37. **Воробьёв, В.А.** Особенности калийного состояния пахотных дерново-подзолистых почв разной окультуренности при их сельскохозяйственном использовании / В.А. Воробьёв // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе: материалы 56-й международной научно-практической конференции. Том 3. Костромская ГСХА. - Кострома, 2005. - С. 21 - 22.

38. **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 продуктивности сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: материалы 40-й международной научно-практической конференции ВНИИА. - Москва: ВНИИА, 2006. - С.19 - 21.

39. **Воробьёв, В.А.** Эффективность калийсодержащих удобрений и динамика калийного состояния хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах при различных уровнях дефицита баланса калия / В.А. Воробьёв // Инновации молодых учёных - развитию АПК России: сборник материалов научно-практической конференции. Часть 1. Современные достижения агрономической науки. Проблемы зоотехнической науки. - Великие Луки: РИО ВГСХА, 2006. - С. 12 - 15.

40. **Воробьёв, В.А.** Влияние интенсивного сельскохозяйственного использования дерново-подзолистых почв на их калийное состояние / В.А. Воробьёв // Инновационные технологии и тенденции развития сельскохозяйственного производства: сборник трудов межрегиональной научно-практической конференции. - Великие Луки: РИО ВГСХА, 2006. - С. 20 - 22.

41. **Воробьёв, В.А.** Деградация калийного состояния хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв и пути ее преодоления в современных условиях / В.А. Воробьёв // Молодые учёные в реализации приоритетного национального проекта "Развитие АПК": материалы 1-й Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных. Часть 1. Агрономия. - Уфа: Изд-во Башкирского ГАУ, 2006. - С.14 - 16.

42. **Воробьёв, В.А.** Изменение калийного состояния дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности при их сельскохозяйственном использовании / В.А. Воробьёв // Инновации молодых учёных - сельскому хозяйству России: сборник материалов Всероссийской конференции. - М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2006. - С. 267 - 270.
43. **Воробьёв, В.А.** Изменение калийного состояния хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв при использовании минеральных и органических систем удобрения / В.А. Воробьёв // Гумус и почвообразование. Санкт - Петербургский ГАУ. - Санкт - Петербург, 2006. - С. 78 - 80.
44. Иванов, И.А. Агроэкологическая оценка длительного применения минеральных удобрений / И.А. Иванов, Н.А. Цыганова, **В.А. Воробьёв** // Приложение к ж-лу "Плодородие". - №3. - 2007. - С. 26 - 28.
45. **Воробьёв, В.А.** К вопросу о деградации агрохимических свойств пахотных дерново-подзолистых почв в современных условиях / В.А. Воробьёв // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе: материалы 58-й международной научно-практической конференции. Том 2. - Кострома: КГСХА, 2007. - С. 20 - 22.
46. **Воробьёв, В.А.** Агроэкологические аспекты изменения калийного состояния хорошо окультуренных дерново-подзолистых 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.
47. **Воробьёв, В.А.** Деградация калийного состояния пахотных хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Северо-Запада России / В.А. Воробьёв // Почвенные ресурсы Северо - Запада России: их состояние, охрана и рациональное использование: материалы межрегиональной научно-практической конференции. - СПб.: Изд-во Политехнического Ун-та, 2008. - С. 90 - 92.
48. **Воробьёв, В.А.** Изменение азотного и калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при интенсивном сельскохозяйственном использовании / В.А. Воробьёв, О.В. Назарова // Вклад молодых учёных в развитие науки: сборник материалов 3-й научно-практической конференции. - Великие Луки: РИО ВГСХА, 2008. - С. 49 - 50.
49. **Воробьёв, В.А.** Влияние интенсивности сельскохозяйственного производства на ряд агрохимических свойств пахотных дерново-подзолистых почв / В.А. Воробьёв // Почвы как компонент природы и фактор продуктивности сельскохозяйственных земель. Статистико-стохастическое моделирование в организации сельскохозяйственного производства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию А.С.Фатьянова: межвузовский сборник научных трудов. - Н.Новгород: Нижегородская ГСХА, 2008. - С.103-106.
50. **Воробьёв, В.А.** Проблемы сохранения оптимальных показателей калийного состояния в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах / В.А. Воробьёв // Перспективные технологии для современного

сельскохозяйственного производства: материалы всероссийской научно-практической конференции. - Чебоксары: ЧГСХА, 2008. – С. 101-104.

51. **Воробьев, В.А.** Динамика калийного состояния хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв в длительных опытах / В.А. Воробьев // Аграрная наука-сельскому хозяйству: материалы всероссийской научно-практической конференции. - Курск: изд-во Курск. ГСХА, 2009. – С. 294 – 296.

52. **Воробьев, В.А.** Результаты термодинамического подхода в оценке калийного режима дерново-подзолистых почв лёгкого гранулометрического состава / В.А. Воробьев, Е.Г. Лямцева // Продукционный процесс растений: теория и практика эффективного и ресурсосберегающего управления: труды Всероссийской конференции с международным участием. – С-Пб: ГНУ АФИ РАСХН. - 2009. - С. 220 – 221.

53. **Воробьев, В.А.** Актуальные проблемы изменения агропроизводственных свойств пахотных дерново-подзолистых почв в процессе их использования / В.А. Воробьев // Роль высшей школы в реализации проекта «Живое мышление – стратегия Чувашии»: материалы международной научно-практической конференции. - Чебоксары: ЧГСХА, 2010. - С. 23 – 26.