

ФИЛИППОВА ПОЛИНА СЕРГЕЕВНА

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЙОДА В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ
ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ**

Шифр и наименование научной специальности:
4.1.3. – Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург
2025

Работа выполнена в Северо-Западном Центре междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СЗЦППО – СПб ФИЦ РАН)

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор РАН, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ФГБУН СПб ФИЦ РАН
Иванов Алексей Иванович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой агрохимии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»
Шеуджен Асхад Хазретович

доктор биологических наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»
Серегина Инга Ивановна

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится 6 ноября 2025 года в 11 часов на заседании диссертационного совета 24.1.008.01 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР) по адресу: 196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3, факс: (812)470-51-10, e-mail: dissovet@vizr.spb.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ ВИЗР и на сайте vizrspb.ru Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений

Автореферат разослан «___»_____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор биологических наук

Гусева Ольга Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современные исследования по всему миру показывают, что заболевания, вызванные дефицитом йода, широко распространены и требуют внедрения обоснованных профилактических мероприятий (Скородок и др., 2013; Платонова, Трошина, 2015). Северо-Западный регион России отличается низким содержанием йода в водах и почвах, и характеризуется умеренным йодным дефицитом даже в прибрежной части Балтийского моря (Панасин и др., 2002). Биообогащение товарной продукции и кормов йодом в таких условиях является эффективным средством оздоровления населения и поголовья сельскохозяйственных животных (Карабаева, 2018; Трошина и др., 2021; Dedov et al., 2000; Khan et al., 2017). Применение с этой целью йодсодержащих удобрений – один из наиболее перспективных методов (Кашин, 1987; Панасин и др., 2002; Шеуджен, 2003). Несмотря на способность йода стимулировать продукционный процесс и иммунитет сельскохозяйственных культур, отдельные аспекты и регламенты применения йодных микроудобрений пока не разработаны.

Степень изученности темы. Всестороннее изучение функций йода в растениях было проведено отечественными учеными М.В. Ефимовым (Ефимов, 1960, 1962, 1963), В.К. Кашиным (Кашин, 1977, 1987; Кашин, Осипова, 1978), В.Ф. Портянко (Портянко, 1980; Портянко, Костина, 1968), Ю.А. Потатуевой (Потатуева, Прокофьева, 1970; Потатуева и др., 1974). Этими исследованиями была раскрыта физиологическая роль йода в растениях. В настоящее время продолжаются региональные исследования почв и растений с точки зрения их обеспеченности йодом (Дибирова и др., 2005; Сысо, Ильин, 2008; Яковлева и др., 2016б; Гаджимусиева, Сайдиева, 2017). В Западно-Сибирском регионе проблематика гео- и агрохимии йода в почвенном покрове активно разрабатывается Г.А. Конарбаевой и В.Н. Якименко (Конарбаева, Якименко, 2015, 2019; Конарбаева, Смоленцев, 2018). Группой исследователей под руководством академика РАН А.Х. Шеуджена обоснованы регламенты применения йодных микроудобрений на посевах риса в условиях Краснодарского края (Яковлева и др., 2015; Яковлева, Шеуджен, 2016; Яковлева, 2018). Особенности пространственного распределения йода в агроландшафтах Калининградской области, указывающие на дефицит элемента даже в приморском регионе, и эффективность его применения были установлены проф. В.И. Панасиным с соавт. (Панасин и др., 2002, 2019). Однако в условиях Северо-Западного региона остаются невыясненными многие аспекты и факторы эффективного применения йодных микроудобрений: биологические особенности отдельных культур; специфика почвенно-агрохимических условий дерново-подзолистых почв и систем удобрения; диапазоны оптимального дозирования; параметры агрономической эффективности и воздействия на качественный состав и бионакопление йода в продукции и др.

Цель и задачи исследования. Целью исследования являлось проведение комплексной оценки систем удобрения с применением йода на культурах полевого севооборота в условиях Северо-Западного региона России.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. изучить влияние некорневых подкормок йодом и специфики почвенно-агрохимических условий на рост и развитие ряда культур полевого севооборота;
2. установить уровень оптимальных дозировок КІ и кратности некорневых подкормок картофеля, многолетних и однолетних трав в различных почвенно-агрохимических условиях на агродерново-подзолистой почве;
3. выявить агрономическую и энергетическую эффективность йодных некорневых подкормок в системах удобрения картофеля и кормовых трав;
4. изучить влияние некорневых подкормок растворами КІ на качество основной продукции картофеля, многолетних и однолетних трав;
5. определить параметры биообогащения йодом клубней картофеля и сырья для производства кормов.

Научная новизна исследования. Впервые была проведена комплексная оценка применения йода в системе удобрения картофеля, многолетних и однолетних трав на агродерново-подзолистой почве различной окультуренности в условиях Северо-Запада России. Впервые получены экспериментальные данные о влиянии широкого диапазона концентраций рабочего раствора КІ (от 0,005 до 0,64 %) и кратности некорневых подкормок (1, 2, 3) на рост, развитие, продуктивность, показатели качества основной продукции и потенциал бионакопления йода в ней. Установлены оптимальные с позиций агрономической эффективности параметры концентрации рабочего раствора КІ для некорневой подкормки картофеля, однолетних и многолетних трав и кратности ее проведения в зависимости от степени окультуренности агродерново-подзолистой почвы и уровня применения удобрений. Показано, что при оптимальном дозировании КІ содержание йода в сухом веществе клубней картофеля может быть повышено со 172 до 310-384, зеленой массы однолетних трав – со 105 до 640-695 и многолетних трав – с 88 до 611-861 мкг/кг.

Теоретическая значимость работы состоит: в расширении базы знаний и выявлении закономерностей формирования урожая сельскохозяйственных культур при их возделывании в различных почвенно-агрохимических условиях и системах удобрения с применением йодистого калия; в определении фактического потенциала бионакопления йода культурами полевого севооборота при применении некорневой подкормки растворами КІ.

Практическая значимость работы состоит: в научном агрономическом обосновании применения йодистого калия в системе удобрения полевых культур на дерново-подзолистых почвах различной степени окультуренности; в установлении оптимальных концентраций раствора КІ и кратности некорневых подкормок картофеля, однолетних и многолетних трав, формирующих базу данных для разработки регламента его применения в качестве микроудобрения.

Методология и методы исследований. В основу планирования исследования была положена концепция оптимизации минерального питания полевых культур. Методология исследования включала в себя полевой и лабораторный методы, сопровождаемые необходимым объемом статистической обработки основных результатов. Основу фактологической базы исследования

составили результаты полевых стационарных экспериментов. Полученные в них образцы изучаемых объектов были подвергнуты химико-аналитическим исследованиям в аккредитованной испытательной лаборатории.

Положения, выносимые на защиту:

- отзывчивость полевых культур на применение йода определяется их биологическими особенностями, погодными и почвенно-агрохимическими условиями;

- бионакопление йода в основной продукции картофеля, многолетних и однолетних трав зависит от особенностей культур, сопутствующих агротехнологических условий их возделывания и уровня применения йода в системе удобрения;

- на картофеле некорневое применение йодистого калия целесообразно 0,02 % рабочим раствором в виде двух- и трехкратного опрыскивания на окультуренных почвах с соответствующим им основным удобрением;

- кормовые травы, не требовательные к высокому плодородию почв, эффективнее обрабатывать 0,08-0,16 % раствором йодистого калия однократно при возделывании на почвах со слабой и средней степенью удобрённости.

Степень достоверности. Требуемый уровень объективности и достоверности исследования был достигнут за счет строгого соблюдения методических принципов планирования и проведения полевых экспериментов и применения стандартизированных методик определения качества основной сельскохозяйственной продукции в аккредитованной испытательной лаборатории с использованием поверенного оборудования. Общий научно-методический контроль за проведением исследования осуществлялся Ученым советом СЗЦППО – СПб ФИЦ РАН. Статистический анализ результатов исследования позволяет оценить представленные в диссертационной работе выводы как достоверные.

Апробация работы. Результаты исследования были доложены на Всероссийских и Международных научных конференциях в Вятской ГСХА (Киров - 2019 г.), Агрофизическом научно-исследовательском институте (С-Петербург – 2019 и 2022 гг.), Кубанском ГАУ (Краснодар - 2019 г.), ВНИИ органических удобрений и торфа (Владимир - 2019 г.), ВНИИ мелиорированных земель (Тверь - 2020 г.), СПб ФИЦ РАН (С-Петербург – 2022 г.)

Организация исследования и личный вклад соискателя. Научное исследование выполнено в 2018-2023 гг. в отделе землепользования и растениеводства СЗЦППО – СПб ФИЦ РАН в рамках Государственного задания «Разработать научные основы управления качеством и безопасностью продукции растениеводства и животноводства на Северо-Западе и Арктической зоне РФ с учетом ограничения агроклиматических и агроэкологических рисков (№ 0659-2019-0008)». На заключительном этапе в 2024 году работа выполнялась при финансовой поддержке Российского научного фонда и Санкт-Петербургского государственного автономного учреждения «Фонд поддержки научной, научно-технической, инновационной деятельности» в рамках гранта «Биообогащение сельскохозяйственной продукции йодом в условиях Санкт-Петербургской агломерации», № 24-16-20021.

Планирование исследования, отдельных опытов, их закладка и проведение с

выполнением задач программы наблюдений и учетов, отбор образцов и их подготовка к анализам, а также статистическая обработка и обобщение результатов работы выполнялись соискателем лично.

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 13 научных работ, из них 6 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа включает оглавление, введение, 5 глав основной части, заключение, рекомендации по использованию научных выводов, перспективы дальнейшей разработки темы, список публикаций по теме диссертации, список использованной литературы, приложения. Общий объём диссертации 190 страниц печатного текста, включает 11 рисунков и 38 таблиц в тексте и 12 таблиц – в приложениях. В списке литературы 261 источник, в том числе 80 на английском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЙОДНЫХ МИКРОУДОБРЕНИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

На основе литературных данных всесторонне рассмотрены вопросы, касающиеся геохимии йода в почвах, включающие круговорот йода, его мобилизацию и трансформацию, классификации по содержанию йода в почвах и др. Показана положительная роль йода в продукционном процессе сельскохозяйственных культур и влиянии на качество товарной продукции. Представлена информация о высокой важности йода в питании для здоровья человека и животных, а также обращено особое внимание на раскрытие механизма воздействия йода на физиологические процессы в растении.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые опыты проводились в 2018-2022 гг. на полевой экспериментальной базе Меньковского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ) (д. Меньково Гатчинского района Ленинградской области). Объектами исследования были культуры звена полевого севооборота (картофель – однолетние травы - многолетние травы 1 г.п. – многолетние травы 2 г.п.). В опытах возделывались картофель (*Solanum tuberosum* L.) раннеспелых сортов Удача и Метеор, смесь овса посевного (*Avena sativa* L.) сорта Скакун и вики посевной (*Vicia sativa* L.) сорта Вера, смесь клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) сорта Орфей и тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) сорта Ленинградская 204. Почва опытов агродерново-слабоподзолистая супесчаная средней, хорошей и высокой окультуренности с валовым содержанием йода 0,94, 1,22 и 1,48 мг/кг.

Первый микрополевой опыт, посвященный поиску оптимальной концентрации рабочего раствора йодистого калия в широком интервале дозировок, имел двухфакторную схему. На картофеле и однолетних травах фактором А служил уровень применения удобрений в трехвариантной схеме: контроль – без

удобрений (NPK0), средние дозы удобрений N80P30K100 и N30P30K60 (NPK1) и повышенные дозы удобрений N120P30K150 и N60P30K90 (NPK2). На многолетних травах этот фактор был представлен тремя видами почв по уровню окультуренности: среднеокультуренная, хорошо окультуренная и высокоокультуренная почвы. Фактором Б в опыте выступала концентрация рабочего раствора йодистого калия (контроль-0; 0,005%; 0,01%; 0,02%; 0,04%; 0,08%; 0,16%; 0,32%; 0,64%).

Второй микрополевой опыт был направлен на детализацию оптимальной концентрации рабочего раствора йодистого калия для некорневой подкормки картофеля и имел трехфакторную схему. Фактор А – уровень окультуренности агродерново-подзолистой почвы: средний, хороший и высокий. Фактор Б – уровень удобрённости: контроль – без удобрений (NPK0), средние дозы удобрений N60P30K120 (NPK1) и высокие дозы удобрений N120P600K240 (NPK2). Фактор В – концентрация рабочего раствора: контроль-0; 0,01%; 0,02%; 0,04%; 0,06%; 0,08%; 0,10%.

Третий микрополевой опыт, посвященный поиску оптимальной фазы и кратности проведения некорневых подкормок 0,02 % раствором KI, имел трехфакторную схему. Фактор А – степень окультуренности почвы: средняя, хорошая, высокая; фактор Б – минеральная система удобрения: NPK0, NPK1 и NPK2 (на картофеле это дозы 0, N80P30K100 и N120P30K150, на однолетних травах - 0, N30P30K60 и N60P30K90 и на многолетних травах – последствие внесенных ранее минеральных удобрений). Фактор В представлял собой четырехвариантную схему оценки кратности (на картофеле) и фазы (на однолетних и многолетних травах) проведения некорневой йодной подкормки 0,02 %-ным рабочим раствором KI. На картофеле первое опрыскивание проводилось в фазе бутонизации, два последующих - с периодичностью в 2 недели. На однолетних травах однократные обработки проводились в фазу кущения (KI-1) и выхода овса в трубку (KI-2), а также двукратная – в обе эти фазы (KI-3). На многолетних травах однократные опрыскивания проводились в фазу третьего тройчатого листа (начало весеннего отрастания) (KI-1) и стеблевания (KI-2), двукратное – в обе эти фазы (KI-3).

Основное удобрение в опытах вносилось под предпосевную обработку почвы вручную в форме Naа, АФК и Кх. Опрыскивание посадок картофеля и посевов однолетних и многолетних трав осуществлялось в безветренную погоду с использованием ранцевого опрыскивателя STIHL SG51 (Andreas Stihl AG & Co., Германия). Расход рабочей жидкости при этом составлял 30 мл/м². Фактическое дозирование осуществлялось исходя из времени, затрачиваемого агрегатом при рабочем давлении 2,5 МПа на расходование 90 мл раствора в расчете на 1 деланку опыта. Для приготовления маточного и на его основе рабочих растворов использовался кристаллический KI хч. (ОАО «Троицкий йодный завод», Россия).

Химико-аналитические исследования растительных образцов были выполнены в испытательных лабораториях ФГБУ ГСАС «Псковская», Агрофизического института и ФГБУ «Ленинградская МВЛ» с использованием стандартизированных методик. Содержание йода в клубнях и зеленой массе трав определялось по ГОСТ 28458-90, азот общий - ГОСТ Р 51417-99, фосфор общий -

ГОСТ 26657-97, калий общий - ГОСТ 30504-97, нитраты - ГОСТ 34570-2019, крахмал – ГОСТ 26176-2019, сырой протеин - ГОСТ 13496.4-2019, зола - ГОСТ 32933-2014, сырая клетчатка - ГОСТ 31675-2012.

Общая площадь делянок в опытах составляла 3-7,5 м², учетная – от 1,0 м² на однолетних и многолетних травах, до 1,5 м² – на картофеле. Повторность в опытах 3-6 кратная. Размещение вариантов и повторений систематическое. Результаты исследований обрабатывали методами дисперсионного и частично корреляционного и регрессионного анализа в программе Stat, а также программе Excel. Результаты полевых экспериментов представлены в виде среднего значения с рассчитанной наименьшей существенной разницей по Б.А. Доспехову (2014) или доверительным интервалом в форме удвоенного стандартного отклонения.

ГЛАВА 3. АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ ЙОДИСТОГО КАЛИЯ

Полевые культуры, являющиеся объектами исследования, находились под влиянием широкого диапазона почвенно-агрохимических условий: трех уровней окультуренности почвы и соответствующей им схемы применения органических удобрений и трех уровней применения полного минерального удобрения. Эти факторы оказывали значимое влияние на биопродукционный процесс картофеля и кормовых трав, их рост и развитие в процессе вегетационного периода. Эффективность применения йодистого калия зависела как от биологических особенностей культуры, так и от конкретных агрохимических условий, в которых она возделывалась.

3.1 Агрономическая эффективность применения йодистого калия в системе удобрения картофеля

Изучение влияния йодистого калия в системе удобрения картофеля с широким рядом почвенно-агрохимических условий позволило выявить особые закономерности. Применение йодной подкормки удлинит вегетационный период за счет заключительной фазы вегетации в среднем по вариантам опыта с 81 дня в контроле, до 82 – в варианте КИ1, 84 – в КИ2 и 85 дней – в КИ3. В сочетании с аналогичным эффектом от окультуривания почвы и применения минеральных удобрений это привело к общему удлинению вегетационного периода на 7 дней (с 80 до 87 дней). Превышение оптимальных дозировок (0,16 % и выше) ускорило наступление увядания растений на 2-4 дня.

В опыте, направленном на определение оптимальной концентрации раствора КИ, уровень применения минеральных удобрений оказал прямое влияние на отзывчивость картофеля на йодные подкормки. Так, без внесения минерального удобрения в оптимальном варианте с концентрацией 0,04 % КИ прибавка составила 0,160 кг/м² (9 %), а на фоне NPK1 и NPK2 при обработке раствором 0,02 % – 0,928 (37 %) и 0,493 (17 %) соответственно (рис. 1). Применение йодной некорневой подкормки с оптимальными концентрациями 0,01 и 0,02 % позволило увеличить отдачу от полного минерального удобрения на

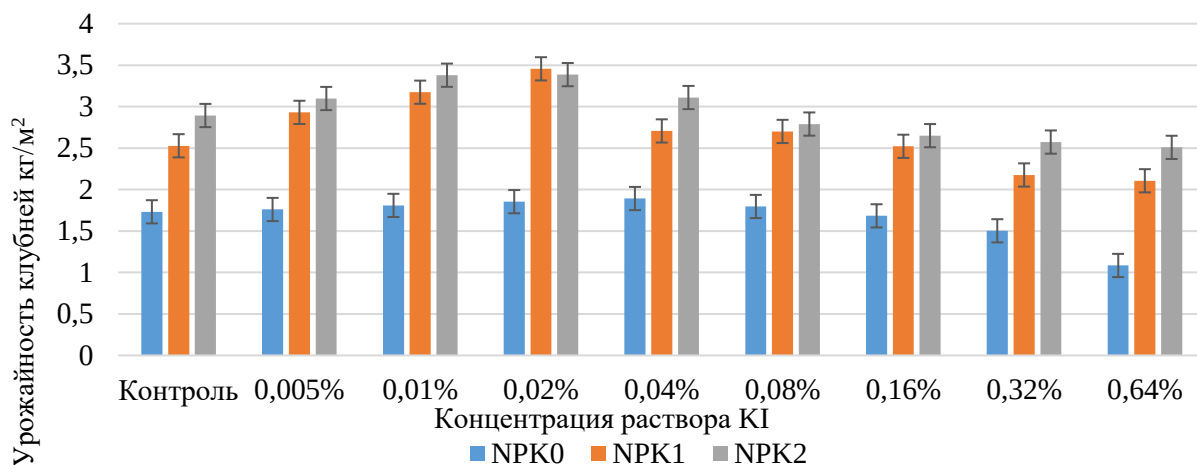


Рисунок 1 – Зависимость урожайности картофеля (сорт Удача) от концентрации рабочего раствора KI

29-40 % и 16-20 % для фонов NPK1 и NPK2 соответственно, что демонстрирует важность питательного режима почв при использовании йодных микроудобрений. Наименьшие прибавки были получены в варианте без доз NPK. Прибавки урожая в вариантах с внесением минеральных удобрений составляли 12-21 % при обработке раствором KI с концентрациями в диапазоне 0,005-0,04 %.

Изучение более детальной шкалы концентраций рабочего раствора в диапазоне от 0,01 до 0,10 % на картофеле сорта Метеор не подтвердило наличие токсического эффекта в диапазоне концентраций от 0,06 до 0,10 %. Все изучаемые концентрации раствора способствовали увеличению урожайности картофеля. Максимальная абсолютная прибавка была получена в опыте от концентрации 0,06 % и составила 0,792 кг/м². Так, в вариантах минеральной системы удобрения NPK0, NPK1 и NPK2 на среднеокультуренной почве это были концентрации 0,02, 0,10 и 0,10 %, на хорошо окультуренной почве – 0,02, 0,10 и 0,06 %, на высокоокультуренной – 0,06, 0,06 и 0,10 % соответственно. Аналогично опыту, проведенному на картофеле сорта Удача, применение минеральных удобрений на сорте Метеор способствовало повышению отдачи от йодистого калия на почвах всех степеней окультуренности. Так, в среднем по опыту прибавки от йодной обработки повышались с дозой NPK. На неудобренном фоне йод давал прибавку урожая 0,186 кг/м² (8 %), на фоне с дозой NPK1 - 0,491 кг/м² (14 %) и с дозой NPK2 – 0,995 кг/м² (26 %). Для среднеокультуренной почвы подтверждалась высокая роль применения минеральных удобрений, когда средние прибавки от йода в диапазоне концентраций 0,02-0,06 % увеличивались с 0,395 кг/м² до 1,033 и 1,265 кг/м² для вариантов NPK1 и NPK2 соответственно.

В опыте, направленном на определение оптимальной кратности некорневой обработки KI, пролеживалась тенденция высокой отдачи от йодных удобрений на фоне внесения средней дозы минеральных удобрений NPK1 на почвах всех уровней окультуренности. Так, средняя прибавка от йода составила 0,299 кг/м² в вариантах без внесения удобрений, 0,543 кг/м² – в вариантах со средней дозой NPK1 и 0,181 кг/м² - с повышенной дозой NPK2. В этом опыте максимальная прибавка урожая достигала 29 %. В этих вариантах удалось также повысить в среднем в 2,4 раза натуральную окупаемость 1 кг действующего вещества

минеральных удобрений (с 4,2 до 10 зерн. ед.).

Наиболее эффективным с точки зрения прибавок урожая можно считать двукратное на более окультуренных почвах и трехкратное применение 0,02 % раствора KI на среднеокультуренной почве. Негативный эффект высоких дозировок йода (0,16-0,64 %) проявляется в снижении урожая на 8 – 37 %, что можно охарактеризовать как проявление фитотоксичности микроудобрения. Наименьшие прибавки в абсолютном и относительном выражении были получены в вариантах без удобрений, а достоверные прибавки – преимущественно, в вариантах с применением минеральной системы удобрения, что говорит о важности оптимизации почвенно-агрохимических условий.

3.2 Агрономическая эффективность применения йодистого калия в системе удобрения однолетних трав

Как и на картофеле, на однолетних травах была зафиксирована тенденция к удлинению межфазных периодов в заключительной части вегетации. Йодные некорневые обработки положительно повлияли на урожайность однолетних трав, где наиболее выраженный эффект был отмечен в вариантах без удобрений и со средней дозой минеральных удобрений. Относительные средние прибавки урожая зеленой массы от йода в вариантах без применения минеральных удобрений и с внесением средней дозы удобрений NPK1 составляли 31-38 %, а максимальные составляли 80 и 68 % (при обработке раствором с концентрацией 0,16 % KI) соответственно для данных фонов (рис. 2). В варианте с дозой NPK2 йод оказывал токсичное действие при обработках раствором высоких концентраций, а на менее удобренных почвах оказывал стимулирующее. Средние абсолютные прибавки от йода составляют 0,183, 0,139 и 0,052 кг/м² зеленой массы в вариантах NPK0, NPK1 и NPK2 соответственно. С увеличением уровня минерального питания

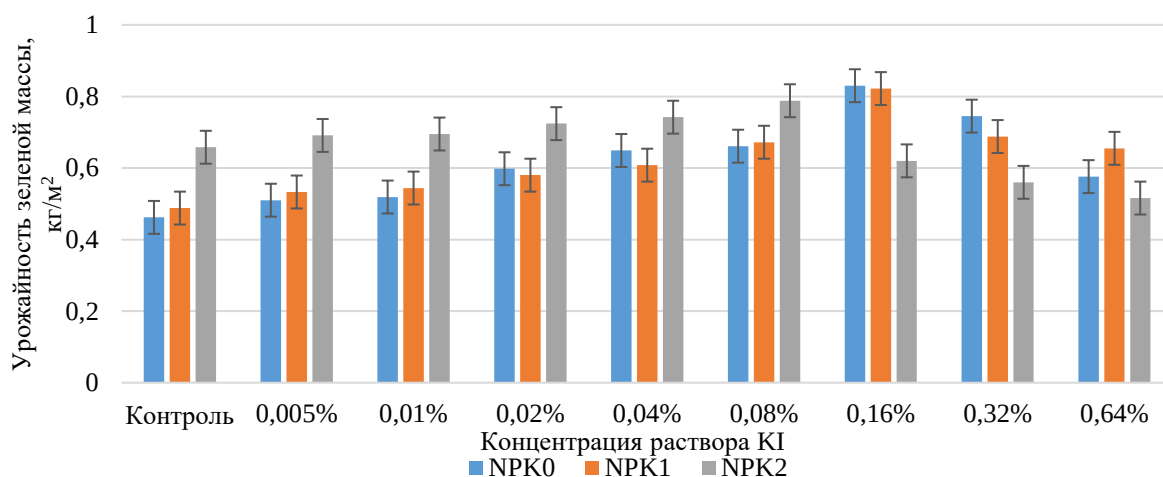


Рисунок 2 – Зависимость урожайности зеленой массы однолетних трав от концентрации раствора KI

абсолютные и относительные прибавки от KI уменьшаются с 40 до 8 % (во внимание принимались концентрации, не оказывающие токсичного эффекта). В вариантах без применения удобрений и со средней дозой NPK отмечались прибавки урожайности при всех изучаемых концентрациях. Так, по данным урожайности однолетних трав, оптимальными концентрациями для фона NPK0

стали 0,16 и 0,32 %, для NPK1 – 0,16%, для NPK2 – 0,08 %. Концентрация 0,64% вызывала токсичные симптомы в виде антоциановой окраски на листьях вики, краевой некроз, а также бурую окраску листьев вики и овса.

В опыте, посвященном изучению эффекта некорневых обработок раствором KI с концентрацией 0,02 % в разные фенофазы, выполняемом в звене севооборота не только на среднеокультуренной, но и на хорошо и высокоокультуренных агродерново-подзолистых почвах, было установлено, что двукратная обработка имела положительный эффект на среднеокультуренной почве в вариантах NPK0 и NPK1, а также в варианте без внесения удобрений на хорошо окультуренной почве, что выразилось в прибавках урожая зеленой массы от 16 до 33 %. То есть на удобренном фоне и при высоком почвенном плодородии избыток йода, так же, как и азотных удобрений, может угнетать развитие однолетних трав. Это говорит о том, что при повышенном уровне плодородия почв применение дополнительных доз йода для трав может быть нецелесообразным. Из двух фенофаз, в которые проводились некорневые обработки KI, в данном опыте более эффективной была зафиксирована поздняя фаза (т.е. фаза выхода овса в трубку) с точки зрения прибавок урожая. При однократной обработке KI в фазу выхода овса в трубку наблюдалась впоследствии наибольшая отдача урожая.

3.3 Агрономическая эффективность применения йодистого калия в системе удобрения многолетних трав

Оценка агрономической эффективности испытанных в опыте концентраций рабочего раствора KI показала, что опыте на травах 1 г.п. наиболее оптимальными концентрациями стали 0,08 и 0,16 %, прибавки урожая в этих вариантах составили 0,348, 0,391 и 0,412 кг/м² для почв со средней, хорошей и высокой степенью окультуренности соответственно. Разница во влиянии между двумя этими концентрациями была незначительна – 0,388 и 0,379 кг/м² для концентраций 0,08 и 0,16 % соответственно. То есть для растений с меньшей биомассой для некорневых обработок может быть оптимальна концентрация 0,08 % KI.

Однако в опыте на многолетних травах 2 г.п. было установлено, что максимальные прибавки урожая получены при обработке раствором йода с концентрацией 0,16 % на почвах всех степеней окультуренности. Прибавки составили 0,488, 0,826 и 0,803 кг/м². Также была эффективной обработка с концентрацией 0,08 %. Средняя прибавка урожая в опыте составила 0,642 кг/м² при обработке раствором с концентрацией 0,08 %, и 0,706 кг/м² при обработке 0,16 % раствором KI. Остальные концентрации позволяли получить также достоверные прибавки урожая, кроме самых малых 0,005-0,01 % и самой высокой 0,64 %.

Обобщенные за два года данные урожайности зеленой массы многолетних трав в опыте по изучению влияния концентраций раствора KI представлены на рисунке 3. В среднем по опыту оптимальная концентрация 0,16 % KI давала прибавку урожая в 28 %. Несмотря на то, что обработки растворами с концентрациями 0,32 и 0,64 % увеличивали урожайность трав, на листьях многолетних трав так же, как и однолетних, были отмечены токсичные симптомы,

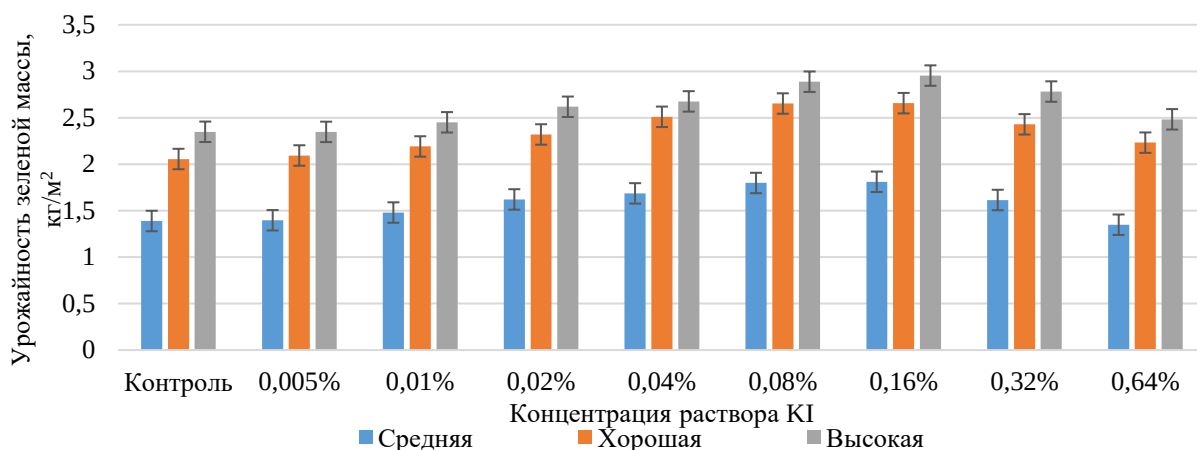


Рисунок 3 – Зависимость урожайности зеленой массы многолетних трав от концентрации раствора KI в среднем за 2 года использования

такие как бурая окраска и некроз. Анализ ежегодных и средних за два года данных продуктивности многолетних трав показал, что лучшим сроком применения йодной некорневой подкормки на многолетних травах является более ранний, приходящийся на фазу появления третьего тройчатого листа или отрастания клевера лугового, а также двукратная обработка.

ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЙОДА НА КАЧЕСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

4.1 Зависимость основных показателей качества продукции от применения йода в системе удобрения

В ходе исследования было установлено, что йодные микроудобрения в органоминеральной системе удобрения оказывают многостороннее действие на основные качественные показатели растениеводческой продукции. Их влияние на отдельные показатели носило как положительный, так и негативный характер, связанный с различным влиянием как йода, так и уровня минерального питания в целом на метаболические процессы в растении.

Влияние йодной некорневой подкормки на качество клубней в проведенных опытах оказалось значительным. В опыте с широким диапазоном дозировок йода обнаружились разнонаправленные эффекты в зависимости от концентрации применяемого раствора. Было установлено, что достоверно повышалось содержание сырого протеина в клубнях картофеля, особенно это проявлялось в вариантах с внесением минеральных удобрений при обработках растворами с концентрациями KI от 0,04% и выше, что подтверждает тот факт, что йод интенсифицирует азотный метаболизм. Йод усиливает ростовые процессы растений, увеличивая поглощение питательных элементов, включая азот. Малые концентрации раствора KI (0,005-0,02 %) не способствовали увеличению содержания сырого протеина в клубнях. Так, под действием раствора стимулирующей концентрации 0,02 % обнаружилось определенное снижение содержания азота и калия, что привело к снижению накопления сырого протеина на 4-7 % и увеличению содержания сухого вещества в клубнях картофеля на 4-8 %, а также крахмала – на 6-13 %. Но дальнейшее повышение дозировок йода до

максимальных значений вело к последовательному достоверному усилению накопления азотистых веществ и сокращению содержания сухого вещества и крахмала. На среднеокультуренной почве в среднем в зависимости от количества обработок КІ содержание сухого вещества повышалось на 4-14 % и сырого протеина на 6-14 %, а содержание крахмала снижалось на 0-11 %. На более окультуренных почвах содержание сухого вещества в клубнях от йода повышалось на 1-13 %, содержание крахмала преимущественно увеличивалось на 2-13 %, а содержание сырого протеина снижалось на 1-12 % в зависимости от кратности обработок. В вариантах на хорошо и высокоокультуренной почвах была отмечена закономерность, где однократная обработка способствовала накоплению крахмала в клубнях картофеля, а трехкратная имела тенденцию, наоборот, к снижению. Сухое вещество накапливалось в целом по опыту в большей степени при двукратной и трехкратной обработках. Уровень содержания калия в клубнях существенно (на 29-30 %) увеличивался с повышением кратности обработок: с 2,42 в контроле до 3,15 и 3,12 % - в вариантах КІ2 и КІ3.

Некорневая подкормка растворами КІ с концентрациями от 0,02 до 0,32 % усиливала накопление сырого протеина и снижала накопление сырой клетчатки, что очень ценно с позиций кормовой питательности данного зеленого корма. В оптимальных по дозировкам вариантах (0,02-0,32 %) средний относительный прирост содержания сырого протеина составил 6 и 11 % для вариантов по фону NPK1 и NPK2, а снижения сырой клетчатки на 5 и 6 % соответственно. На фоне NPK0 эффект от йода был менее значимым. Содержание сырой золы имело тенденцию к повышению в вариантах без внесения минеральных удобрений и при применении средней дозы NPK1. Среднее увеличение содержания сырой золы на этих фонах от йодной обработки составило 5 %. В микрополевым опыте по изучению сроков применения некорневой йодной подкормки было установлено, что окультуривание почвы до хорошего и высокого уровня влияло на накопление сырой золы в массе трав на 11 и 39 %, калия – на 19 и 37 % соответственно. Применение полного минерального удобрения в среднем по вариантам влияло слабее, но увеличило данные показатели на 7 – 14 % и 2 – 11 % соответственно. Сроки проведения йодной некорневой подкормки влияли на состав зеленой массы таким образом, что ранний срок обработки не оказал достоверного эффекта.

Исследования качественного состава зеленой массы многолетних трав показали, что характер действия некорневой подкормки растворами КІ различной концентрации в посеве многолетних трав имел схожие с ранее установленными на однолетних травах закономерности. Обработка оптимальной концентрацией рабочего раствора (0,16 % КІ) на фоне удлинения вегетационного периода способствовала снижению содержания сухого вещества в зеленой массе на 5-10 %, сырой клетчатки – на 4-8 % и, увеличивала содержание азота и сырого протеина на 11-18 %, а сырой золы – на 1-5 %. На фоне высокого уровня питания в варианте с дозой NPK2 йодная обработка в меньшей степени способствует накоплению зольных элементов. Существенного влияния на содержание фосфора обнаружено не было, так как уровень его накопления соответствовал высокой обеспеченности почвы этим элементов. В среднем по вариантам содержание сырого протеина в

зеленой массе в 2020 и 2021 годах составило 17,1 и 16,6 %, сухого вещества – 23,4 и 21,6 %, сырой клетчатки 24,8 и 26,3 %, сырой золы 4,14 и 4,73 % соответственно.

Изученные в опыте сроки применения некорневой подкормки в форме 0,02 % раствора КІ имели схожее влияние. Двукратное опрыскивание посева не обеспечивало достоверного влияния на качество сырья для производства кормов. В силу недостаточной концентрации рабочего раствора достоверные эффекты в зависимости от срока проведения обработки были получены только на двух показателях качества продукции: содержании сухого вещества при раннем сроке внесения (снизилось на 4 % отн.) и сырого протеина (повысилось на 4 % отн.).

4.2 Влияние систем удобрения с использованием йодистого калия на накопление йода в продукции

Содержание йода в сухом веществе картофельных клубней без применения йода было очень низким 168 – 178 мкг/кг (рис. 4). Достоверное повышение его содержания обнаружилось только с концентрации раствора в 0,02 %. При установленном в опыте оптимальном дозировании в 0,02 – 0,04 % КІ содержание йода удалось повысить в среднем до 310 – 384 мкг/кг, т.е. на 80 – 123 %. По мере роста концентрации раствора КІ содержание йода в клубнях продолжало

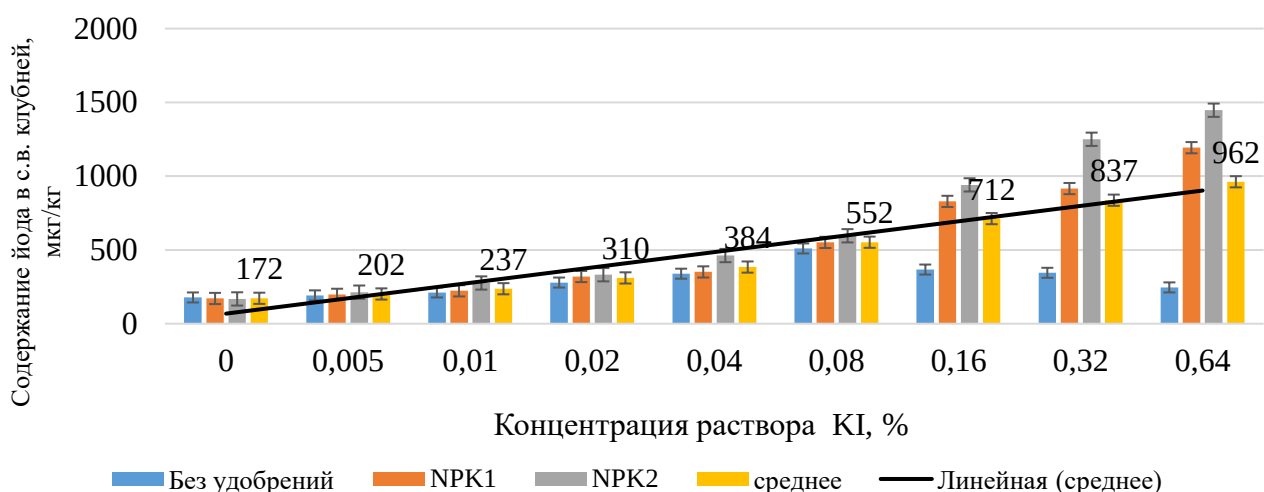


Рисунок 4 – Зависимость содержания йода в клубнях картофеля от применения удобрений (фактор А) и концентрации раствора КІ (фактор Б)
(НСР₀₅: фактор А – 25, фактор Б – 36, взаимодействие АБ – 64 мкг/кг)

практически линейно увеличиваться.

Без применения удобрений концентрация йода в клубнях 550 мкг/кг стала предельной, после чего растения испытывали токсикоз и усвоение йода было лимитировано. Предельный уровень накопления микроэлемента в клубнях на фоне средней и повышенной доз полного минерального удобрения достигал 1193 и 1447 мкг/кг. При этом средний по вариантам удобренности почвы уровень аккумуляции йода в клубнях составил в контроле 296, NPK1 – 528 и NPK2 – 632 мкг/кг (в среднем 485 мкг/кг). Причина такой разницы, вероятно, связана с необходимостью интенсивного азотного питания для успешного усвоения избытка йода.

При оценке влияния йодных микроудобрений на содержание йода в

продукции необходимо учитывать погодные условия, где наиболее значимым фактором становятся осадки в момент и после некорневой обработки КИ. В 2018 году обработка йодистым калием проводилась 9 июля. С 9 по 19 июля осадков не выпадало. Первые осадки после обработки выпали 20 июля (1,5 мм) и 21 июля (53,3 мм). Это способствовало аккумуляции йода растениями (рис. 4). Обработка в 2022 году проводилась 13 июля. С 13 по 18 июля каждый день выпадали осадки, что составили суммарно 35,9 мм. При этом в эффективность некорневой подкормки КИ оказалась намного ниже, обнаружилась достоверная разница в содержании йода в клубнях картофеля, выращенного на среднеокультуренной (среднее значение составило 230 мкг/кг) и на высокоокультуренной (100 мкг/кг) почвах. Хорошо окультуренная почва в этом ряду заняла промежуточное положение (190 мкг/кг).

В аналогичных почвенно-агрохимических условиях однолетние травы накапливали йод в надземной биомассе лучше, чем клубни картофеля. Средний по вариантам опыта уровень накопления йода в зеленой массе однолетних трав составил от 476 в контроле, 545 – в варианте NPK1 и 719 мкг/кг в варианте NPK2.

В отличие от картофеля и однолетних трав характер накопления йода в зеленой массе многолетних трав практически не зависел от изученных в опыте почвенно-агрохимических условий и имел вид прямолинейной зависимости. В среднем за 2 года хозяйственного использования уровень накопления йода в зеленой массе многолетних трав составил на среднеокультуренной почве 506 мкг/кг, на хорошо окультуренной – 522 мкг/кг и на высокоокультуренной – 511 мкг/кг. Предельный уровень аккумуляции йода многолетними травами составил 912 мкг/кг. При оптимальном дозировании йода в 0,08 – 0,16 % КИ содержание микроэлемента в зеленой массе многолетних трав удалось повысить с 88 до 611 – 861 мкг/кг, т.е. на 594 – 878 %.

В опыте с кратностью и сроками проведения некорневой подкормки была подтверждена главная закономерность, выражающаяся в прямой зависимости уровня содержания йода от применения йодных микроудобрений (рис. 5). Исходя из уровня накопления йода в продукции, на многолетних травах оказалось более предпочтительным двукратное опрыскивание. При этом достоверной разницы по этому показателю между ранним и поздним сроком опрыскивания не обнаружилось.

Оптимальная концентрация йодного микроудобрения на картофеле (0,02-0,04 % КИ) позволила повысить его содержание со 172 до 310 – 384 мкг/кг (на 80 – 123) %, на однолетних травах (0,08-0,16 % КИ) – со 105 до 640 – 695 мкг/кг (на 510 – 562 %) и на многолетних травах (0,08-0,16 % КИ) – с 88 до 611 – 861 мкг/кг (на 594 – 878 %). При этом повышение кратности обработок служило фактором дальнейшего обогащения продукции йодом на картофеле и многолетних травах. Оптимальный срок опрыскивания на однолетних травах поздний (фаза выхода в трубку овса посевного), а на многолетних травах – двукратное опрыскивание в обе фазы (появление третьего тройчатого листа или отрастание и стеблевание клевера лугового).

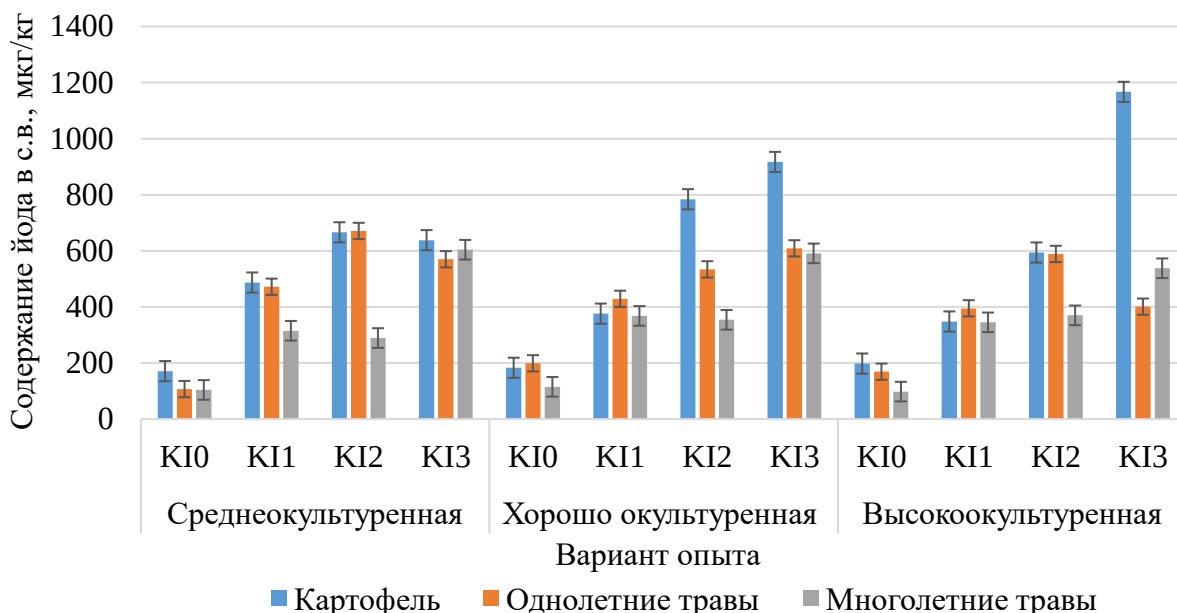


Рисунок 5 – Зависимость накопления йода в клубнях картофеля и зеленой массе однолетних и многолетних трав от кратности сроков обработки 0,02% раствором KI

Таким образом, уровень накопления йода в клубнях картофеля и зеленой массе кормовых трав в широком диапазоне почвенно-агрохимических условий очень низкий и может дополнительно снижаться за счет эффекта биологического разбавления при окультуривании почвы и применении минеральных систем удобрения. Между дозировками йодных микроудобрений и уровнем накопления микроэлемента в сельскохозяйственной продукции существует прямая функциональная зависимость.

4.3 Зависимость содержания нитратов в продукции от систем удобрения с использованием йодистого калия

Повышение уровня окультуренности до хорошего и высокого вследствие оптимизации азотного режима приводило к увеличению содержания нитратов в клубнях картофеля на 34 и 34 %, в зеленой массе однолетних трав на 13 и 132 %, в зеленой массе многолетних трав на 25 и 30 % соответственно. Применение полного минерального удобрения в средних и высоких дозах способствовало их накоплению в клубнях картофеля на 33 и 98 % и в зеленой массе однолетних трав на 34 и 122 % соответственно.

Применение йода имело как отрицательное, так и положительное влияние на накопление нитратов в продукции в зависимости от концентрации рабочего раствора KI. Так при увеличении концентрации раствора KI от минимального до оптимального значения йод регулировал физиологические процессы (в частности азотный метаболизм) и снижал содержание нитратов в клубнях картофеля и зеленой массе однолетних и многолетних трав на 47, 16 и 12 % соответственно. При превышении оптимума концентрации рабочего раствора обнаруживалось ингибирование восстановительных ферментов, вследствие чего нитраты аккумулировались в большем количестве в сельскохозяйственной продукции. При

применении оптимальных (по агрономической эффективности) дозировок йода содержание нитратов в продукции снижалось относительно контрольных вариантов в клубнях картофеля и в зеленой массе однолетних трав в среднем на 15 %. Многолетние травы по уровню накопления нитратов были менее чувствительны как к окультуриванию почвы, так и к применению йодной подкормки. Снижение содержания нитратов в зеленой массе вико-овсяной смеси было зафиксировано на 13-53 % в зависимости от варианта обработок (КІ1 – КІ3), а для клевера и тимopheевки аналогично составило 28-34 %.

Таким образом, основным фактором повышения содержания нитратов в основной сельскохозяйственной продукции выступает оптимизация азотного режима почвы. Однако при обоснованном сочетании удобрений риски превышения нормативов содержания нитратов минимальны. Некорневая подкормка растворами КІ снизила содержание нитратов в среднем на 15 %.

ГЛАВА 5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР ЙОДИСТЫМ КАЛИЕМ

Одним из важных элементов объективной оценки изучаемого нами агротехнологического приема является расчет его энергетической эффективности, для проведения которого была использована адаптированная под агрохимические задачи методика проф. Ивановых (Иванов и др., 2002). С этой целью был выполнен расчет энергетических технологических затрат, связанных с приобретением и применением йодистого калия в некорневой подкормке, а также уборкой дополнительного урожая, полученного от ее использования. Набор технологических операций, состав агрегатов и их производительность копируют фактически реализуемые в агрофизическом стационаре технологии, а отдельные их характеристики (нормы выработки, накладные расходы и др.) получены из данных производственно-экономической деятельности Меньковского филиала АФИ.

Результаты расчета затрат и их структуры показали, что их общий уровень сильно зависит от вида культуры, а точнее от технологии уборки урожая, так как затраты на применение йодных удобрений в целом низкие и в структуре затрат даже при дозировке в 0,16 % не превышают 2 %. Совокупные затраты на применение некорневой йодной подкормки и уборку дополнительного урожая столь отличающихся в биологическом и агротехнологическом смысле культур оказались вполне сопоставимыми. В оптимальных вариантах некорневого опрыскивания растворами КІ затраты составили в среднем 3063 МДж/га на картофеле, 2106 МДж/га – на однолетних травах, 3458 МДж/га – на многолетних травах 1 и 2 годов пользования.

Сопоставление этих затрат с энергоемкостью прибавки урожая, полученной в опыте в вариантах с оптимальным дозированием йода показало, что уровень энергетической эффективности его применения может быть охарактеризован как очень высокий. Среднее значение биоэнергетического коэффициента некорневой йодной подкормки в оптимальных концентрациях рабочего раствора составило на картофеле 6,30, на однолетних травах 6,81 и на многолетних травах – 5,98 ед.

Таким образом, энергетическая эффективность йодных микроудобрений в современных почвенно-агрохимических условиях Северо-Запада России столь

высока, что они безусловно должны использоваться и как эффективный инструмент для мобилизации созданного ресурса эффективного плодородия агродерново-подзолистых почв и повышения общей окупаемости затрат на применение удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования были получены новые экспериментальные данные и знания в области управления продукционным процессом картофеля, однолетних и многолетних трав в широком диапазоне современных почвенно-агрохимических условий Северо-Запада России с использованием некорневой подкормки растворами йодистого калия. Отзывчивость полевых культур на применение йодной подкормки зависела от их биологических особенностей, специфики погодно-климатических, фитосанитарных и почвенно-агрохимических условий. Агрономическая оценка широкого диапазона дозировок КІ выявила наличие биологически обусловленных стимулирующих и ингибирующих продуктивность культур величин.

Наиболее важные результаты исследования позволяют сделать выводы:

1) Культуры травянопропашного звена полевого севооборота «картофель - однолетние травы – многолетние травы 1 г.п. – многолетние травы 2 г.п.» положительно реагировали на оптимизацию почвенно-агрохимических условий агродерново-подзолистой почвы за счет окультуривания и применения полного минерального удобрения: в пользу злакового компонента изменялся ботанический состав кормовых трав; ускорялся в начальной стадии и удлинялся на 2 – 3 дня вегетационный период культур; высота растений увеличивалась на 11,3 - 28,7 см у картофеля, на 4,3 - 7,7 см у овса посевного, 6,2 - 8,7 см – у вики посевной, на 3,3 – 11,7 – у тимофеевки луговой и на 1,2 – 2,4 см – у клевера лугового; продуктивность культур от окультуривания почвы до хорошего и высокого уровня и применения средних и высоких доз удобрений увеличилась на 36 – 89 и 16 и 34 % у картофеля, на 64 – 206 % и 11 – 54 % - у однолетних трав и на 42 – 52 и 65 - 72 % - у многолетних трав соответственно.

2) Влияние некорневой подкормки растворами йодистого калия на рост и развитие картофеля, однолетних и многолетних трав может носить разносторонний характер. При оптимальном дозировании (концентрации рабочего раствора в 0,02-0,16 % КІ и кратности от 1 до 3 раз) йод стимулировал рост растений (высота растений увеличилась на 1,1 – 1,9 см у картофеля, на 2,0 – 4,5 см – у овса посевного, на 1,5 – 2,9 см – у вики посевной, на 3,3 – 11,7 – у тимофеевки луговой и на 1,2 – 2,4 см – у клевера лугового) и увеличивал продолжительность заключительной фазы вегетации и всего вегетационного периода на 2-4 дня. Превышение оптимальных дозировок (выше 0,08 % - 0,16 % КІ) сокращало вегетационный период, ускоряя наступление увядания растений на 2-4 дня и вызывая при концентрациях рабочего раствора выше 0,32 % их токсикоз и частичную гибель. К избытку йода более чувствительны бобовые культуры (вика посевная и клевер луговой), менее – злаковые (овес посевной и тимофеевка луговая).

3) По мере повышения уровня плодородия и удобрённости агродерново-подзолистой почвы уровень оптимальной концентрации рабочего раствора йодистого калия на картофеле увеличивался от 0,02 до 0,06 %. Прибавка

урожайности клубней картофеля достигла на среднеокультуренной почве 1,024 кг/м² (43 %), на хорошо окультуренной – 0,810 кг/м² (23 %) и на высокоокультуренной – 0,751 кг/м² (20 %). Оптимальная кратность некорневых подкормок картофеля достигла 2 – 3 единиц, в зависимости от специфики сочетания почвенно-агрохимических, погодно-климатических и фитосанитарных условий. При этом йодная некорневая подкормка увеличила окупаемость 1 кг д.в. основного удобрения в 1,3 – 3,6 раза и сформировала биоэнергетический коэффициент в 5,65 – 6,51 ед.

4) Уровень оптимальной концентрации рабочего раствора йодистого калия на однолетних травах составил 0,16 % на неудобренном фоне, 0,16 % - при применении средних доз и 0,08 % - при внесении высоких доз полного минерального удобрения. Он обеспечил повышение урожайности зеленой массы на 0,369 кг/м² (80 %), 0,334 кг/м² (68 %) и 0,130 кг/м² (20 %) и формирование биоэнергетического коэффициента в 6,25 – 7,12 ед. Оптимальная фаза (срок) проведения йодной некорневой подкормки на однолетних травах – это фаза выхода в трубку у овса посевного и начала ветвления – у вики посевной, обеспечивающая среднюю прибавку продуктивности в 16 % с дифференциацией по почвенно-агрохимическим условиям в пределах 2 – 38 %.

5) Оптимальная концентрация рабочего раствора КI на многолетних травах на средне-, хорошо и высокоокультуренной почвах составила 0,08, 0,08 и 0,16 % соответственно. Лучшим сроком проведения некорневой подкормки на многолетних травах является начальная фаза вегетации (кущение у тимофеевки луговой и фаза третьего тройчатого листа у клевера лугового – через 15-20 дней после начала весеннего отрастания). Агрономическая эффективность оптимального дозирования йода в среднем за 2 года составила на среднеокультуренной почве 0,409 кг/м² (29 %), на хорошо окультуренной – 0,597 кг/м² (29 %) и на высокоокультуренной почве – 0,539 кг/м² (23 %). Биоэнергетический коэффициент достиг 5,90 – 6,04 ед. Эффективность йодной подкормки на фоне острой засухи (прибавка урожайности в среднем по оптимальным вариантам (0,388 кг/м² или 29 %) оказалась в 1,8 раза ниже, чем при более благоприятной погоде (0,690 кг/м² или 28 %).

6) Некорневая йодная подкормка оказала многостороннее действие на основные качественные показатели продукции полеводства. Ее применение в оптимальных дозировках привело: на картофеле к снижению содержания в клубнях сырого протеина на 4 – 10 %, увеличению – сухого вещества на 4 – 8 % и крахмала – на 8 – 15 %; на однолетних травах – к увеличению содержания сырого протеина на 3 – 7 % и снижению содержания сырой клетчатки – на 4 – 8 %; на многолетних травах – к снижению содержания сухого вещества в зеленой массе на 6 – 10 %, сырой клетчатки – на 6 – 9 % и увеличению содержания сырого протеина – на 12 – 18 % и сырой золы – на 13 – 18 %. Повышение кратности йодных обработок вело к некоторому снижению крахмалистости клубней, а на состав зеленой массы трав влияло слабо.

7) Уровень накопления йода в клубнях картофеля и зеленой массе кормовых трав в широком диапазоне почвенно-агрохимических условий очень низкий и склонен к снижению за счет эффекта биологического разбавления при

окультивировании почвы или применении минеральных систем удобрения. Оптимальное дозирование йодного микроудобрения на картофеле (0,02-0,04 % KI) позволяет повысить его содержание со 172 до 310 – 384 мкг/кг (на 80 – 123) %, на однолетних травах (0,08-0,16 % KI) – со 105 до 640 – 695 мкг/кг (на 510 – 562 %) и на многолетних травах (0,08-0,16 % KI) – с 88 до 611 – 861 мкг/кг (на 594 – 878 %). При этом повышение кратности обработок служит фактором дальнейшего обогащения продукции йодом на картофеле и многолетних травах.

8) Ведущим фактором повышения содержания нитратов в основной сельскохозяйственной продукции выступает оптимизация азотного режима почвы за счет ее ускоренного окультуривания известью и органическими удобрениями и применение азотных удобрений. Применение йодной некорневой подкормки в оптимальных дозах достоверно снизило содержание нитратов в клубнях картофеля и зеленой массе однолетних и многолетних трав на 47, 16 и 12 % соответственно. Повторные подкормки на однолетних и многолетних травах сократили уровень их накопления в кормовом сырье на 34 – 53 %. Превышение оптимальных дозровок KI сопряжено с риском повышенного накопления нитратов в продукции.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ

Сформированная в ходе исследования информационная база управления продукционным процессом полевых культур и йодным статусом продукции земледелия в условиях Северо-Запада России с использованием йодистого калия может быть использована:

- при разработке технологического регламента применения йодистого калия в качестве микроудобрения для некорневой подкормки полевых культур в течение вегетационного периода;
- при обосновании средств и систем удобрения, направленных на производство в условиях Северо-Запада РФ высококачественной сельскохозяйственной продукции функциональной по обеспеченности физиологически ценными йодсодержащими компонентами.
- при планировании дальнейших исследований по совершенствованию фундаментально-прикладных основ йодной биофортификации товарной продукции и кормов в условиях геохимической аномалии недостатка йода на Северо-Западе России.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в международных базах:

1. Иванов, А.И. Некоторые возможности управления продуктивностью и качеством картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с использованием йода / А.И. Иванов, П.С. Филиппова, П.А. Филиппов // Проблемы агрохимии и экологии. - 2019. - № 4. - С. 43-49.
2. Иванов, А.И. Эффективность систем удобрения с применением йода на однолетних травах / А.И. Иванов, П.С. Филиппова, П.А. Филиппов // Агрохимия. - 2021. - № 5. - С. 37-46.
3. Иванов, А.И. Биологические особенности отклика кормовых трав на применение йода на агродерново-подзолистых почвах различной окультуренности / А.И. Иванов, М.В. Рак, Ж.А. Иванова, П.С. Филиппова, П.А. Филиппов // Сельскохозяйственная биология. - 2022. - Т. 57, № 3. - С. 486-499.
4. Данилова, Т.А. Влияние йодистого калия на урожайность и качественные показатели

свеклы столовой и картофеля / Т.А. Данилова, **П.С. Филиппова**, З.П. Котова // *Агрохимический вестник*. - 2022. - № 5. - С. 16-20.

5. **Филиппова, П.С.** Перспективы применения йода в системе удобрения дерново-подзолистых почв на примере картофеля / **П.С. Филиппова**, П.А. Филиппов, Н.С. Прияткин [и др.] // *Агрохимический вестник*. - 2024. - № 3. - С. 36-41.

6. **Filippova, P.S.** Effect of Fertilizer Systems with Iodine on the Quality and Yield of *Solanum tuberosum* L. / P.S. Filippova, Z.P. Kotova // *Agriculture digitalization and organic production: Proceedings of the Second International Conference* (Санкт-Петербург, 6-8 июня 2022 г.). - Saint-Petersburg: Smart Innovation, Systems and Technologies, 2023. - Vol. 331. - P. 211-220.

Публикации в других научных изданиях:

1. **Филиппова, П.С.** Влияние йода на продуктивность и качество клубней картофеля / П.С. Филиппова // Мелиорация почв для устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. научно-практической конф., посвящённой 100-летию со дня рождения профессора Александра Филипповича Тимофеева (Киров, 26-27 февраля 2019 г.). – Киров: ВГСХА, 2019. - С. 307-314.

2. **Филиппова, П.С.** О роли йода в продукционном процессе картофеля / П.С. Филиппова, П.А. Филиппов // Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего: материалы II Междунар. научной конф., посвященной памяти академика Е.И. Ермакова (Санкт-Петербург, 02-04 октября 2019 г.). - Санкт-Петербург: АФИ, 2019. - С. 758-764.

3. **Филиппова, П.С.** О роли йода в накоплении нитратов в клубнях картофеля на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве / П.С. Филиппова // Фундаментальные проблемы управления циклом азота в современной земледелии: материалы трудов конф. (Владимир, 17–20 сентября 2019 г.). - Владимир: ПРЕССТО, 2019. - С. 298-303.

4. **Филиппова, П.С.** Эффективность оптимизации йодного питания на культуре картофеля / П.С. Филиппова // Научные приоритеты адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства: материалы Междунар. научно-практической конф. с элементами школы молодых ученых (Краснодар, 03–05 июля 2019 г.). - Краснодар: ЭДВИ, 2019. - С. 142-144.

5. Иванова, Ж.А. К вопросу о поиске оптимальной концентрации йода для подкормки однолетних трав в Агрофизическом стационаре / Ж.А. Иванова, П.А. Филиппов, **П.С. Филиппова** // Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях: материалы междунар. научно-практической конф. (Тверь, 25 сентября 2020 г.). - Тверь: ТГУ, 2020. - С. 103-106.

6. Иванова, Ж.А. Эффективность некорневой подкормки многолетних трав йодистым калием / Ж.А. Иванова, **П.С. Филиппова** // Агрофизический институт: 90 лет на службе земледелия и растениеводства: материалы междунар. научной конф. (Санкт-Петербург, 14-15 апреля 2022 г.). - Санкт-Петербург: АФИ, 2022. - С. 646-650.

7. **Филиппова, П.С.** Эффективность применения йодистого калия на картофеле в условиях Северо-Запада / П.С. Филиппова // *Journal of Agriculture and Environment*. - 2024. - № 9(49).